Mecânico de Manutenção Aeronáutica

MATÉRIAS BÁSICAS

Edição Revisada
23 de Outubro de 2002

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL

DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Edição revisada

Este volume, Matérias Básicas, foi revisado, tendo sido feitas correções em todos os capítulos, bem como algumas alterações consideradas necessárias como a inclusão do assunto referente a Aerodinâmica, do volume Célula de Aeronaves, por ser uma das disciplinas do Módulo Básico.

Este volume, Matérias Básicas, é uma tradução do AC 65-9A do FAA (*Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook*) e tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume contém as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente ao Módulo Básico nas especialidades de Célula, Grupo Motopropulsor e Aviônicos, sendo um complemento obrigatório.

Os assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

Contribuíram para a tradução do AC 65-9A, as companhias aéreas Varig, Vasp, Tam, Lider e os componentes civis e militares da TE-1. A revisão gramatical da Primeira Edição foi efetuada por Helena Aquino de Araujo e a revisão técnica por Jorge Nunes das Neves.

O DAC obteve autorização da editora (FAA) para traduzir o conteúdo desse volume (AC 65-15A Célula de Aeronaves) e sua distribuição mediante indenização do valor material, sendo proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do DAC (TE-1).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

O prefácio original, traduzido, está reproduzido nas páginas seguintes.

A correspondência relativa a esse manual deverá ser endereçada ao

Instituto de Aviação Civil – DIP

Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, Edifício anexo, CEP 20021-010 Rio de Janeiro - RJ - Brasil

ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

PREFÁCIO DO MANUAL AC 65-9A

Este manual foi desenvolvido e impresso pela primeira vez em 1970 como parte de uma série de três manuais para pessoas que se preparam para obter um certificado de mecânico de grupo motopropulsor, decélula ou ambos. Este manual pretende prover informação básica sobre procedimentos técnicos, fundamentos e princípios comuns às áreas de célula e grupo motopropulsor. Neste volume é dada ênfase à teoria e métodos de aplicação.

Esse manual destina-se a auxiliar estudantes matriculados em um curso formal de instrução, bem como àquele que estuda por conta própria. Visto que os conhecimentos exigidos para célula e grupo motopropulsor são semelhantes em algumas áreas, os capítulos que tratam dos sistemas de proteção contra o fogo e sistemas elétricos contêm algum material que é também duplicado no Manual de Grupo Motopropulsor – Mecânicos de Grupo Motopropulsor e Células, AC 65-12A e o Manual de Células – Mecânicos de Grupo Motopropulsor e Células, AC 65-15A.

Este volume contém informações sobre desenho de aviões, peso e balanceamento, materiais de aviação e processos, física, eletricidade, inspeção, apoio de terra e ferramentas.

O conhecimento adquirido com o estudo desse manual é essencial antes de prosseguir em um curso de estudo dos manuais de grupo motopropulsor ou de célula.

Pelo fato de existirem muitos tipos diferentes de células e de grupos motopropulsores em uso, atualmente, é normal supor a existência de diferenças.nos componentes e sistemas de cada tipo. Para evitar repetições desnecessárias, a prática do uso de unidades e sistemas representativos é mantida ao longo do manual. O assunto é tratado a partir de um ponto de vista generalizado e deve ser suplementado por consultas aos manuais dos fabricantes ou outros impressos se forem desejados maiores detalhes. Esse manual não procura substituir ou suplantar os regulamentos oficiais ou as instruções dos fabricantes.

São expressos agradecimentos aos fabricantes de componentes para células e grupos motopropulsores pela cooperação ao tornarem disponível material para anexão e inclusão.

Material com direitos autorais é usado com permissão especial das seguintes organizações e não pode ser extraído ou reproduzido sem permissão do proprietário do COPYRIGHT:

	(R)
Monsanto Chemicals Co	Fluidos “Skydrol”
Towsend Corporation	Rebites “Cherry” e Luvas “Acres”
J. O. King, Inc.	Extintores de fogo
Gravines, Inc.	Extintores de fogo
Walter Kidde	Extintores de fogo
DuPont De Nemours	Elementos extintores de fogo

Associação Nacional de Proteção contra o Fogo	Extintores e especificações dos elementos de extinção de fogo
Associação Nacional de Distribuidores de Extintores de Fogo	Extintores de fogo
Fundação para a segurança do vôo	Dados de reabastecimento
Instituto Americano do Petróleo	Combustíveis de aviação
Corporação Exxon	Combustíveis de aviação
Parker Hannifin	Acessórios de aviação

Os avanços na tecnologia aeronáutica obrigam um manual de instrução a estar sob revisão contínua e ser atualizado periódicamente. As normas de vôo (FLIGHT STANDARDS) exigiram comentários das escolas autorizadas de técnicos de manutenção de aviação nos três manuais. Como resultado desta inspeção, os manuais foram atualizados até este ponto.

Novo material foi acrescentado nas áreas que foram apontadas como deficientes e alguns dados foram reagrupados para melhorar a didática dos manuais.

Gostaríamos de tomar conhecimento dos erros, bem como receber sugestões para melhorar o objetivo dos manuais. Comentários e sugestões serão mantidos em arquivo até a saída da próxima revisão.

Toda correspondência relativa a estes manuais deve ser endereçada a:

U.S. Departament of Transportation
Federal Aviation Administration
Flight Standards National Field Office
P.O. Box 25082, Oklahoma City, Oklahoma 73125

Os manuais que formam a série com o AC 65-9A são o AC65-12A e AC 65-15A.

CONTEÚDO

PREFÁCIO III
CONTEÚDO VII

CAPÍTULO 1 - MATEMÁTICA

Introdução 1-1
Os números inteiros 1-1
Frações 1-2
Potências e raízes 1-14
Cômputo de área 1-16
Cômputo do volume dos sólidos 1-21
Gráficos e tabelas 1-23
Sistemas de medição 1-26

CAPÍTULO 2 - DESENHOS DE AERONAVES

Introdução 2-1
Plantas 2-1
Desenhos de trabalho 2-1
Cuidado e uso de desenho 2-2
Blocos de títulos 2-2
Lista de material 2-3
Outras informações 2-4
Métodos de ilustração 2-5
O significado das linhas 2-8
Interpretando desenhos 2-10
Diagramas 2-11
Esboços de desenho 2-14
Símbolo de desenho 2-15
Cuidados com instrumentos de desenho 2-15
Microfilme 2-15

CAPITULO 3 - PESO E BALANCEAMENTO DE AERONAVES

Introdução 3-1
Teoria do peso e balanceamento 3-1
Dados de peso e balanceamento 3-2
Terminologia 3-2
Procedimentos de pesagem da aeronave 3-7
Formulário de pesagem 3-13
Condições extremas de peso e balanceamento 3-14
Instalação de lastro 3-16
Cartas de carregamento e envelopes do C.G. 3-18
Equipamento eletrônico de pesagem 3-20
Peso e balanceamento de helicópteros 3-20

CAPÍTULO 4 - COMBUSTÍVEIS E SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

Introdução 4-1
Características e propriedades da gasolina de aviação 4-1
Combustíveis para motores a turbina 4-5

Contaminação do sistema de combustível 4-7
Sistemas de combustível 4-11
Componentes do sistema de combustível 4-12
Indicadores do sistema de combustível 4-19
Sistemas de combustível para multimotores 4-24
Análises e pesquisa de falhas do sistema de combustível 4-26
Reparos nos tanques de combustível 4-27

CAPÍTULO 5 - TUBULAÇÕES E CONEXÕES

Introdução 5-1
Tubulações 5-1
Identificação dos materiais 5-1
Tabulações flexíveis (Mangueiras) 5-2
Conexões 5-6
Reparos nas linhas com tubo de metal 5-15
Fabricação e substituição de tubos flexíveis 5-16
Instalação de tubulações rígidas 5-18
Torque para tubos de aço 3041/8H 5-20
Suportes de fixação 5-21

CAPÍTULO 6 - MATERIAIS DE AVIAÇÃO E PROCESSOS

Introdução 6-1
Identificação dos materiais de aviação 6-1
Parafusos de aviação 6-2
Porcas de aeronave 6-7
Arruelas de aviação 6-11
Instalação de parafusos e porcas 6-12
Torque e torquímetros 6-13
Outros tipos de parafusos de aviação (Screws) 6-16
Reparos em roscas internas 6-18
Reparo com luvas Acres 6-20
Prendedores de abertura rápida 6-22
Cabos de comando 6-24
Conexões rígidas de controle 6-26
Pinos 6-26
Métodos de segurança 6-27
Rebites 6-31
Rebites especiais 6-36
Plásticos 6-44
Borracha 6-46
Amortecedores de elástico 6-47
Vedadores 6-48
Juntas de vedação (Gaskets) 6-50
Limpadores 6-50
Selantes 6-50
Controles de corrosão 6-52
Formas de corrosão 6-53
Fatores que afetam a corrosão 6-55
Manutenção preventiva 6-55
Inspeção 6-56
Áreas propensas a corrosão 6-56

Remoção da corrosão 6-58
Corrosão de metais ferrosos 6-59
Corrosão do alumínio e suas ligas 6-60
Corrosão das ligas de magnésio 6-62
Tratamento anticorrosivo do titânio e suas ligas 6-63
Proteção do contato entre metais diferentes 6-64
Limites da corrosão 6-65
Materiais e processos usados no controle da corrosão 6-65
Tratamentos químicos 6-67
Acabamento com tintas protetoras 6-69
Limpeza da aeronave 6-69
Limpeza do interior da aeronave 6-71
Limpeza dos motores 6-73
Solventes de limpeza 6-74
Agentes de limpeza em emulsão 6-75
Sabões e detergentes 6-76
Produtos para a limpeza mecânica 6-76
Produtos químicos de limpeza 6-77
Estrutura dos metais 6-77
Processos usados na conformação metálica 6-80
Metais ferrosos usados na indústria aeronáutica 6-82
Metais não ferrosos de utilização aeronáutica 6-85
Reposição de metais de utilização aeronáutica 6-93
Princípios do tratamento térmico 6-93
Equipamento para tratamento térmico 6-94
Tratamento térmico de metais ferrosos 6-98
Cementação 6-100
Tratamento térmico de metais não ferrosos 6-103
Tratamento de solução à quente 6-103
Tratamento por precipitação à quente 6-105
Recozimento das ligas de alumínio 6-106
Tratamento térmico dos rebites de liga de alumínio 6-107
Tratamento térmico das ligas de magnésio 6-107
Tratamento térmico do titânio 6-108
Testes de dureza 6-109

CAPÍTULO 7 - FÍSICA

Introdução 7-1
Matéria 7-1
Fluídos 7-2
Temperatura 7-5
Pressão 7-7
Pressão atmosférica 7-7
Compressibilidade e expansão dos gases 7-8
Teoria cinética dos gases 7-8
Atmosfera 7-16
Princípio de Bernoulli 7-23
Máquinas 7-24
Trabalho, potência e energia 7-30
Movimento dos corpos 7-35
Calor 7-39
Som 7-44

CAPÍTULO 8 - ELETRICIDADE BÁSICA

Introdução 8-1
Matéria 8-1
Eletricidade estática 8-2
Força eletromotriz 8-6
Resistência 8-7
Componentes e símbolos de circuito básico 8-9
Lei de Ohm 8-17
Circuitos de corrente contínua em série 8-21
Circuitos de corrente contínua em paralelo 8-26
Circuitos em série-paralelo 8-27
Divisores de voltagem 8-30
Reostatos e potenciômetros 8-31
Magnetismo 8-33
Baterias de acumuladores 8-42
Baterias de chumbo-ácido 8-42
Bateria de níquel-cádmio 8-46
Dispositivos de proteção e controle de circuitos 8-49
Chaves ou interruptores 8-51
Instrumento de medição de C.C. 8-54
Multímetros 8-59
Voltímetros 8-60
Ohmímetros 8-62
Análise e pesquisa de defeito em circuito básico 8-65
Corrente alternada e voltagem 8-71
Indutância 8-77
Capacitância 8-79
Lei de Ohm para circuitos de C.A. 8-85
Transformadores 8-91
Amplificadores magnéticos 8-98
Válvulas eletrônicas 8-99
Transistores 8-103
Retificadores 8-108
Filtragem 8-113
Instrumentos de medição C.A 8-115
Medidores de frequência 8-120

CAPÍTULO 9 - GERADORES E MOTORES ELÉTRICOS DE AVIAÇÃO

Introdução 9-1
Geradores 9-1
Tipos de geradores C.C 9-7
Regulagem da voltagem do gerador 9-12
Interruptor/ relé diferencial 9-15
Geradores em paralelo 9-16
Manutenção do gerador C.C 9-18
Operação do regulador de voltagem 9-21
Alternadores 9-25
Alternadores sem escovas 9-29
Alternadores de aviões Boeing 737,727 e 707 9-29
Sincronismo dos alternadores 9-46
Manutenção do alternador 9-49

Inversores 9-50
Motores elétricos C.C 9-55
Motores C.A. 9-65
Manutenção de motores C.A 9-73

CAPÍTULO 10 - PRINCÍPIOS DA INSPEÇÃO

Introdução 10-1
Inspeções obrigatórias 10-1
Técnicas de inspeção 10-1
Fichas de inspeção 10-2
Documentação do avião 10-3
Inspeções especiais 10-3
Publicações 10-4
Especificação A.T.A. 100 - Sistemas 10-7
Inspeção por partículas magnéticas 10-11
Equipamento para magnetização 10-16
Desmagnetização 10-18
Inspeção por líquidos penetrantes 10-19
Radiografia 10-21
Teste ultra-sônico 10-24
Teste de Eddy Current 10-27

CAPÍTULO 11 - MANUSEIO DE SOLO, SEGURANÇA E EQUIPAMENTOS DE APOIO

Introdução 11-1
Geral 11-1
Partida nos motores 11-1
Motores turboélice 11-4
Motores turbojato 11-5
Força elétrica 11-7
Força hidráulica 11-8
Unidades de ar condicionado e de aquecimento 11-8
Fontes de ar para partida 11-8
Equipamento de pré-lubrificação 11-9
Abastecimento de aeronaves 11-9
Fogo 11-12
Marcas recomendadas para indicar a aplicabilidade do extintor 11-15
Extintores para aeronaves 11-16
Abastecimento de óleo nas aeronaves 11-18
Segurança na manutenção 11-19
Abastecimento de sistemas de oxigênio de aeronaves 11-20
Ancoragem de aeronaves 11-21
Ancoragem de aeronaves leves 11-23
Segurança de aeronaves pesadas 11-23
Ancoragem de aeronaves em condições de tempestades 11-24
Movimentação da aeronave 11-26
Levantamento da aeronave nos macacos 11-33
Sugestão sobre tempo frio 11-36

CAPÍTULO 12 - FERRAMENTAS MANUAIS E DE MEDIÇÃO

Introdução 12-1
Ferramentas de uso geral 12-1
Ferramentas de cortar metal 12-6
Ferramentas de medição 12-15
Ferramentas para abrir roscas 12-22

CAPÍTULO 13 – AERODINÂMICA

Teoria de vôo 13-1
Movimento 13-3
Aerofólios 13-4
Centro de gravidade 13-7
Estabilidade e controle 13-10
Controle 13-13
Compensadores 13-17
Dispositivos de hipersustentação 13-19
Forças que atuam sobre um helicóptero 13-21
Aerodinâmica de alta velocidade 13-29
Diferença entre os fluxos subsônico e supersônico 13-30
Aquecimento aerodinâmico 13-35

CAPÍTULO 1

MATEMÁTICA

INTRODUÇÃO

O uso da matemática está tão presente em todos os setores da vida quotidiana; que, raramente, se é que acontece, alguém percebe por completo quão desamparados estaríamos na realização do nosso trabalho diário sem o seu conhecimento, até mesmo na sua forma mais simples. Muitas pessoas têm dificuldade com cálculos relativamente simples, envolvendo apenas a matemática elementar. Para executarmos cálculos matemáticos com sucesso, é preciso compreender os processos e a prática contínua no uso dos domínios matemáticos.

De uma pessoa que esteja entrando no ramo da aviação, será exigido que trabalhe com exatidão. A mecânica de aviação está frequentemente envolvida em tarefas que exigem cálculos matemáticos de vários tipos, tolerâncias em componentes de aeronaves e motores. Na maioria das vezes, é crucial fazer medições de milésimos ou décimos de milésimo de polegadas. Por causa das pequenas tolerâncias, que se deve observar, é importante que o mecânico de aviação seja capaz de realizar medidas e cálculos matemáticos precisos.

A matemática pode ser comparada a um "Kit" de ferramentas, e cada operação matemática comparada ao uso de uma das ferramentas na solução de um problema. As operações básicas de adição, subtração, multiplicação e divisão são as ferramentas disponíveis para nos ajudar a resolver um problema em questão.

OS NÚMEROS INTEIROS

A adição dos números inteiros

O processo de encontrar a combinação entre dois ou mais números, é chamado adição. o resultado é chamado soma.

Quando somamos vários números inteiros, como 4567, 832, 93122 e 65; os colocamos embaixo, uns dos outros, com seus dígitos em colunas, de modo que na última, ou a partir da direita, eles fiquem na mesma coluna.

Quando somamos decimais como 45,67; 8,32; 9,3122 e 0,65; os colocamos embaixo um do outro, de modo que os pontos decimais estejam em ordem na linha, de alto à baixo.

Para conferir a adição; ou somamos os algarismos na mesma ordem novamente; ou os somamos em ordem contrária.

Subtração dos números inteiros

A subtração é o processo para se encontrar a diferença entre dois números, tirando o menor do maior. O número que é subtraído é chamado subtraendo, o outro número é chamado minuendo; a diferença tirada deles é chamada resto. Para encontrar o resto, escreva o subtraendo embaixo do minuendo, como na adição. Começando da direita, diminua cada algarismo do subtraendo do algarismo acima, e escreva o resto abaixo, na mesma coluna. Quando o processo é terminado, o número abaixo do subtraendo é o resto.

Para conferir a subtração, somamos o resto e o subtraendo. A soma dos dois é igual ao minuendo.

Multiplicação de números inteiros

O processo para se encontrar a quantidade obtida pela repetição de um dado número, em um número específico de vezes, é chamado multiplicação. O processo de multiplicação é, de fato, um caso de adição repetida, no qual todos os números que estão sendo adicionados são idênticos. Portanto, a soma de 6+6+6+6=24 pode ser expressa pela multiplicação 6 x 4 =24. Os números 6 e 4 são conhecidos como os fatores (coeficientes) da multiplicação e o 24, como produto.

Nessa operação, o produto é formado pela multiplicação dos fatores.

Quando um dos fatores é um número inteiro de um algarismo, o produto é formado pela multiplicação desse número por cada algarismo do outro fator, da direita para a esquerda, mudando quando necessário.

Quando ambos os fatores são formados por números inteiros de mais de um algarismo, o produto é formado pela multiplicação de cada algarismo de um fator pelo outro. No exercício, o cuidado está, em quando escrever abaixo os produtos parciais formados, estar certo de que o algarismo da extremidade direita se alinha abaixo do algarismo da multiplicação. Este é então, um problema de adição simples para encontrar o produto final.

EXEMPLO: Determinar o custo de 18 velas de ignição, custando cada $3.25.

$$\begin{array}{r} 3,25 \\ \underline{\text{x } 18} \\ 2600 \\ \underline{325} \\ 58,50 \end{array}$$

Quando se multiplica uma série de números, o produto final será o mesmo, independentemente da ordem pela qual esses números são organizados.

EXEMPLO: Multiplicar: (7) (3) (5) (2) = 210

$$\begin{array}{rrrcrrr} 7 & 21 & 105 & \text{ou} & 7 & 3 & 35 \\ \underline{\text{x}3} & \underline{\text{x}5} & \underline{\text{x } 2} & & \underline{\text{x}5} & \underline{\text{x}2} & \underline{\text{x}6} \\ 21 & 105 & 210 & & 35 & 6 & 210 \end{array}$$

Divisão dos números inteiros

O processo de descobrir quantas vezes um número está contido em um segundo número, é chamado divisão. O primeiro número é chamado o divisor; o segundo, o dividendo; e, o resultado é o quociente.

Das quatro operações básicas, a divisão é a única que envolve acertos e erros na solução. É necessário fazer tentativas quanto ao algarismo apropriado, ainda que a experiência tende a diminuir o número de tentativas, a forma incorreta pode acontecer uma vez ou outra.

Colocar a vírgula, corretamente no quociente, freqüentemente constitui uma dificuldade.

Quando se divide um número decimal por outro, um passo importante é eliminar a vírgula do divisor. Para conseguir basta mover a vírgula para a direita, em um número de casas necessário para eliminá-la.

A seguir, move-se a vírgula para a direita no dividendo tantas casas quanto forem necessárias mover no divisor, e procede-se como na divisão normal.

FRAÇÕES

Uma fração é uma divisão indicada que expressa uma ou mais de uma das partes iguais, na qual uma unidade é dividida. Por exemplo, a fração 2/3 indica que o inteiro foi divido em 3 partes iguais, e que 2 dessas partes estão sendo usadas ou consideradas. O número acima da linha é o numerador e o número abaixo é o denominador.

Se o numerador de uma fração é igual ou maior que o denominador, a fração é conhecida como imprópria. Na fração 15/8, se a divisão indicada é efetuada, a fração imprópria é trocada para um número misto, que é um número inteiro, e uma fração:

$$\frac{15}{8} = 1\frac{7}{8}$$

Uma fração complexa é aquela que contém uma ou mais frações, ou números mistos, no numerador ou denominador. Os exemplos são:

$$\frac{\;\frac{1}{2}\;}{\frac{2}{3}} \quad ; \quad \frac{\;\frac{5}{8}\;}{2} \quad ; \quad \frac{\;\frac{3}{4}\;}{\frac{5}{8}} \quad ; \quad \frac{3\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}}$$

Uma fração decimal é obtida pela divisão do numerador de uma fração pelo denominador, e mostrando o quociente como um decimal. A fração 5/8 é igual 5:8 = 0,625.

Uma fração não muda seu valor, se tanto o numerador quanto o denominador, forem multiplicados ou divididos pelo mesmo número.

$$\frac{1}{4} \text{x} \frac{3}{3} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

As mesmas operações fundamentais realizadas com números inteiros podem também ser realizadas com frações. São: adição, subtração, multiplicação e divisão.

Adição e subtração de frações ordinárias (comuns)

Para se adicionar ou subtrair frações, todos os denominadores devem ser semelhantes. No trabalho com frações, como os números inteiros, aplica-se regra de semelhança. Isto é, apenas frações iguais podem ser adicionadas ou subtraídas.

Quando adicionamos ou subtraímos frações que têm denominadores iguais, é apenas necessário, adicionar ou subtrair os numeradores; e expressar o resultado como o numerador de uma fração, cujo denominador, é o denominador comum. Quando os denominadores são diferentes, é necessário primeiro reduzir as frações ao denominador comum, antes de continuar com o processo de adição ou subtração.

EXEMPLOS:

1 - Uma certa instalação de interruptor requer um "passeio" da haste, de 5/8 de polegada, antes que ocorra a atuação da mesma. Se for requerido um "passeio" de 1/8 de polegada após a atuação, qual será o "passeio" total da haste?

Passo 1: Somar os numeradores.

$$5 + 1 = 6$$

Passo 2: Expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{5}{8} + \frac{1}{8} = \frac{6}{8}$$

2 - O deslocamento total de um "macaco de rosca" é 13/16. Se o deslocamento em uma direção, vindo de uma posição neutra, é 7/16 de polegada, qual é o deslocamento na direção contrária?

Passo 1: Subtrair os numeradores.

$$13 - 7 = 6$$

Passo 2: Expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{13}{16} - \frac{7}{16} = \frac{6}{16}$$

3 - Encontrar o diâmetro externo de uma seção de tubo que tem 1/4 de polegada de diâmetro interno, e uma espessura de parede combinada de 5/8 de polegada.

Passo 1: Reduzir as frações ao denominador comum.

$$\frac{1}{4} = \frac{2}{8}; \frac{5}{8} = \frac{5}{8}$$

Passo 2: Somar os numeradores e expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{2}{8} + \frac{5}{8} = \frac{7}{8}$$

4 - A tolerância para a ajustagem da inclinação do aileron de um avião é 7/8, mais ou menos 1/5 de polegada. Qual é a inclinação mínima para a qual o aileron possa ser ajustado?

Passo 1: Reduzir as frações para o denominador comum.

$$\frac{7}{8} = \frac{35}{40} \; ; \; \frac{1}{5} = \frac{8}{40}$$

Passo 2: Subtrair os numeradores e expressar o resultado como nos exemplos acima.

$$\frac{35}{40} - \frac{8}{40} = \frac{27}{40}$$

Cálculo do mínimo denominador comum

Quando os denominadores de frações a serem somadas ou subtraídas, são tais, que o mínimo denominador comum possa ser determinado imediatamente, o MDC (mínimo denominador comum) pode ser encontrado pelo método de divisão contínua.

Para encontrar o MDC de um grupo de frações, escreva os denominadores na linha horizontal. A seguir, divida os mesmos denominadores pelo menor número inteiro que dividirá dois ou mais dos denominadores, daí, descer para uma nova linha todos os quocientes e números que não foram divisíveis. Continuar este processo até que não tenha dois números na linha de resultados que sejam divisíveis por qualquer número inteiro que não seja um. Multiplica-se todos os divisores e os termos restantes na última linha para obter o máximo denominador comum.

EXEMPLO:

Qual é o MDC para 7/8, 11/20, 8/36, 21/45?

Passo 1: Escrever os denominadores na linha horizontal e dividi-la pelo menor número inteiro, que dividirá exatamente dois ou mais dos números.

$$\begin{array}{r|rrrr} 2 & 8 & 20 & 36 & 45 \\ \hline & 4 & 10 & 18 & 45 \end{array}$$

Passo 2: Continuar este processo até que não haja dois números na linha de resultado que sejam divisíveis por qualquer número inteiro, que não seja um.

$$\begin{array}{r|rrrr} 2 & 8 & 20 & 36 & 45 \\ \hline 2 & 4 & 10 & 18 & 45 \\ \hline 2 & 2 & 5 & 9 & 45 \\ \hline 3 & 1 & 5 & 9 & 45 \\ \hline 3 & 1 & 5 & 3 & 15 \\ \hline 5 & 1 & 5 & 1 & 5 \\ \hline & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

Passo Final: Multiplicar todos os divisores e termos restantes na última coluna para obter o MDC.

$$\text{MDC} = 2x2x2x3x3x5 = 360$$

Multiplicação de frações

O produto de duas ou mais frações é obtido pela multiplicação dos numeradores para formar o numerador do produto; e pela multiplicação dos denominadores, para formar o denominador do produto.

A fração resultante é, então, reduzida para o seu menor termo. Um denominador comum não precisa ser encontrado para esta operação, já que o novo denominador, na maioria dos casos, será diferente de todas as frações originais.

EXEMPLO:

Qual é o produto de 3/5 x 12/22 x 1/2?

Passo 1: Multiplicar os numeradores.

$$3 \times 12 \times 1 = 36$$

Passo 2: Multiplicar os denominadores.

$$5 \times 22 \times 2 = 220$$

Passo Final: Reduzir a fração resultante para o seu menor termo.

$$\frac{36}{220} = \frac{9}{55}$$

Cancelamento

Cancelamento é a técnica de separar ou cancelar todos os fatores comuns que existem entre numeradores e denominadores. Isso ajuda na obtenção do produto, eliminando os cálculos mais pesados.

EXEMPLO:

Qual é o produto de 18/10 x 5/3?

O produto poderia ser encontrado pela multiplicação de 18 x 5 e 10 x 3 e, então, dividindo o produto dos numeradores pelo produto dos denominadores. Entretanto, o método mais fácil de solução é pelo cancelamento. É evidente que o 10 no denominador e o 5 no numerador podem ser divididos por 5.

$$\frac{18}{\underset{2}{\cancel{10}}} x \frac{\overset{1}{\cancel{5}}}{3}$$

Da mesma maneira, o 18 e o 3 são divisíveis por 3.

$$\frac{\overset{6}{\cancel{18}}}{\underset{2}{\cancel{10}}} x \frac{\overset{1}{\cancel{5}}}{\underset{1}{\cancel{3}}}$$

O 6 resultante no numerador e o 2 no denominador são divisíveis por 2.

$$\frac{\overset{\overset{3}{\cancel{6}}}{\cancel{18}}}{\underset{\underset{1}{\cancel{2}}}{\cancel{10}}} x \frac{\overset{1}{\cancel{5}}}{\underset{1}{\cancel{3}}} = \frac{3 \text{ x } 1}{1 \text{ x } 1} = \frac{3}{1} = 3$$

A fração está, portanto, reduzida aos seus menores termos; e os passos finais da divisão e multiplicação são realizados facilmente, quando comparados com tarefas de multiplicar e dividir as frações maiores.

Divisão de frações comuns

A divisão de frações comuns é feita, convenientemente, por conversão do problema em uma multiplicação de duas frações comuns. Para dividir uma fração por outra, inverte-se a fração divisora, e multiplica-se os numeradores e denominadores. Isto é conhecido como o método do divisor invertido.

Lembre-se sempre da ordem em que as frações são escritas. É importante, na divisão, que as operações sejam realizadas na ordem indicada. Lembre-se também, que é sempre o divisor que é invertido, nunca o dividendo.

Números mistos

Os números mistos podem ser adicionados, subtraídos, multiplicados ou divididos; trocando-os pelas frações impróprias e procedendo como nas operações com outras frações.

EXEMPLO:

Um pedaço de tubo medindo 6 3/16 de polegada é tirado de um pedaço de 24 1/2 de polegada. Levando em conta 1/16 de polegada para o corte, qual é a medida do pedaço restante?

Passo 1: Reduzir as partes fracionárias para frações semelhantes e completar o processo de subtração.

$$\frac{1}{2}-\frac{3}{16}-\frac{1}{16}=\frac{8}{16}-\frac{3}{16}-\frac{1}{16}=\frac{4}{16}=\frac{1}{4}$$

Passo 2: Subtrair as partes inteiras.

$$24 - 6 = 18$$

Passo Final: Combinar os resultados obtidos em cada passo.

$$18 + 1/4 = 18\ 1/4 \text{ de polegada}$$

Números decimais

Números decimais são frações cujos denominadores são 10 ou múltiplos de 10, tais como 100, 1000, 10.000, etc. Eles são indicados, escrevendo-se um ou mais algarismos para a direita de um sinal de referência chamado vírgula. Portanto:

$$\frac{6}{10} = 0{,}6 \Rightarrow \text{ambos lidos seis decimais}$$

$$\frac{6}{100} = 0{,}06 \Rightarrow \text{ambos lidos seis centesimos}$$

$$\frac{6}{1000} = 0{,}006 \Rightarrow \text{ambos lidos seis milesimos}$$

Quando escrevemos um número decimal, qualquer número de zeros pode ser escrito à direita, sem alterar seu valor. Isto pode ser ilustrado da seguinte maneira:

$$0{,}5 = \frac{5}{10} = \frac{1}{2};0{,}50 = \frac{50}{100} = \frac{1}{2};0{,}500 = \frac{500}{1000} = \frac{1}{2}$$

Uma fração decimal, que é escrita onde não há números inteiros como 0,6; 0,06; etc., é chamada decimal puro. Quando um número inteiro e uma fração decimal são escritos juntos como 3,6; 12,2; 131,12; etc., o número é conhecido como decimal misto.

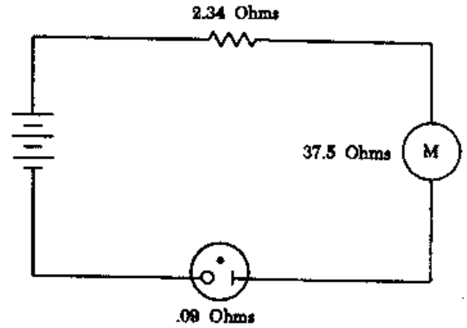


Figura 1-1 Circuito em série.

Adição de decimais

Quando operamos com números decimais, a regra de semelhança requer que se adicione ou subtraia apenas denominadores iguais. Essa regra foi discutida anteriormente sob o título de adição e subtração de números inteiros. Para somar ou subtrair expressões decimais, organize os decimais, de modo que as vírgulas se alinhem verticalmente, e some ou subtraia, como os inteiros. Coloque a vírgula no resultante diretamente abaixo da vírgula nos adendos, ou minuendo e subtraendo.

EXEMPLOS:

A resistência total do circuito em série (figura 1-1) é igual a soma das resistências individuais. Qual é a resistência total para o circuito mostrado neste exemplo?

Passo 1: Organize os números decimais na coluna vertical de modo que as vírgulas fiquem alinhadas.

2,34
37,5
0,09

Passo 2: Complete a adição seguindo a técnica usada na soma dos números inteiros. Coloque a vírgula no resultado diretamente abaixo das vírgulas das parcelas.

2,34
37,5
0,09
39,93 ohms

Subtração dos decimais

Um circuito em série contendo dois resistores tem uma resistência total de 37,27 ohms. Um dos resistores têm o valor de 14,88 ohms. Qual é o valor do resistor restante?

Passo 1: Coloque os números decimais na coluna vertical, de modo que as vírgulas fiquem no alinhamento.

37,27
- 14,88

Passo 2: Realizar a subtração, usando o procedimento de subtração dos números inteiros. Coloque a vírgula no resultado diretamente abaixo das outras vírgulas.

37,27
- 14,88
22,39

Multiplicação de números decimais

A multiplicação de um número decimal por outro sempre produzirá um resultado menor do que qualquer dos dois números. Quando um decimal é multiplicado por um número inteiro ou por um número misto, a resposta se posicionará entre os dois números.

Quando se multiplica uma fração decimal por um número inteiro ou uma outra fração decimal, a maior dificuldade consiste no posicionamento da vírgula.

Para multiplicar decimais, ignore as vírgulas e multiplique os termos, como se eles fossem números inteiros. Para localizar a vírgula no produto, comece da direita e siga para a esquerda o número de casas decimais, que serão iguais a soma de casas decimais, nas quantidades multiplicadas.

Passo 1: Posicione e multiplique os termos. Desconsidere a vírgula.

9,45
x 120
000
1890
945
113400

A seguir, determine o local da vírgula, comece à direita do produto e siga para a esquerda o número de casas decimais, iguais à soma das casas decimais das quantidades multiplicadas.

9,45
x 120
18900
945
1134,00

Em alguns problemas o número de algarismos no produto será menor que a soma de casas decimais nas quantidades multiplicadas. Onde isso ocorrer, simplesmente some zeros para a esquerda do produto, até que o número de algarismos se iguale à soma das casas decimais nas quantidades multiplicadas.

EXEMPLO: Multiplicar 0,218 por 0,203

Passo 1: Organize os termos e proceda a multiplicação, desconsiderando a vírgula.

$$\begin{array}{r} 0{,}218 \\ \underline{0{,}203} \\ 654 \\ \underline{4360} \\ 44254 \end{array}$$

Passo 2 - Localizar a vírgula, acrescentando um zero à esquerda do produto, até que o número de casas seja igual a soma das casas decimais nas quantidades multiplicadas. A seguir, acrescente um zero à esquerda da vírgula.

$$\begin{array}{r} 0{,}218 \\ \underline{0{,}203} \\ 654 \\ \underline{4360\ } \\ 0{,}044254 \end{array}$$

Divisão de números decimais

Quando um ou ambos os termos de um problema de divisão envolve expressões decimais, o quociente é encontrado ao se converter o problema para outro, envolvendo um número inteiro.

Dois fatos relacionando a divisão de decimais que devem ser colocados em mente são: (1) Quando o dividendo e o divisor são multiplicados pelo mesmo número, o quociente permanece inalterado; (2) Se o divisor for um número inteiro, a casa decimal no quociente se alinhará verticalmente com o decimal no dividendo, quando o problema for expresso em forma de divisão prolongada.

Para dividir expressões decimais, conte para a direita da vírgula no dividendo o mesmo número de casas que estão situados à direita da vírgula no divisor. Se o número de casas decimais no dividendo for menor que o número de casas decimais no divisor, acrescente zeros ao dividendo; lembrando que deve haver no mínimo tantas casas decimais no dividendo quantas sejam as do divisor. Dividir os termos desprezando as vírgulas.

EXEMPLO: A área da asa de um certo avião é de 245 pés quadrados; sua extensão é 40,33 pés. Qual é a corda média de suas asas?

Passo 1: Disponha os termos da divisão e mova a vírgula para a direita, somando zeros quando necessário.

$$\begin{array}{r|l} 245.00 & \underline{40{,}33\ } \end{array}$$

Passo 2: Divida os termos, desconsiderando os pontos decimais completamente.

$$\begin{array}{r|l} 245.00 & \underline{4033\qquad\qquad} \\ 030200 & 6{,}07 \\ 1969 & \end{array}$$

Arredondamento de decimais

Há uma tendência geral a pensar que todos os números são precisos. Realmente, o domínio inteiro de medidas, envolve números que são apenas aproximações de números precisos. Por exemplo, medições de comprimentos, áreas e volumes são as melhores aproximações. O grau de precisão dessas medições depende do refinamento dos instrumentos de medidas.

De vez em quando é necessário arredondar um número para algum valor prático para o uso. Por exemplo, o valor de uma medição é 29,4948 polegadas. É impraticável, se não impossível, medir de forma exata, com uma regua de aço (escala), cuja precisão seja 1/64 de polegada.

Para utilizar essa medida, podemos usar o processo de arredondamento. Uma expressão decimal é arredondada tomando-se determinado número de casas e descartando-se as demais.

O número retido é uma aproximação do número calculado ou do número exato. O grau de precisão desejado determina o número de algarismos a ser tomado. Quando o algarismo, logo à direita do último algarismo tomado, for 5 ou maior, aumente o último algarismo tomado de uma unidade.

Quando o algarismo, imediatamente à direita do último algarismo tomado for menor que 5, deixe-o inalterado.

EXEMPLO: Arredonde 29,4948 para o décimo mais próximo.

Passo 1: Determine o número de algarismos a ser tomado. Neste caso - décimos sendo a primeira casa para a direita da vírgula.

29,4948

Passo 2: Mude o valor do último algarismo tomado, se requerido. Neste caso, como é maior que 5 o decimal final é expresso assim:

29,4948 passa a ser 29,5 polegadas.

Conversão de decimais para frações comuns

Para transformar um número decimal em uma fração comum, conte o número de algarismos para a direita da vírgula. Expresse o número como numerador de uma fração, cujo denominador é 1, seguido pelo número de zeros que ficará igual ao número de algarismos à direita da vírgula.

EXEMPLO:

Expresse 0,375 como uma fração comum.

Passo 1: Conte o número de algarismos à direita da vírgula.

0,375
/ | \
1 2 3

Passo 2: Expresse o número como numerador de uma fração cujo denominador seja 1, seguido pela quantidade de zeros, que ficará igual ao número de algarismos à direita da vírgula.

$$0{,}375 = \frac{375}{1000}$$

Muitas vezes uma dimensão é descrita num manual de manutenção, ou numa planta, sob a forma de frações decimais. Para que possa ser utilizada, a dimensão precisa ser convertida com aproximação adequada para a escala disponível no instrumento de medida. No caso do mecânico, a régua de aço (escala) costuma ser o instrumento mais usado.

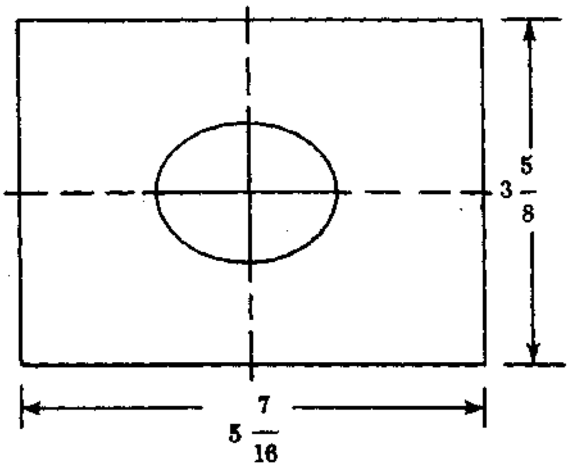


Figura 1-2 Centralizando um furo.

Para transformar um decimal na fração equivalente mais próxima, com um denominador desejado, multiplique o decimal por esse denominador. O resultado será o numerador da fração procurada.

EXEMPLO:

Quando são requeridos juros precisos de diâmetro uniforme, primeiramente eles são perfurados com 1/64 de polegada a menos (SUBMEDIDA) e, posteriormente alargados ou retificados até o diâmetro desejado. Qual o tamanho da broca a ser utilizada antes de alargar um furo até 0,763 de polegada?

Passo 1: Multiplique o decimal pelo denominador desejado - 64:

```
 0,763
  x 64
  3052
 4578
48,832
```

Passo 2: Arredonde o produto para o inteiro mais próximo e expresse-o como o numerador da fração correspondente:

48,832 ---> 49

fração = $\frac{49}{64}$

Passo Final: Para determinar o tamanho da broca, subtraia 1/64 de polegada do diâmetro final do furo:

$$\frac{49}{64}-\frac{1}{64}=\frac{48}{64}=\frac{3}{4}$$

Assim, devemos usar a broca de 3/4 de polegada.

Conversão de frações comuns em números decimais.

Para converter uma fração comum, seja ela própria ou imprópria, para um número decimal, divida o numerador pelo denominador e acrescente zeros à direita, de modo a dar ao quociente a precisão desejada.
EXEMPLO:

Calcule a distância do centro do furo (figura 1-2) às bordas da placa, considerando que o centro do furo coincide com o centro da placa.

Expresse o comprimento e a largura da placa em decimais, dividindo por 2. Expresse o resultado final nos 32 avos mais próximos.

Passo 1: Transforme os números mistos em frações impróprias:

$$5\frac{7}{16}=\frac{87}{16};\ 3\frac{5}{8}=\frac{29}{8}$$

Passo 2: Converta as frações impróprias em expressões decimais:

$$\frac{87}{16}=5{,}4375;\ \frac{29}{8}=3{,}625$$

Passo 3: Divida as expressões decimais por 2 para achar o centro da placa.

$$\frac{5{,}4375}{2}=2{,}7188;\ \frac{3{,}625}{2}=1{,}813$$

Passo Final: Expresse o resultado final em 32 avos.

$$2{,}7188=2\frac{23}{32};\ 1{,}813=1\frac{26}{32}$$

Percentagem

Muitos problemas do dia a dia envolvem percentagem. A maior parte deles envolve algum tipo de comparação entre uma parte e um todo. Essas comparações se tornam problemas de percentagem quando tais frações são expressas como um percentual.

Uma fração cujo denominador é 100 é dado o nome de percentual. Ao escrever tais frações, o símbolo do percentual (%) é utilizado para substituir o denominador. Qualquer fração ou número decimal pode ser expresso como um percentual. A fração 1/5 pode ser expressa como 0,20 ou como 20 por cento, ou simplesmente, 20%. Note que o percentual é a mesma coisa que uma fração decimal, exceto que a vírgula foi movida duas casas para a direita, e depois deletado, após o símbolo "%" ter sido adicionada.

Expressão de um número decimal como um percentual

Para exprimir um número decimal, como um percentual, mova a vírgula duas casas para a direita (adicione zeros, se necessário), e então coloque o símbolo "%".

EXEMPLO: Exprima 0,90 como um percentual.

Passo 1: Mova a vírgula duas casas para a direita

0,90 ---> 90,

Passo Final: Elimine a vírgula e coloque o símbolo "%".

90, ---> 90%

Expressão de um percentual como um número decimal

Algumas vezes pode ser necessário exprimir um percentual como um decimal. Tenha em mente que um percentual é simplesmente um número decimal, cuja vírgula foi deslocada duas casas para a direita; assim, para se exprimir um percentual como um número decimal, tudo que se precisa fazer é mover a vírgula duas casas para a esquerda.

Expressão de uma fração comum como um percentual

A técnica envolvida em exprimir uma fração comum em percentual é, essencialmente, a mesma utilizada para uma fração decimal. A única diferença está no procedimento necessário para converter a fração em número decimal.
EXEMPLO: Expresse 5/8 como um percentual

Passo 1: Converta a fração em número decimal

$$\frac{5}{8} = 5 \div 8 = 0{,}625$$

Passo Final: Mova a vírgula duas casas e direita e coloque o símbolo "%".

$$0{,}625 = 62{,}5\%$$

Calculando qual percentual um número é de outro

Determinar qual percentual um número é de outro se faz escrevendo o número que representa a parte, como sendo o numerador de uma fração, cujo denominador será o número que representa o todo. Então se converte tal fração em percentual.

EXEMPLO: Um motor de potência 12 HP está desenvolvendo potência de 10,75 HP. Qual a eficiência do motor expressa em porcentagem?

Passo 1: Escreva o número que representa a parte 10,75 como o numerador; e o número que representa o todo, 12, como sendo o denominador.

$$\frac{10{,}75}{12}$$

Passo 2: Converta a fração formada em número decimal.

$$10{,}75 \div 12 = 0{,}8958$$

Passo Final: Expresse o decimal em percentual.

$$0{,}8958 = 89{,}58\%$$

A eficiência do motor é de 89,58%

Calculando um percentual de um número dado

A técnica utilizada para determinar um percentual de um dado número é baseada no processo de multiplicação. É necessário exprimir o percentual desejado, sob a forma de número decimal ou fração comum, e multiplicá-lo pelo número dado.

EXEMPLO:

A velocidade de cruzeiro de um avião numa altitude de 7500 pés é de 290 nós. Qual a velocidade de cruzeiro a 9000 pés, sabendo-se que ela teve um acréscimo de 6%?

Passo 1: Expresse o percentual desejado em decimal.

$$6\% = 0{,}06$$

Passo 2: Multiplique o número dado pela expressão decimal

$$290 \times 0{,}06 = 17{,}40$$

Passo Final: Some o produto encontrado, que corresponda ao acréscimo de 6% à velocidade original.

$$290 + 17{,}4 = 307{,}4 \text{ nós}$$

A velocidade de cruzeiro a 9000 pés será de 307,4 nós.

Determinação de um número do qual se conhece um percentual

Para se determinar um número, quando dele se conhece um percentual, expresse o percentual como um número decimal e divida o número conhecido pela expressão decimal do percentual.

EXEMPLO: Oitenta ohms representam 52% da resistência total de um circuito elétrico. Calcule a resistência total deste circuito.

Passo 1: Expresse o percentual conhecido como um número decimal.

$$52\% = 0{,}52$$

Passo 2: Divida o número correspondente ao percentual conhecido pelo expresso decimal.

$$80 - 0{,}52 = 153{,}8 \text{ ohms}$$

A resistência total é de 153,8 ohms

Razão

Uma importante aplicação das frações comuns é a razão, que representa a comparação entre números. Comparações através de razões têm grande aplicação na aviação.

A razão é utilizada para expressar a comparação entre o volume de um cilindro, quando o pistão está no ponto morto inferior; e o volume do mesmo cilindro, quando o pistão está no ponto morto superior.

Esta razão é denominada razão de compressão.

A razão de resposta de uma asa de avião é a comparação entre a medida da envergadura e a medida da corda. A relação entre velocidade, área de asa, envergadura, peso e potência, de diferentes modelos e tipos de aeronaves, pode ser comparada através da utilização de razões.

A razão é o quociente de um número dividido por outro, expressos em termos iguais.

A razão é, pois, a fração que um número representa de outro e pode ser expressa como uma fração, ou pode ser escrita utilizando os dois pontos (:) como sendo o símbolo para representar a razão. Assim a razão 7/8 pode ser escrita 7:8.

Determinação da razão entre duas quantidades

Para achar a razão, o primeiro termo é divido pelo segundo. Ambas as quantidades, de ambos os termos, devem estar necessariamente expressos na mesma unidade; e a fração, entretanto, formada e reduzida aos termos mais simples.

EXEMPLOS:

1 - Qual a razão entre uma carga de combustível de 800 galões e uma de 10080 libras? assuma que o peso do combustível é de 7,2 libras por galão.

Passo 1: Expresse a carga de combustível de 800 galões como sendo o numerador de uma fração, cujo denominador será a carga de combustível de 10080 lb.

$$R = \frac{800\text{gal}}{10080\text{lb}}$$

Passo 2: Expresse ambas as quantidades na mesma unidade (libras)

$$\text{Em libras: } R = \frac{(800 \times 7{,}2)\text{lb}}{10{,}080\text{lb}} = \frac{5760\text{lb}}{10.800\text{lb}}$$

$$\text{Em galões: } R = \frac{800\text{gal}}{\frac{10.080\text{gal}}{7{,}2}} = \frac{800\text{gal}}{1400\text{gal}}$$

Passo Final: Reduza a fração formada com termos mais simples.

$$\text{Em libras: } R = \frac{5760}{10080} = \frac{4}{7} \text{ ou } 4 \div 7$$

$$\text{Em galões: } R = \frac{800}{1400} = \frac{4}{7} \text{ ou } 4 \div 7$$

2 - Se a velocidade de cruzeiro de um avião é de 200 nós e sua velocidade máxima é de 250 nós, qual a razão entre a velocidade de cruzeiro e a velocidade máxima?

Passo 1: Expresse a velocidade do cruzeiro como numerador de uma fração, cujo denominador é a velocidade máxima.

$$R = \frac{200}{250}$$

Passo Final: Reduza a fração resultante aos termos mais simples.

$$R = \frac{200}{250} = \frac{4}{5}$$

Se quiser expressar a razão à unidade.

$$R = \frac{4}{5} = 0{,}8 \div 1$$

Determinação da quantidade relativa ao primeiro termo

Considere agora a situação, na qual são conhecidas a razão e a quantidade correspondente ao segundo termo, e, que se deseje achar a quantidade correspondente ao primeiro termo. Para resolver este tipo de problema, multiplique a quantidade que corresponde ao segundo termo pela fração que corresponde à razão.

EXEMPLO: A razão é 5/7 e o número correspondente ao segundo termo é 35. Ache o número correspondente ao primeiro termo.

Passo 1: Expresse o problema como o produto do segundo termo, pela razão.

$$35 \times \frac{5}{7} =$$

Passo Final: Faça as operações indicadas:

$$5 \times \frac{5}{7} = 25$$

O primeiro termo é 25. Pode-se verificar calculando razão entre 25 e 35.

$$\frac{25}{35} = \frac{5}{7}$$

Determinação da quantidade relativa ao segundo termo.

Para resolver um problema deste tipo, a razão entre as duas quantidades e, a quantidade correspondente ao primeiro termo devem ser conhecidos. A solução é obtida dividindo-se a quantidade conhecida (1º termo) pela fração que representa a razão:

EXEMPLO:

A razão entre dois números é 2/3, o número que corresponde ao primeiro termo é 100. Ache o número que corresponde ao segundo termo.

Passo 1: Expresse o problema como o quociente do primeiro termo dividido pela razão.

$$100 \div \frac{2}{3} =$$

Passo Final: Faça as operações

$$100 \div \frac{2}{3} =$$

$$50 \times \frac{3}{2} = 150$$

O segundo termo é 150. Novamente pode-se verificar, calculando a razão entre 100 e 150:

$$\frac{100}{150} = \frac{2}{3}$$

Proporção

A proporção e a equivalência entre duas ou mais razões. Assim:

$$\frac{3}{4} = \frac{6}{8} \text{ ; ou } 3 \div 4 \;=\; 6 \div 8$$

Lê-se: 3 está para 4; assim como 6 está para 8. O primeiro e o último termo da proporção são chamados "extremos". O segundo e o terceiro termos são chamados "meios".

Em qualquer proporção o produto dos extremos é igual ao produto dos meios. Na proporção

$$2'' \div 3 = 4 \div 6$$

O produto dos extremos; 2x6, é 12; o produto dos meios; 3x4, também é 12.

Na verificação de qualquer proporção, verifica-se que isto é sempre verdade. Esta regra simplifica a solução de muitos problemas práticos.

Um avião consumiu 24 galões de gasolina, para percorrer uma distância de 300 milhas. Quantos galões precisará para voar 750 milhas?

$$\frac{300}{750} = \frac{24}{X}$$

$$300 \times X = 750 \times 24$$

$$300X = 18000$$

$$X = 60$$

Resposta: Sessenta galões serão necessários para percorrer a distância de 750 milhas.

Números positivos e negativos

Números positivos e negativos são números que possuem um valor relativo, conforme sua posição, em relação a uma origem ou zero.

Números acima, ou de um lado; usualmente à direita do zero, são designados positivos (+).

Aqueles abaixo ou do lado oposto; usualmente à esquerda do zero, são designados negativos (-). A figura 1-3 é representativa dos números relativos numa escala horizontal.

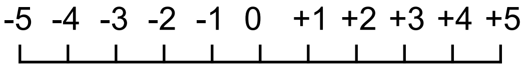


Figura 1-3 - Escala de números relativos.

- A soma de números positivos é positiva
- A soma de números negativos é negativa.

Adição

Para somar um número positivo e um negativo, ache a diferença entre seus valores absolutos, e atribua a essa diferença o sinal ("+" ou "-") do número de maior valor absoluto.

EXEMPLO: O peso de uma aeronave é de 2000 libras. Uma bandeja de equipamento eletrônico pesando 3 libras e um transceptor pesando 10 libras, são removidos dessa aeronave. Qual o novo peso?

Para efeito de peso e balanceamento, todo peso removido da aeronave é considerado negativo, e todo peso incluído, é considerado positivo.

Passo 1: Adicione os valores absolutos dos pesos retirados.

10 + 3 = 13

Passo 2: Atribua o sinal negativo; pois foram pesos retirados.

- 13

Passo Final: Ache a soma entre o total de pesos removidos, sinal negativo, e o peso total original da aeronave.

2000 - 13 = 1987

O novo peso da aeronave é de 1987 libras.

Subtração

Para subtrair números positivos e negativos, troque o sinal do subtraendo (número a ser subtraído do outro), e proceda como na adição.

EXEMPLO:

Qual é a diferença entre a temperatura de +20º, lida a 5000 pés e a de - 6º, lida a 25000 pés? Siga a regra "a diferença de temperatura, é igual a primeira temperatura lida; subtraída daquela, tomada na segunda leitura".

Passo 1: Troque o sinal do número a ser subtraído.

+ 20 passa a ser - 20

Passo Final: Combine os termos e proceda como adição.

- 6 + (- 20) = - 26 graus

Multiplicação

O produto de dois números positivos é positivo (+). O produto de dois números negativos, é positivo (+). O produto entre um número positivo e um negativo, é negativo (-).

EXEMPLOS:

3 x 6 = 18
- 3 x 6 = -18
- 3 x (- 6) = 18
3 x (- 6) = 18

Divisão

O quociente entre dois números positivos é positivo. O quociente entre dois números negativos é negativo. O quociente entre um número positivo e um negativo, é negativo.

EXEMPLOS:

$6 \div 3 = 2$ $\qquad$ $-6 \div 3 = -2$

$-6 \div (-3) = 2$ $\qquad$ $6 \div (-3) = -2$

POTÊNCIAS E RAIZES

Potência

Quando um número (a base), é usado como fator, duas ou mais vezes, o resultado é uma potência da base. Um expoente positivo inteiro, escrito como um número pequeno (em tamanho) à direita e pouco acima da base, indica o número de vezes em que base é usada como fator. Assim, "4 ao quadrado" ou "4^2", significa 4 x 4, que é igual a 16. O 4 é a base, o 2 é o expoente, e o 16 é o resultado.

Raízes

A raiz de um número é aquele dentre dois ou mais números iguais, que, quando multiplicados, produzem o número original. Tal número é chamado fator igual. Sendo assim, dois fatores iguais que produzem 9, quando multiplicados são: 3 e 3. Por isso, a raiz quadrada de 9 é igual a 3.

Isso pode ser representado assim: $\sqrt{9} = 3$. O símbolo "$\sqrt{\ }$" é chamado de radical.

Outro método de iniciar a raiz quadrada de um número, é utilizar um expoente fracional. Tal como $9^{1/2} = 3$.

Caso a raiz a ser obtida não seja quadrada, ela também pode ser representada de maneira semelhante; ou seja, a raiz cúbica de 9 pode ser escrita $9^{1/3}$.

Por exemplo, a raiz cúbica de 8 é igual a 2, e pode ser representada, " $\sqrt[3]{8} = 2$ ", a raiz quarta de 256 é igual a 4, e pode ser representada por "$\sqrt[4]{256} = 4$ ", ou "$256^{1/4}$".

Cálculo da raiz quadrada

É relativamente fácil determinar a raiz quadrada de alguns números, como: 4, 9, 16 e 144. Esses números são os quadrados perfeitos de pequenos números.

Infelizmente, nem todos os números são quadrados perfeitos, nem pequenos. O quadrado de um número é, o produto dele por si mesmo.

O cálculo da raiz quadrada é o processo inverso da exponenciação e, é essencialmente, um processo especial de divisão. Uma descrição desse processo é apresentada a seguir.

EXEMPLO:

Encontre a raiz quadrada de 213,16.

Passo 1: Começando pela vírgula, divida o número em partes com apenas dois algarismos, antes e depois da vírgula. A última parte à esquerda da vírgula não precisa ter dois algarismos; todos os outros precisam. Deve-se adicionar um zero à direita, de forma que a última parte possua dois algarismos.

$$\sqrt{213{,}16}$$

Passo 2: Escolha o maior número que possa ser elevado ao quadrado na primeira parte. Coloque o número sobre o radical; depois coloque o quadrado desse número sob a primeira parte; e por fim subtraía.

$$\begin{array}{ll} & \overline{1} \\ & \sqrt{213.16} \\ 1 & \frac{1}{1} \end{array}$$

Passo Final: Desça a próxima parte.

(1) Multiplique a raiz por 2, e ponha o produto à esquerda do resto, como o divisor de tentativa.

(2) Encontre o número de vezes que o divisor de tentativa está contido na parte do resto, que é um dígito maior que o divisor de tentativa. Escreva esse número à direita do divisor de tentativa para formar um divisor final; e também à direita do dígito na raiz.

(3) Multiplique esse número pelo divisor completo. Se o resultado for maior que o resto, reduza o número de 1, tanto na raiz como no divisor final, e repita a multiplicação.

(4) Subtraia o produto formado do resto, e desça a próxima parte, para formar um novo resto.

(5) Para completar, simplesmente repita os procedimentos para cada número restante, não é necessário calcular além do número de dígitos do número original.

$$\overset{1\ 4\ 6}{\sqrt{213{,}16}}$$

$\underline{-1}$

24 113

$\underline{-96}$

286 17 16

17 16

Obs.: O 2 está contido 5 vezes dentro do 11. Contendo 5 x 25 é maior que 113; portanto o 5 deve ser reduzido a 4.

A vírgula é colocada na raiz. Dessa forma, o número de dígitos da parte inteira da raiz, é igual à soma do número de partes com dois algarismos, na parte inteira do número, do qual a raiz foi extraída.

Potências de dez

A dificuldade de realização de problemas matemáticos; envolvendo números muito grandes, ou muito pequenos; e a contagem e escrita de muitas casas decimais, são tanto um aborrecimento como uma fonte de erros.

Os problemas de representação e cálculo são simplificados pelo uso das "potências de dez". (ver figura 1-4). Este sistema requer a compreensão dos princípios da exponenciação. Eles são resumidos a seguir:

(1) O expoente positivo de um número (ou potência) é o método de indicar quantas vezes o número é multiplicado por si. Por exemplo, 2^3 (dois ao cubo) significa que o número 2 deve ser multiplicado por sí 3 vezes (2x2x2=8). Um número com expoente negativo pode ser definido como seu inverso ou recíproco (1 dividido pelo número) com o mesmo expoente, agora positivo, por exemplo, 2^{-3} (lê-se 2 elevado a menos 3) é o mesmo que:

$$\frac{1}{(2)^3} = \frac{1}{2 \times 2 \times 2} = \frac{1}{8}$$

(2) Qualquer número, exceto o zero, elevado à zero é igual à 1. Quando um número é escrito sem um expoente, o valor do expoente é 1. Quando um expoente não tem sinal (+ ou -), precedendo-o, o expoente é positivo.

POTÊNCIA DE DEZ	EXPANSÃO	VALOR
Expoente Positivo		
10^6	$10\times10\times10\times10\times10\times10$	1.000.000
10^5	$10\times10\times10\times10\times10$	100.000
10^4	$10\times10\times10\times10$	10.000
10^3	$10\times10\times10$	1.000
10^2	10×10	100
10^1	10	10
10^0		1

A velocidade da luz e de 30.000.000.000 de centimetros por segundos, simplificando para 3×10^{10} centimetros por segundo.

Expoente Negativo

$10^{-1} = \frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} = 0{,}1$
$10^{-2} = \frac{1}{10^2}$	$\frac{1}{10\times10}$	$\frac{1}{100} = 0{,}01$
$10^{-3} = \frac{1}{10^3}$	$\frac{1}{10\times10\times10}$	$\frac{1}{1.000} = 0{,}001$
$10^{-4} = \frac{1}{10^4}$	$\frac{1}{10\times10\times10\times10}$	$\frac{1}{10.000} = 0{,}0001$
$10^{-5} = \frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{10\times10\times10\times10\times10}$	$\frac{1}{100.000} = 0{,}00001$
$10^{-6} = \frac{1}{10^6}$	$\frac{1}{10\times10\times10\times10\times10\times10}$	$\frac{1}{1.000.000} = 0{,}000001$

A massa de um elétron é de 0,000.000.000.000.000.000.000.000.000.911 gramas.

Figura 1-4 Potências de dez e seus equivalentes

(3) O valor de um número não muda quando ele é multiplicado e dividido pelo mesmo fator (5 x 10:10=5). Movendo-se a vírgula de um

número para a esquerda, é o mesmo que dividí-lo por 10, para cada decimal, que a vírgula se mova. Inversamente, movendo-se a vírgula para a direita, é o mesmo que multiplicarmos o número por 10, para cada casa que a vírgula se mova.

Os procedimentos para o uso de potências de dez pode ser resumido:

(1) Mova a vírgula para a casa desejada. Conte o número de casas movidas.

(2) Multiplique o número por 10, a uma potência igual ao número de casas decimais que a vírgula foi movida.

(3) O expoente de 10 será negativo se a vírgula for movida para a direita; e será positivo se a vírgula for movida para a esquerda. Uma ajuda para lembrar o sinal a ser usado é: E, A, D, S.

Quando a vírgula é movida para a esquerda, basta adicionar; e quando a vírgula é movida para a direita, apenas subtraia.

Na maioria dos casos, pode-se achar conveniente reduzir os números usados, a números entre 1 e 10, com a potência adequada. A menos que, de outro modo especificado, todas as respostas dos problemas que usam potências de dez se enquadrem noutro registro.

Adição e Subtração de Potências de Dez

Antes de usar potências de dez em operações matemáticas, é bom relembrar algumas regras de expoentes.

• Dois ou mais números de mesma base, quando multiplicados, mantêm a mesma base elevada à soma algébrica dos expoentes.

$$3^4 \times 3^5 \times 3^3 = 3^{4+5+3} = 3^{12}$$

• Quando dois números de mesma base são divididos, o quociente será igual à mesma base elevada à um expoente, igual à subtração dos expoentes.

$$\frac{4^5}{4^3} = 4^{5-3} = 4^2$$

Um fator pode ser movido do numerador para o denominador; ou, do denominador para o numerador, simplesmente mudando o sinal do seu expoente.

$$\frac{3^2}{4^{-3}} = 3^2 \times 4^3 = \frac{4^3}{3^{-2}} = \frac{1}{4^{-3} \times 3^{-2}}$$

Para que dois ou mais números possam ser multiplicados através da adição ou subtração de seus expoentes, as bases devem ser iguais. Sendo assim, a^5 x b^6 não podem ser combinados; uma vez que as bases são diferentes.

Note que as regras especificam soma e subtração algébrica dos expoentes. Veja alguns exemplos:

$$a \Rightarrow 3^7 \times 3^{-11} = 3^{7+(-11)} = 3^{7-11} = 3^{-4} = \frac{1}{3^4}$$

$$b \Rightarrow 4^{-5} \times 4^3 = 4^{-5+3} = 4^{-2} = \frac{1}{4^2}$$

$$c \Rightarrow \frac{5^8}{5^{-6}} = 5^{8-(-6)} = 5^{8+6} = 5^{14}$$

$$d \Rightarrow \frac{6^8}{6^{12}} = 6^{8-12} = 6^{-4} = \frac{1}{6^4}$$

A multiplicação e a divisão, utilizando potências de dez, podem ser realizadas em 3 passos simples, como:

(1) Reduza todos os números a valores entre 1 e 10, multiplicados por 10, elevados à potência adequada;

(2) Realize as operações indicadas;

(3) Mude o resultado para um número entre 1 e 10, multiplicado por 10 à potência adequada.

CÔMPUTO DE ÁREA

As fórmulas lidam com dimensões, áreas e volumes de figuras geométricas. Há 5 figuras geométricas com as quais você deve estar familiarizado. Há uma fórmula para o cálculo de cada uma delas.

A área de uma figura plana é igual ao número de unidades quadradas que ela contém. As áreas são medidas em unidades diferentes, das utilizadas para comprimento. Uma área qua-

quadrada com 1 polegada de lado, é chamada de uma polegada quadrada. Todas as unidades de área são quadradas, (polegada quadrada, o pé quadrado, o jarda quadrado, vara quadrada, e etc..). Outras unidades de área são, centímetro quadrado, metro quadrado, metro quadrado, e etc. Encontrados no sistema métrico.

TABELA DE ÁREAS

144 polegadas quadradas = 1 pé quadrado
9 pés quadrados = 1 jarda quadrada
30 1/4 jardas quadradas = 1 vara quadrada
160 varas quadradas = 1 acre
640 acres = 1 milha quadrada
1 metro = 39,37 polegadas
1 metro = 3,281 pés
1 metro = 1000 milímetros
1 milha terrestre = 1.609 metros

A técnica de determinação da área de qualquer forma geométrica é baseada no uso de fórmulas. Para resolver um problema com uma fórmula é necessário:

(1) selecionar a fórmula correta,

(2) inserir os valores conhecidos na fórmula selecionada; e

(3) fazer os cálculos matemáticos para encontrar o resultado.

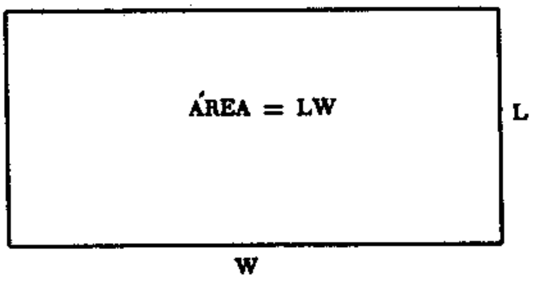


Figura 1-5 O retângulo.

O Retângulo

O retângulo é uma figura plana de quatro lados opostos côngruos 2 a 2, e em ângulos de 90º. O retângulo é uma figura muito conhecida na mecânica, representa a seção transversal de muitas vigas, hastes e encaixes. (ver fig 1-5).

A área do retângulo é o produto das medidas de comprimento e altura, quando expressas na mesma unidade de medida. A área pode ser exprimida pela fórmula:

A - C x L

Onde: A = área
C = comprimento
L = altura

EXEMPLO:

O painel de uma certa aeronave está na forma retangular, que possui um comprimento de 24 polegadas e uma altura de 12 polegadas. Qual é a área do painel expressa em polegadas quadradas?

Passo 1: Pegue os valores conhecidos e substitua na fórmula.
A = C x h
A = 24 x 12

Passo 2: Faça a multiplicação indicada, a resposta será a área total em polegadas quadradas.

A 24 x 12 = 288 pol quadradas

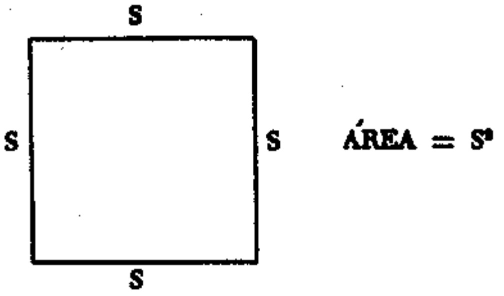


Figura 1-6 O quadrado.

O Quadrado

O quadrado é uma figura plana que possui quatro lados iguais e quatro ângulos retos (fig 1-6).

Para determinar sua área, basta encontrar o produto entre dois dos lados. Uma vez que os lados são iguais, sua fórmula pode ser expressa da seguinte forma:

$$A = L^2$$

onde A é a área, e L é o comprimento do lado.

EXEMPLO: Qual a área de um quadrado cujos lados medem 25 polegadas? Determine o valor conhecido e substitua na fórmula.

$$A = L^2$$
$$A = 25^2$$
$$A = 25 \text{ x } 25 = 625 \text{ pol}^2$$

Triângulos

O triângulo é um polígono de três lados. Há três tipos básicos de triângulos: o escaleno, o equilátero e o isósceles.

Um triângulo escaleno é aquele que tem lados e ângulos diferentes; o triângulo equilátero tem todos os lados e ângulos iguais.

O triângulo que possui apenas os dois lados e ângulos iguais é chamado isóscele.

Os triângulos também podem ser classificados em reto, obtuso ou agudo. Esses nomes descrevem os ângulos inscritos nos triângulo.

Um triângulo retângulo, é aquele que possui um ângulo medindo 90º; num triângulo obtusângulo, um dos ângulos é maior que 90º, no triângulo acutângulo, todos os ângulos são menores que 90º.

Os vários tipos de triângulos são mostrados na figura 1-7.

A altura do triângulo é a linha perpendicular, a partir do vértice até a base. Em alguns triângulos, como na fig 1-8, pode ser necessário projetar a base para fora do triângulo, para que a altura possa tocá-la.

A base do triângulo é o lado sobre o qual supõe-se que o triângulo descansa. Qualquer lado pode ser tomado como base.

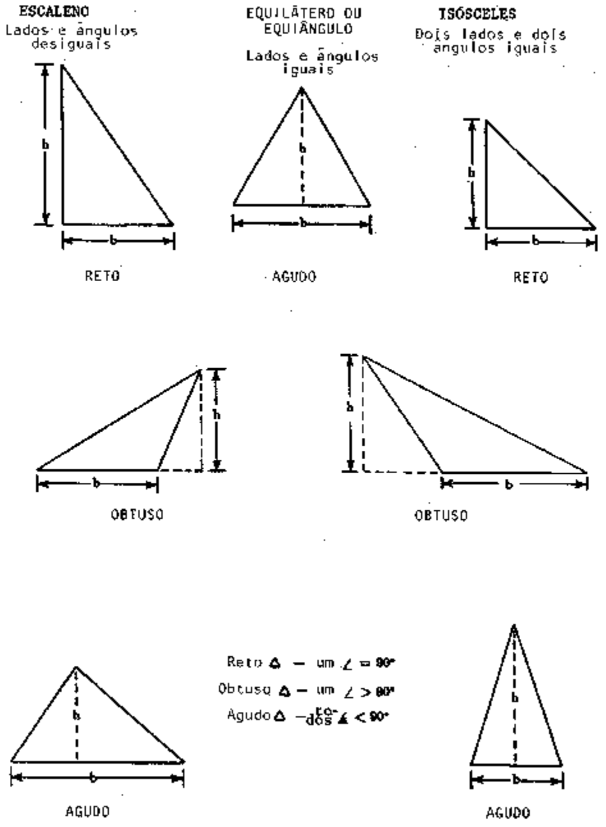

ESCALENO
Lados e ângulos desiguais
EQUILÁTERO OU EQUIÂNGULO
Lados e ângulos iguais
ISÓSCELES
Dois lados e dois ângulos iguais
h
b
RETO
AGUDO
RETO
OBTUSO
OBTUSO
Reto Δ – um ∠ = 90°
Obtuso Δ – um ∠ > 90°
Agudo Δ – todos ∠ < 90°
AGUDO
AGUDO

Figura 1-7 Tipos de triângulos.

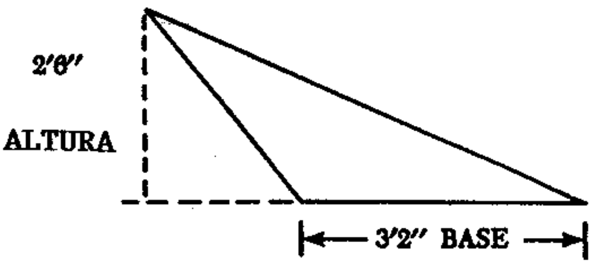

2'6"
ALTURA
3'2" BASE

Figura 1-8 Triângulo.

A área do triângulo é calculada aplicando-se a fórmula:

$$A = \frac{1}{2} hb$$

onde A é a área; 1/2 é uma constante dada; H é a altura; e, B é a base.

EXEMPLO:

Encontre a área do triângulo mostrado na figura 1-8.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula da área.

$$A = \frac{1hb}{2} = 1 \times 2'\ 6'' \ \times 3'\ 2''$$

Passo 2: Resolva a fórmula para o valor desconhecido.

$$A = \frac{1}{2} \times 30 \times 38 = \frac{1140}{2} = 570 \text{ polegadas quadradas}$$

Circunferência e Área de um Círculo

Para encontrar a circunferência, ou a área de um círculo, é necessário usar um número, chamado pi (π). Esse número representa a relação entre o raio e o diâmetro de qualquer circunferência. O Pi não é um número exato, e é representado com quatro casas decimais 3,1416, que é preciso o bastante, para a maioria dos cômputos. (ver fig. 1-9)

Circunferência

O comprimento de um círculo pode ser encontrado aplicando-se a fórmula:

$C = \pi D$ onde, C é o comprimento; π é a constante (3,1416); e D é o diâmetro do círculo.

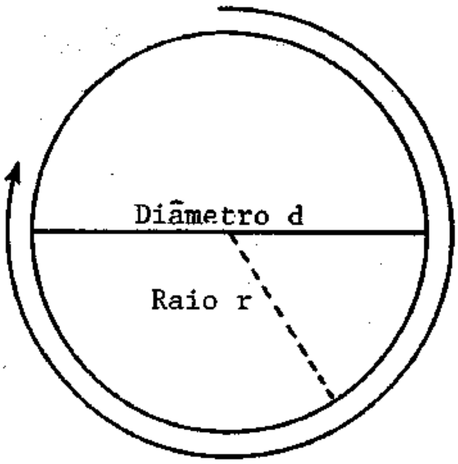


Figura 1-9 Um círculo.

EXEMPLO:

O diâmetro de um certo pistão mede 5 polegadas. Qual o comprimento da circunferência formada pela seção transversal do pistão?

Passo 1 - Substitua os valores conhecidos na fórmula, $C = \pi D$.

$$C = 3{,}1416 \text{ x } 5$$

Passo 2 = Resolva a fórmula.

$$C = 15{,}7080 \text{ polegadas}$$

Área

A área de um círculo, tal como em um retângulo ou triângulo, deve ser expressa em unidades quadradas.

A distância que corresponde à metade do diâmetro de um círculo é chamado "raio".

A área de um círculo é encontrada elevando-se o raio ao quadrado e multiplicando por π. A fórmula é assim expressa:

$$A = \pi\ \underline{r}^2$$

onde, A é a área; π é a constante dada; e $\underline{r}$ é o raio do círculo.

EXEMPLO:

O diâmetro interno de um cilindro de motor de uma aeronave mede 5 polegadas. Ache a área transversal interna do cilindro.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula, $A = \pi\ \underline{r}^2$.

$$A = 3{,}1416 \text{ x } 2{,}5^2$$

Passo 2 - Resolva a equação

$$A = 3{,}9416 \text{ x } 6{,}625$$
$$A = 19{,}635 \text{ pol. quadradas}$$

O Trapézio

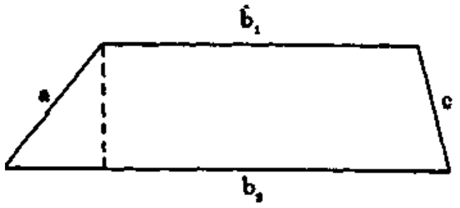


Figura 1-10 - O trapézio.

Um trapézio (fig. 1-10) é um quadrilátero que possui um par de lados paralelos. A área do trapézio é determinada pela fórmula:

$$A = \frac{1}{2}(b1 + b2)h$$

onde, A é a área, 1/2, é uma constante; B1 e B2, são as duas bases paralelas; e H é a altura.

EXEMPLO:

Qual é a área de um trapézio cujas bases medem 14 pol e 10 pol, e cuja altura mede 6 pol? (ver fig. 1-11).

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \frac{1}{2}(b1 + b2)h$$

$$A = \frac{1}{2}(10 + 14)\ 6$$

Passo 2: Resolva os cálculos.

$$A = \frac{1}{2}(24)6$$

$$A = 1 \times 144 = 72 \text{ pol quadradas}$$

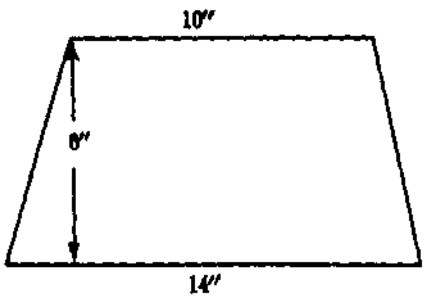


Figura 1-11 Cômputo da área de um trapézio.

Área Alar

Para descrever a planta de uma asa (fig. 1-12), muitos dados são requeridos. Para calcular a área de uma asa será necessário considerar o significado dos termos - envergadura e corda. A envergadura é o comprimento da asa, medido de ponta a ponta. A corda é a largura da asa, medida do bordo de ataque ao bordo de fuga. Se a asa for afilada, a corda média deve ser conhecida para o cálculo de área. A fórmula para o cálculo da área alar é:

$$A = EC$$

onde A é a área, E é a envergadura e C é a corda média.

* O processo usado, no cálculo da área alar, dependerá do formato da asa. Em alguns casos, será necessário usar a fórmula da área alar, em conjunto com uma das fórmulas da área de um quadrilátero ou círculo.

EXEMPLOS:

1 - Descubra a área da asa ilustrada na figura 1-13. Para determinar a área, é necessário decidir que fórmula usar. Vê-se que as pontas da asa formariam um círculo de 7 pés de diâmetro; o resto da asa tem a forma de um retângulo. Combinando as fórmulas, a área da asa com pontas arredondadas pode ser calculada assim:

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = EC + \pi r^2$$
$$A = (25 - 7)(7) + (3{,}1416)(3{,}5)^2$$

O valor de E é representado pela envergadura original da asa, menos o diâmetro das pontas circulares.

Passo 2: Resolva a fórmula.

$$A = (18 \times 7) + (3{,}1416 \times 12{,}25)$$
$$A = 126 + 38{,}5$$
$$A = 164{,}5 \text{ pés}^2 \text{ (sq.ft)}$$

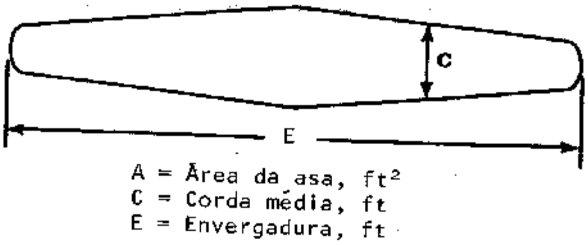


Figura 1-12 Planta da asa.

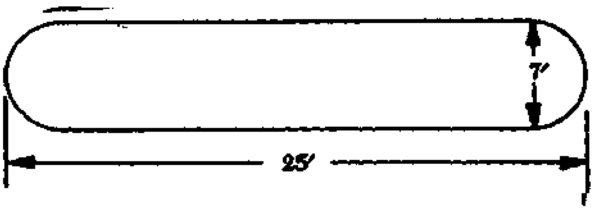


Figura 1-13 Asa com pontas arredondadas.

2 - Encontre a área da asa da fig. 1-14, cuja envergadura é de 50 pés e cuja corda média é de 6' 8".

Passo 1: Substitua os valores na fórmula.

A = EC
A = 50' x 6' 8"

Passo 2: Resolva os cálculos.

A = 50' x 6,67'
A = 333,5 pés² (sq.fr)

3 - Encontre a área de uma asa trapezoidal (mostrada na figura 1-15), cuja envergadura do bordo de ataque mede 30 pés, e a envergadura do bordo de fuga mede 34 pés; e cuja corda média mede 5 pés.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \frac{1}{2}(b1 + b2)h$$

$$A = \frac{1}{2}(30 + 34)5$$

Passo 2: Resolva as contas.

$$A = \frac{1}{2}(64)^5$$

$$A = \frac{1}{2}(320)$$

$$A = 1600 \text{ pes}^2 \ (\text{sq.fr})$$

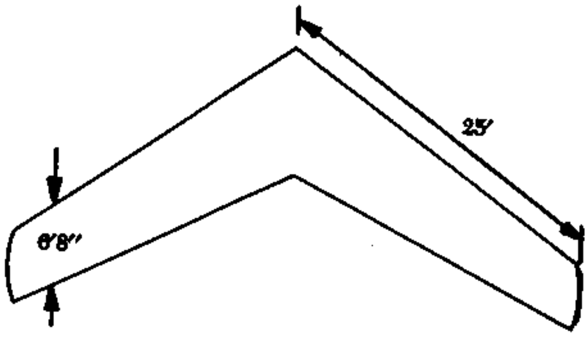


Figura 1-14. Asa enflechada.

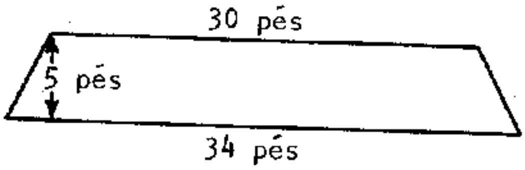


Figura 1-15. Asa trapezoidal.

CÔMPUTO DO VOLUME DOS SÓLIDOS

Sólidos são objetos tridimensionais - com comprimento, largura e espessura. Possuem várias formas, sendo os mais comuns os prismas, cilindros, pirâmides, cones e esferas. Ocasionalmente, é necessário determinar o volume de um triângulo, de um cubo, de um cilindro, ou de uma esfera.

Uma vez que nem todos os volumes são medidos nas mesmas unidades, é necessário conhecer todas as unidades de volume mais comuns, e como elas se relacionam.

Por exemplo, o mecânico pode saber o volume de um tanque em pés cúbicos ou polegadas cúbicas; porém quando o tanque está cheio de gasolina, ele vai querer saber quantos galões esse tanque contém.

A tabela a seguir mostra a relação entre algumas das unidades de volume mais comuns.

UNIDADES DE VOLUME	
1,728 pol^3 =	1 pé^3
27 pés^3 =	1 jarda^3
231 pol^3 =	1 gal
7,5 gals =	1 pé^3
2 pintas =	1 quarto
4 quartos =	1 galão

Volume de um Sólido Retangular

Um sólido retangular é formado por ângulos retos. Em outras palavras, é como se fosse uma caixa (ver fig. 1-16). Se o sólido possui arestas e lados iguais ele é chamado de cubo.

A fórmula de determinação do volume de um sólido retangular pode ser expressa assim:

V = C x l x h

onde; V é igual o volume; C é igual ao comprimento; L é igual à largura; e H é igual à altura.

EXEMPLO: Um bagageiro retangular mede 5 pés e 6 polegadas de comprimento, 3 pés e 4 polegadas de largura e 2 pés e 3 polegadas de altura. Quantos pés cúbicos de bagagem ele comportará?

Passo 1: Substitua os valores na fórmula.

V = C x l x h
V = 5' 6" x 3' 4" c 2' 3"

Passo 2: Resolva as contas.

$$V = 5\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{3} \times 2\frac{1}{4}$$

$$V = \frac{11}{2} \times \frac{10}{3} \times \frac{9}{4}$$

$$V = \frac{165}{4} = 41{,}25\,\text{pés}^3$$

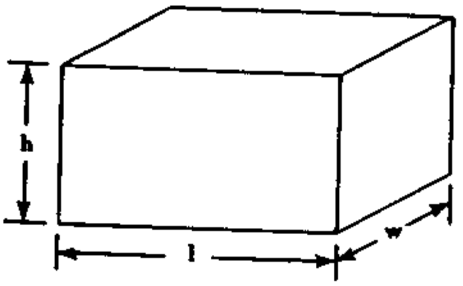


Figura 1-16 Sólido retangular.

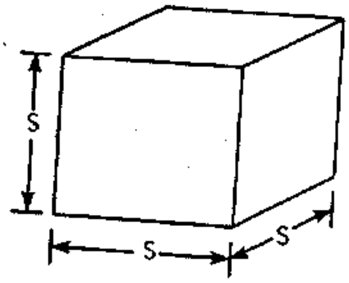


Figura 1-17 Cubo.

Se o sólido for um cubo (fig. 1-17), a fórmula passa a ser o cubo dos lados:

$$V = l^3$$

onde V é o volume, e L é a medida dos lados do cubo.

Área e Volume de um Cilindro

Um sólido com o formato de uma lata, o comprimento de um tubo ou, com forma semelhante, é chamado de cilindro. As extremidades de um cilindro são círculos idênticos, como mostra a Fig. 1-18.

Área da Superfície

A área da superfície de um cilindro, é encontrada multiplicando-se a circunferência da base pela altura. A fórmula é expressa assim:

$$A = \pi D h$$

onde A é a área; π é a constante dada, D é o diâmetro, H é a altura do cilindro.

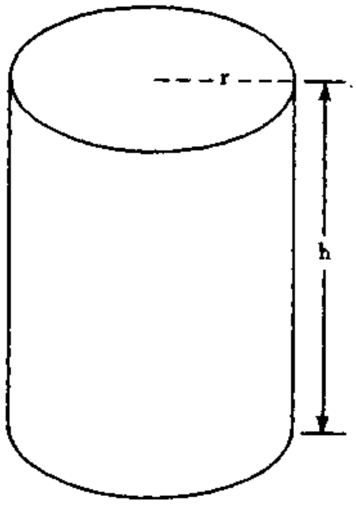


Figura 1-18 O Cilindro.

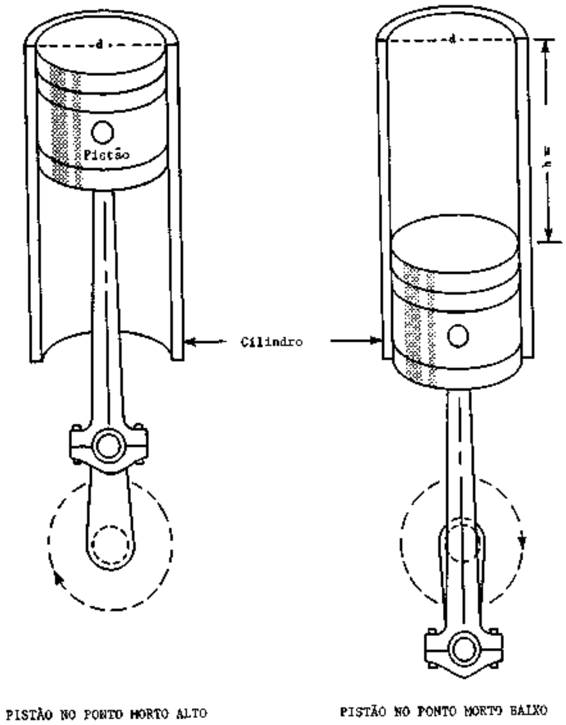


Figura 1-19 Deslocamento do Pistão no Cilindro.

EXEMPLO:

Quantos pés^2 de folha de alumínio serão necessários para fabricar um cilindro de 12 pés de comprimento e, 3 pés e 6 polegadas de diâmetro?

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \pi D h$$
$$A = 3{,}1416 \times 3'\ 6'' \times 12'$$

Passo 2: Resolva as contas.

$$A = 3{,}1416 \times 3{,}5' \times 12'$$
$$A = 132{,}95 \text{ ou } 133 \text{ pés}^2$$

Volume

O volume de um cilindro pode ser encontrado, multiplicando-se a área de seção transversal pela altura do cilindro. A fórmula pode ser expressa como:

$$V = \pi r^2 h$$

onde V é o volume; π é a constante dada; r^2 é o quadrado do raio do cilindro; h é a altura do cilindro (figura 1-19).

EXEMPLO:

O cilindro do motor de uma aeronave possui um raio interno de 5,5 polegadas, e o pistão percorre um curso de 5,5 polegadas. Qual o deslocamento do pistão desse cilindro?

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = (3{,}1416)\ (2{,}75)^2\ (5{,}5)$$

Passo 2: Resolva a equação.

$$V = 17{,}28 \times 7{,}56$$
$$V = 130{,}64 \text{ pol}^3$$

GRÁFICOS E TABELAS

Gráficos e tabelas são representações pictoriais de dados, equações e fórmulas. Através do seu uso, as relações entre duas ou mais quantidades podem ser mais claramente entendidas. Além disso, a pessoa pode ver certas condições ou relações em uma olhada; enquanto que, se dependesse de uma descrição escrita, levaria bastante tempo para obter as mesmas informações. Os gráficos têm muitas aplicações, tais como representar uma equação ou fórmula.

Podem ser usados para resolver duas equações para um valor comum.

Os gráficos e tabelas são construídos em diversos formatos. Alguns dos tipos mais comuns são: os gráficos de barras, gráficos em linha quebrada, gráficos com curvas contínuas e gráficos com círculos. Um exemplo de cada é mostrado na figura 1-20. Um dos gráficos mais úteis em trabalhos técnicos é o que tem curvas contínuas.

Interpretação ou Leitura de Gráficos e Tabelas

É mais importante, do ponto de vista do mecânico, ser capaz de ler um gráfico adequadamente ao invés de desenhar. A relação entre a potência de um certo motor, ao nível do mar e em qualquer altitude até 10.000 pés, pode ser determinada através da tabela da figura 1-21.

Para usar este tipo de tabela, simplesmente encontre o ponto no eixo horizontal que representa a altitude desejada; mova-se para cima, ao longo dessa linha, até o ponto de interseção com a curva; depois, mova-se para a esquerda, lendo a percentagem disponível no eixo vertical.

EXEMPLO:

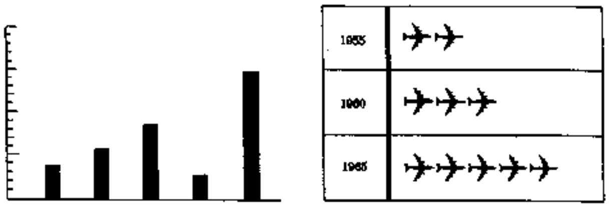
Qual a percentagem da potência ao nível do mar que está disponível à altitude de 5.000 pés?

Passo 1: Localize o ponto no eixo horizontal que representa 5.000 pés. Mova para cima até a interseção com a curva.

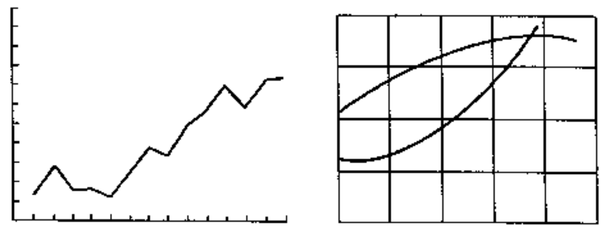
Passo 2: Coloque para a esquerda, lendo a percentagem de potência disponível a 5.000 pés. A potência disponível é 80%.

Nomogramas

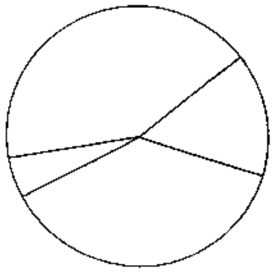
Geralmente é necessário fazer cálculos, usando a mesma fórmula; porém usando valores diferentes para as variáveis. É possível obter uma solução usando uma régua de cálculo ou preparando uma tabela. Contudo, no caso de fórmulas envolvendo muitas operações matemáticas, haverá muito trabalho.



(a) Gráfico de barras (b) Pictográfico



(c) Gráfico de linhas quebradas (d) Gráfico de linhas curvas contínuas



(e) Gráfico de círculo

Figura 1-20 Tipos de gráficos.

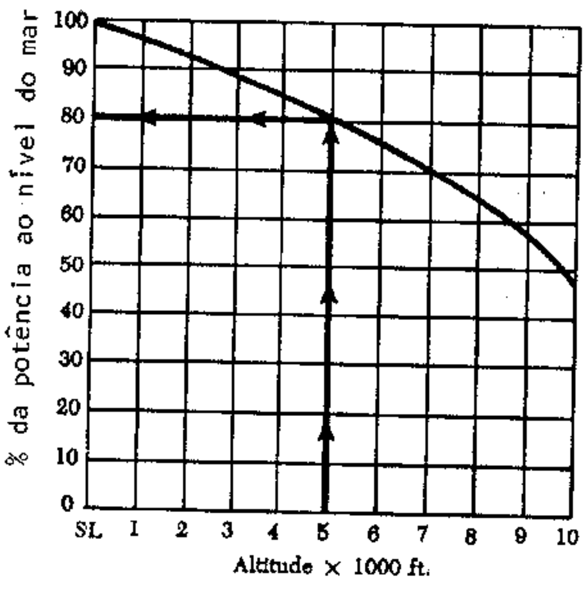


Figura 1-21 Carta de potência por altitude.

É possível evitar todo esse trabalho, usando um diagrama representativo da fórmula; na qual cada variável é representada por uma ou mais linha graduadas. A partir desse diagrama, a solução da fórmula para qualquer variável pode ser lida através de uma linha de índice. Um diagrama desse tipo é conhecido como nomograma.

A maior parte das informações requeridas para resolver problemas aeronáuticos serão apresentadas em forma de nomograma. Os manuais de instrução, das diversas aeronaves, contêm numerosos nomogramas, muitos dos quais complexos. Muitos possuirão diversas curvas no mesmo eixo de coordenadas, e cada curva aplicável a uma diferente constante da equação. No último caso, é essencial selecionar a curva adequada a cada condição.

Ainda aqui, como nos gráficos mais simples, é mais importante para o mecânico ser capaz de ler nomogramas que desenhá-los.

O exemplo a seguir é tomado de um manual de manutenção da Allison para o motor turboélice 501-D13.

Um nomograma (figura 1-22) é usado para determinar a potência requerida, quando o motor estiver operando com torque mínimo.

A OAT (temperatura do ar externo), a pressão barométrica e a rpm do motor, são três fatores que devem ser conhecidos para utilizar este nomograma em particular.

EXEMPLO:

Determine a potência calculada de um certo motor, usando o nomograma da figura 1-22. Suponhamos que a OAT seja 10º C, e que a pressão barométrica seja de 28,5 pol.hg, e que o motor esteja operando a 10.000 r.p.m.

Passo 1: Encontre os pontos de referência sobre a escala de OAT e sobre a escala de pressão barométrica, que corresponde à temperatura dada, e àa leituras de pressão. Eles são identificados como **1** e **2**, respectivamente, na carta. Com o auxílio de uma régua, conecte esses dois pontos e estabeleça o ponto **3** na linha pivô.

Passo 2: Encontre a r.p.m. do motor, identificada como **4**, na escala de r.p.m. do motor. Usando uma régua, conecte os pontos **3** e **4** e estabeleça o ponto **5** na escala de potência calculada (HP). A potência calculada é lida no ponto **5**. Neste caso o valor encontrado e 98%.

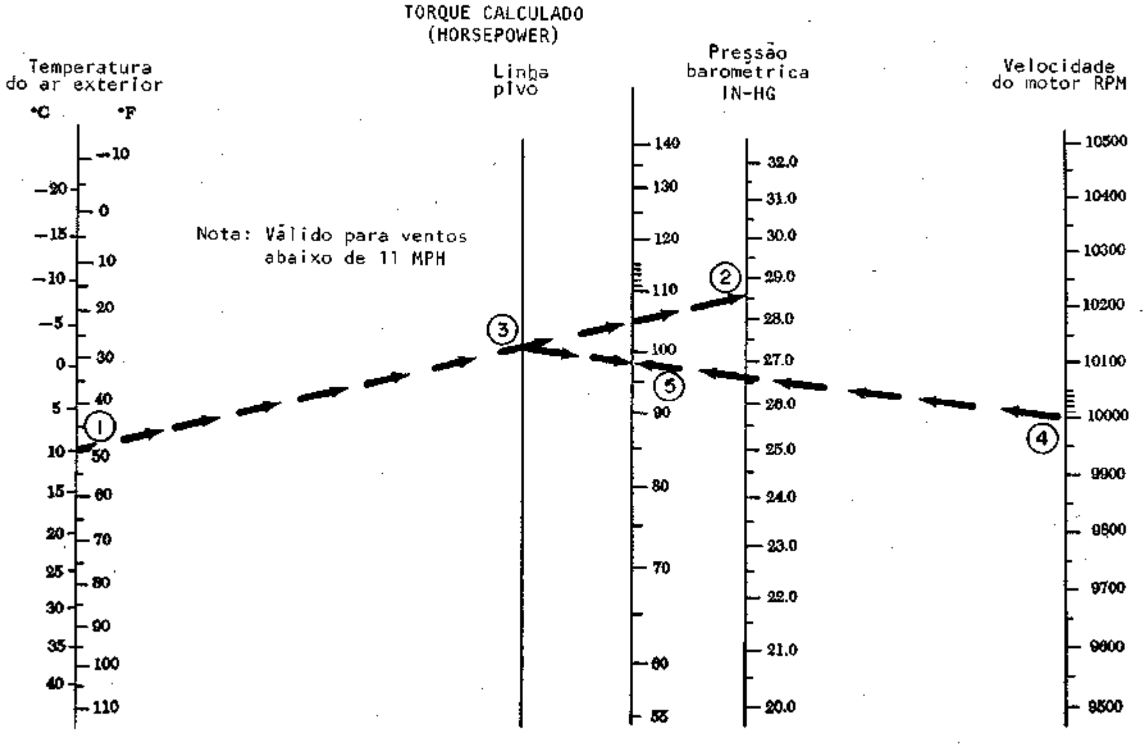


Figura 1-22 Potência requerida para torque mínimo.

SISTEMAS DE MEDIÇÃO

O nosso sistema de medidas (figura 1-23) é parte da nossa herança cultural, desde os tempo em que o Brasil era colônia de Portugal, e adquiria a maior parte dos produtos manufaturados da Inglaterra.

Esse sistema começou como uma mistura de pesos e medidas Anglo-saxônicas, Romanas e Normando-francesas. Desde os tempos medievais, comissões feitas por diversos monarcas ingleses reduziram o caos de medidas, adotando padrões específicos para algumas das unidades mais importantes.

Registros antigos, por exemplo, dão conta de que uma polegada era definida como comprimento de "três grãos de cevada, redondos e secos" quando agrupados; um "penny-peso" ou “um vinte avos" de uma onça de torre, era igual a 32 grãos de trigo do "meio da espiga".

O galão americano equivale ao galão de vinho britânico, padronizado no início do século 18 (é aproximadamente 20% menor que o galão britânico adotado em 1824 e que era usado para medir a maioria dos líquidos).

Sistema Métrico

O sistema métrico é a linguagem dominante entre as medidas adotadas hoje em dia. A maioria dos países já usava o sistema métrico, antes da Segunda Guerra Mundial.

Desde a guerra, mais e mais países, foram convertidos ou estão em processo de conversão para o sistema métrico. Somente os Estados Unidos e mais 13 países ainda não fizeram a conversão.

O Congresso tem o poder de definir os padrões de pesos e medidas. Repetidas vezes o sistema métrico tem sido proposto; porém sem quorum suficiente.

O sistema métrico foi desenvolvido por um estadista francês, Talleyrand, Bispo de Antum, usando o "metro" como padrão; sendo que o metro é uma parte da circunferência da Terra no Equador. A partir daí, o metro foi desenvolvido e aceito como padrão. Os múltiplos e submúltiplos do metro são baseados no sistema decimal.

5

COMPRIMENTO	MASSA	VOLUME	TEMPERATURA	CORRENTE ELÉTRICA	TEMPO
MÉTRICO Metro	Quilograma	Litro	Centígrado (Celsius)	Ampère	Segundo
INGLÊS					
inch (polegada)	ounce (onça)	fluid ounce (onça de fluído)	Fahrenheit	ampere	Segundo
foot (pé)	pound (libra)	teaspoon (colher de chá)			
year (ano	ton (tonelada)	cup (xícara)			
fathom (toesa=6pés)	grain (grão)	pint (pinta)			
rod (vara=5m)	dram (dracma)	quart (1/4 de galão)			
mile (milha)		gallon (galão)			
		barrell (barril)			
		peck (1/4 alq.)			
		bushel (alqueire)			

Figura 1-23 Algumas unidades comuns.

A Lógica do Metro

Nenhum outro sistema de medida atualmente usado consegue superar a simplicidade do Sistema Métrico. Ele foi deliberadamente projetado para suprir todas as necessidades de cientistas e engenheiros. O leigo só precisa conhecer e usar algumas partes simples.

O metro possui um ordenamento lógico, enquanto outros sistemas se desenvolveram desordenadamente. Existem hoje apenas seis medidas básicas no Sistema Métrico Internacional.

A unidade de comprimento é o metro; a unidade de massa é o kilograma; unidade de tempo é o segundo; a unidade de corrente elétrica é o ampère; a unidade de temperatura é o kelvin (que em uso normal é convertido em graus centígrados); a unidade de intensidade luminosa é a candela.

Todas as outras unidades de medida do Sistema Métrico Internacional são derivadas dessa seis unidades básicas.

A área é medida em metros quadrados; a velocidade em metros por segundo; a densidade em kilogramas por metro cúbico.

O newton, a unidade de força, é uma relação simples envolvendo metros, kilogramas e segundos; e, pascal, unidade de pressão, é definido como um newton por metro quadrado.

Em alguns casos, a relação entre as unidades base e as derivadas, tem que ser expressa por fórmulas mais complicadas (o que é inevitável em qualquer sistema de medidas), devido à complexibilidade inata de certas coisas que medimos.

Relações semelhantes entre massa, área, tempo e outras quantidades no sistema antigo, geralmente requerem fórmulas semelhantes, ainda mais complicadas por conterem constantes arbitrárias. Por exemplo, um cavalo de força é definido como 550 libras-pé por segundo.

A terceira vantagem, é que o sistema métrico é baseado no sistema decimal. Os múltiplos e submúltiplos estão sempre relacionados à potência de 10.

Por exemplo, um centímetro contém 10 milímetros, 100 centímetros equivalem a 1 metro; e, 1.000 metros equivalem a 1 quilômetro.

Isso simplifica muito a conversão de grandes medidas em pequenas medidas.

Para se calcular o número de metros que existem em 3,794 quilômetros multiplica-se por 1000 (mova a vírgula três casas decimais para a direita), e a resposta será 3.794,00 metros.

Por analogia, para se encontrar o número de polegadas em 3,794 milhas, é necessário multiplicar primeiro por 5.280 e depois por 12.

Além disso, os múltiplos e submúltiplos de todos as unidade do Sistema Internacional seguem uma nomenclatura padrão que consiste em adicionar um prefixo à unidade, qualquer que seja ela.

Por exemplo, quilo equivale a 1.000; um quilômetro é igual a 1000 metros; e um quilograma é igual 1.000 gramas. "Micro" é o prefixo equivalente a milionésimo; um metro equivalente a um milhão de micrometros, e um grama equivale a um milhão de microgramas (figura 1-24).

PREFIXO	SIGNIFICADO
tera (10^{12})	Um trilhão de vezes
giga (10^{9})	Um bilhão de vezes
mega (10^{6})	Um milhão de vezes
kilo (10^{3})	Mil vezes
hecto (10^{2})	Cem vezes
deca (10)	Dez vezes
deci (10^{-1})	Um décimo
centi (10^{-2})	Um centésimo
mili (10^{-3})	Um milésimo
micro (10^{-6})	Um milionésimo
nano (10^{-9})	Um bilionésimo
pico (10^{-12})	Um trilionésimo

Figura 1-24 Nomes e símbolos para prefixos métricos.

Conversão do Sistema Métrico ao Sistema Inglês

As pessoas tendem a opor-se às mudanças, geralmente por não entenderem o motivo da mudança, ou a nova ordem. A terminologia para unidades costumeiras e unidades métricas já foi discutida. Uma tabela de conversão também foi incluída. Exemplo de seu uso:

Para se converter polegadas em milímetros, multiplique o número de polegadas por 25. (Ex: 25 x 25 = 625 mm).

Para se converter milímetros em polegadas, multiplique os milímetros por 0,04. (Ex: 625 mm x 0,04 = 25 opl).

Para se converter polegadas quadradas em centímetros quadrados, multiplique por 6,5. (Ex: 100 pol^2 x 6,5 = 650 cm^2).

Para se converter centímetros quadrados em polegadas quadradas, multiplique por 0,16. (Ex: 100 x 0,16 = 16 pol^2).

A figura 1-26 é praticamente auto-explicativa. As medidas, começando em 1/64 de polegadas, foram convertidas em divisões decimais de polegada e em milímetros.

Funções dos Números

A tabela de funções dos números (figura 1-27 e 1-28), é incluída neste capítulo por conveniência, para facilitar os cômputos. A familiarização com as várias partes desta tabela ilustrarão as vantagens de se usar cálculos já feitos.

Números

A coluna dos números contém de 1 a 100. As outras colunas contêm cálculos para cada número.

Quadrado

O quadrado é o produto obtido pela multiplicação de um número por si mesmo: 1 x 1 =1; 2 x 2 = 4; 17 x 17 = 289.

A elevação ao quadrado pode ser considerada uma forma especial de cômputo de área: Área = Comprimento multiplicado pela largura, A = C x L.

Cubo

O cubo é o produto obtido pela multiplicação de um número por si mesmo três vezes. Em sua representação, o número que é multiplicado chama-se base e o que indica quantas vezes a multiplicação ocorre, expoente, que no caso deste cálculo sempre será três.

Exemplo: B^e, onde B é a base o e, expoente. Assim: $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$

$13^3 = 13 \times 13 \times 13 = 2197$

Um cálculo específico de volume pode ser considerado como uma elevação ao cubo. Exemplo: Volume = Comprimento multiplicado pela Largura e pela Altura (V = C x L x H).

Raiz Quadrada

A raiz quadrada é a operação inversa da elevação ao quadrado. A raiz quadrada de um número é aquele número que, multiplicado por si mesmo (elevado ao quadrado), resultará no número que se extraiu a raiz. Exemplificando: a raiz quadrada de 16 é 4, pois $4 \times 4 = 4^2 = 16$. Em sua representação, utiliza-se um radical, conforme a representação seguinte:

$\sqrt{16} = 4, pois\, 4^2 = 16.$

Raiz Cúbica

Por sua vez, a raiz cúbica é a operação inversa da elevação ao cubo. Então a raiz cúbica de um número será igual ao valor que elevado ao cubo resulte naquele do qual se extraiu a raiz. Como exemplo tem-se que a raiz cúbica de 27 é 3, pois $3 \times 3 \times 3 = 3^3 = 27$. Da mesma forma que a raiz quadrada, utiliza-se o radical em sua representação, porém, por se tratar de raiz cúbica, utiliza-se o índice 3 no radical, conforme a representação seguinte: $\sqrt[3]{27} = 3, pois\, 3^3 = 27.$

Circunferência de um Círculo

A circunferência é a medida linear do perímetro de um círculo.Tal medida é calculada multiplicando-se o diâmetro do círculo pela constante π, que é aproximadamente igual a 3,1416.

Exemplo: para uma circunferência de diâmetro igual a 10 cm: C = 10cm x 3,1416 = 31,416 cm.

Nota: A constante π é obtida dividindo-se a circunferência de qualquer círculo por seu respectivo diâmetro.

Área de um círculo

A área de um círculo é o número de unidades quadradas de medidas contidas na área circunscrita. Ela é calculada utilizando-se a fórmula $A = \pi \times r^2$, ou seja, multiplica-se a constante π pelo valor do raio elevado ao quadrado.Ex.: para uma circunferência de raio igual a 10cm, temos:

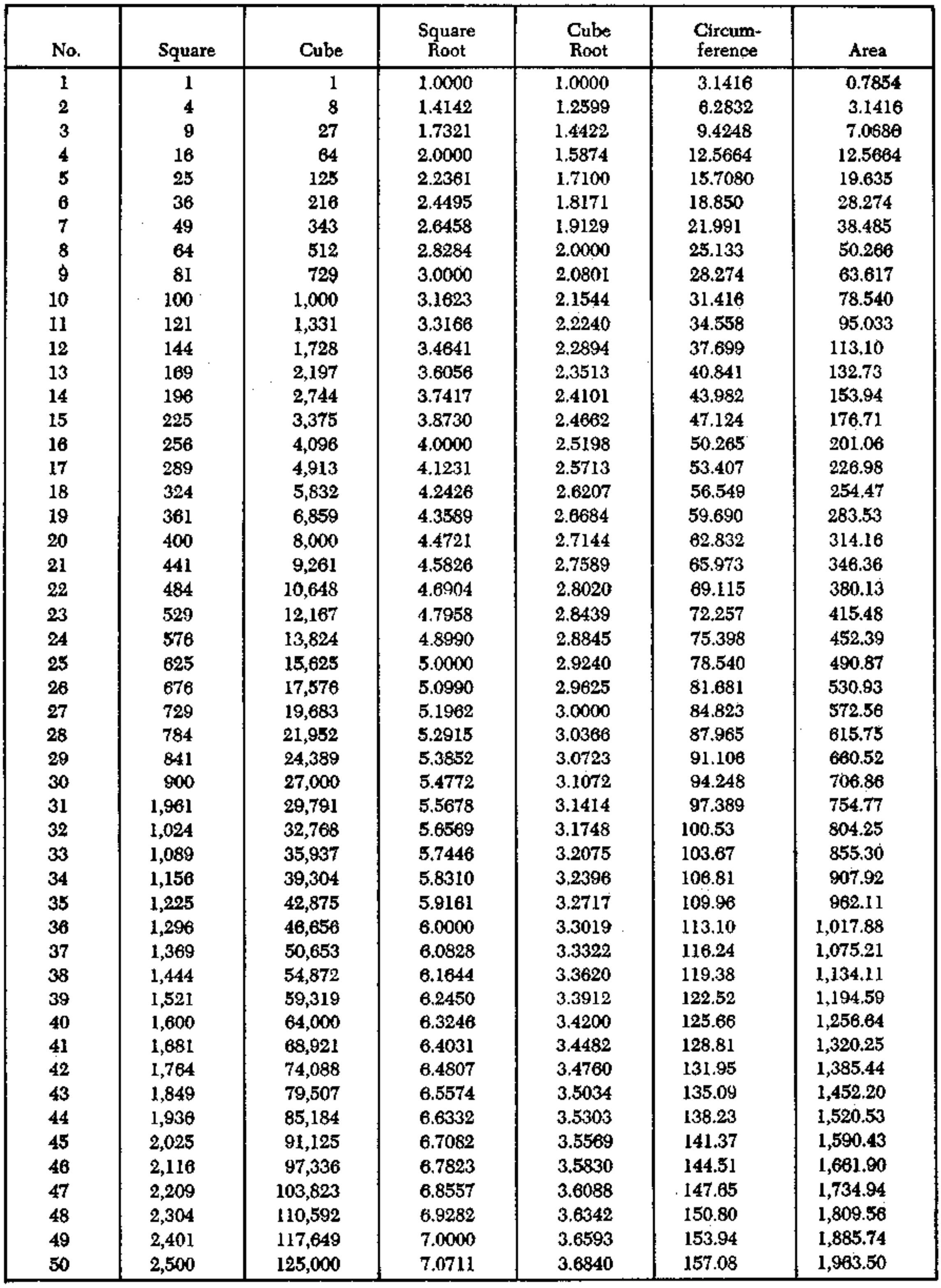
$A = 3,1416 \times (10cm)^2 = 314,16\ cm^2$

QUANDO VOCÊ CONHECE		VOCÊ PODE ACHAR:	SE MULTIPLICAR POR:
COMPRIMENTO	Polegadas	Milímetros	25
	Pés	Centímetros	30
	Jardas	Metros	0,9
	Milhas	Quilômetros	1,6
	Milímetros	Polegadas	0,04
	Centímetros	Polegadas	0,4
	Metros	Jardas	1,1
	Quilometros	Milhas	0,6
ÁREA	Pol. quadradas	centímetros quadrados	6,5
	pés quadrados	metros quadrados	0,09
	jardas quadradas	metros quadrados	0,8
	milhas quadradas	quilômetros quadrados	2,6
	acres quadrados	hectares quadrados	0,4
	cent. quadrados	polegadas quadradas	0,16
	metros quadrados	jardas quadradas	1,2
	quil. quadrados	milhas quadradas	0,4
	hectares quadrados	acres quadrados	2,5
MASSA	onças	gramas	28
	libras	quilogramas	0,45
	gramas	onças	0,035
	quilogramas	libras	2,2
VOLUME LÍQUIDO	onças	milímetros	30
	pintas	litros	0,47
	quartos de galão	litros	0,95
	galões	litros	3,8
	mililitros	onças	0,034
	litros	pintas	2,1
	litros	quartos de galão	1,06
	litros	galões	0,26
TEMPERATURA	graus fahrenheit	graus centígrados	5/9 após subtrair 32
	graus centígrados	graus fahrenheit	9/5 e adicionar 32

Figura 1-25 - Convertendo sistema inglês em métrico.

Inches		M M	Inches		M M	Inches		M M	Inches		M M
Fractions	Decimals		Fractions	Decimals		Fractions	Decimals		Fractions	Decimals	
–	.0004	.01	25/32	.781	19.844	–	2.165	55.	3-11/16	3.6875	93.663
–	.004	.10	–	.7874	20.	2-3/16	2.1875	55.563	–	3.7008	94.
–	.01	.25	51/64	.797	20.241	–	2.2047	56.	3-23/32	3.719	94.456
1/64	.0156	.397	13/16	.8125	20.638	2-7/32	2.219	56.356	–	3.7401	95.
–	.0197	.50	–	.8268	21.	–	2.244	57.	3-3/4	3.750	95.250
–	.0295	.75	53/64	.828	21.034	2-1/4	2.250	57.150	–	3.7795	96.
1/32	.03125	.794	27/32	.844	21.431	2-9/32	2.281	57.944	3-25/32	3.781	96.044
–	.0394	1.	55/64	.859	21.828	–	2.2835	58.	3-13/16	3.8125	96.838
3/64	.0469	1.191	–	.8661	22.	2-5/16	2.312	58.738	–	3.8189	97.
–	.059	1.5	7/8	.875	22.225	–	2.3228	59.	3-27/32	3.844	97.631
1/16	.062	1.588	57/64	.8906	22.622	2-11/32	2.344	59.531	–	3.8583	98.
5/64	.0781	1.984	–	.9055	23.	–	2.3622	60.	3-7/8	3.875	98.425
–	.0787	2.	29/32	.9062	23.019	2-3/8	2.375	60.325	–	3.8976	99.
3/32	.094	2.381	59/64	.922	23.416	–	2.4016	61.	3-29/32	3.9062	99.219
–	.0984	2.5	15/16	.9375	23.813	2-13/32	2.406	61.119	–	3.9370	100.
7/64	.109	2.778	–	.9449	24.	2-7/16	2.438	61.913	3-15/16	3.9375	100.013
–	.1181	3.	61/64	.953	24.209	–	2.4409	62.	3-31/32	3.969	100.806
1/8	.125	3.175	31/32	.969	24.606	2-15/16	2.469	62.706	–	3.9764	101.
–	.1378	3.5	–	.9843	25.	–	2.4803	63.	4	4.000	101.600
9/64	.141	3.572	63/64	.9844	25.003	2-1/2	2.500	63.500	4-1/16	4.062	103.188
5/32	.156	3.969	1	1.000	25.400	–	2.5197	64.	4-1/8	4.125	104.775
–	.1575	4.	–	1.0236	26.	2-17/32	2.531	64.294	–	4.1338	105.
11/64	.172	4.366	1-1/32	1.0312	26.194	–	2.559	65.	4-3/16	4.1875	106.363
–	.177	4.5	1-1/16	1.062	26.988	2-9/16	2.562	65.088	4-1/4	4.250	107.950
3/16	.1875	4.763	–	1.063	27.	2-19/32	2.594	65.881	4-5/16	4.312	109.538
–	.1969	5.	1-3/32	1.094	27.781	–	2.5984	66.	–	4.3307	110.
13/64	.203	5.159	–	1.1024	28.	2-5/8	2.625	66.675	4-3/8	4.375	111.125
–	.2165	5.5	1-1/8	1.125	28.575	–	2.638	67.	4-7/16	4.438	112.713
7/32	.219	5.556	–	1.1417	29.	2-21/32	2.656	67.469	4-1/2	4,500	114.300
15/64	.234	5.953	1-5/32	1.156	29.369	–	2.6772	68.	–	4.5275	115.
–	.2362	6.	–	1.1811	30.	2-11/16	2.6875	68.263	4-9/16	4.562	115.888
1/4	.250	6.350	1-3/16	1.1875	30.163	–	2.7165	69.	4-5/8	4.625	117.475
–	.2559	6.5	1-7/32	1.219	30.956	2-23/32	2.719	69.056	4-11/16	4.6875	119.063
17/64	.2656	6.747	–	1.2205	31.	2-3/4	2.750	69.850	–	4.7244	120.
–	.2756	7.	1-1/4	1.250	31.750	–	2.7559	70.	4-3/4	4.750	120.650
9/32	.281	7.144	–	1.2598	32.	2-25/32	2.781	70.6439	4-13/16	4.8125	122.238
–	.2953	7.5	1-9/32	1.281	32.544	–	2.7953	71.	4-7/8	4.875	123.825
19/64	.297	7.541	–	1.2992	33.	2-13/16	2.8125	71.4376	–	4.9212	125.
5/16	.312	7.938	1-5/16	1.312	33.338	–	2.8346	72.	4-15/16	4.9375	125.413
–	.315	8.	–	1.3386	34.	2-27/32	2.844	72.2314	5	5.000	127.000
21/64	.328	8.334	1-11/32	1.344	34.131	–	2.8740	73.	–	5.1181	130.
–	.335	8.5	1-3/8	1.375	34.925	2-7/8	2.875	73.025	5-1/4	5.250	133.350
11/32	.344	8.731	–	1.3779	35.	2-29/32	2.9062	73.819	5-1/2	5.500	139.700
–	.3543	9.	1-13/32	1.406	35.719	–	2.9134	74.	–	5.518	140.
23/64	.359	9.128	–	1.4173	36.	2-15/16	2.9375	74.613	5-3/4	5.750	146.050
–	.374	9.5	1-7/16	1.438	36.513	–	2.9527	75.	–	5.9055	150.
3/8	.375	9.525	–	1.4567	37.	2-31/32	2.969	75.406	6	6.000	152.400
25/64	.391	9.922	1-15/32	1.469	37.306	–	2.9921	76.	6-1/4	6.250	158.750
–	.3937	10.	–	1.4961	38.	3	3.000	76.200	–	6.2992	160.
13/32	.406	10.319	1-1/2	1.500	38.100	3-1/32	2.0312	76.994	6-1/2	6.500	165.100
–	.413	10.5	1-17/32	1.531	38.894	–	3.0315	77.	–	6.6929	170.
27/64	.422	10.716	–	1.5354	39.	3-1/16	3.062	77.788	6-3/4	6.750	171.450
–	.4331	11.	1-9/16	1.562	39.688	–	3.0709	78.	7	7.000	177.800
7/16	.438	11.113	–	1.5748	40.	3-3/32	3.094	78.581	–	7.0866	180.
29/64	.453	11.509	1-19/32	1.594	40.481	–	3.1102	79.	–	7.4803	190
15/32	.469	11.906	–	1.6142	41.	3-1/8	3.125	79.375	7-1/2	7.500	190.500
–	.4724	12.	1-5/8	1.625	41.275	–	3.1496	80.	–	7.8740	200.
31/64	.484	12.303	–	1.6535	42.	3-5/32	3.156	80.169	8	8.000	203.200
–	.492	12.5	1-21/32	1.6562	42.069	3-3/16	3.1875	80.963	–	8.2677	210.
1/2	.500	12.700	1-11/16	1.6875	42.863	–	3.1890	81.	8-1/2	8.500	215.900
–	.5118	13.	–	1.6929	43.	3-7/32	3.219	81.756	–	8.6614	220.
33/64	.5156	13.097	1-23/32	1.719	43.656	–	3.2283	82.	9	9.000	228.600
17/32	.531	13.494	–	1.7323	44.	3-1/4	3.250	82.550	–	9.0551	230.
35/64	.547	13.891	1-3/4	1.750	44.450	–	3.2677	83.	–	9.4488	240.
–	.5512	14.	–	1.7717	45.	3-9/32	3.281	83.344	9-1/2	9.500	241.300
9/16	.563	14.288	1-25/32	1.781	45.244		3.3071	84.	–	9.8425	250.
–	.571	14.5	–	1.8110	46.	3-5/16	3.312	84.1377	10	10.000	254.001
37/64	.578	14.684	1-13/16	1.8125	46.038	3-11/32	3.344	84.9314		10.2362	260.
–	.5906	15.	1-27/32	1.844	46.831	–	3.3464	85.	–	10.6299	270.
19/32	.594	15.081	–	1.8504	47.	3-3/8	3.375	85.725	11	11.000	279.401
39/64	.609	15.478	1-7/8	1.875	47.625	–	3.3858	86.	–	11.0236	280.
5/8	.625	15.875	–	1.8898	48.	3-13/32	3.406	86.519	–	11.4173	290.
–	.6299	16.	1-29/32	1.9062	48.419	–	3.4252	87.	–	11.8110	300.
41/64	.6406	16.272	–	1.9291	49.	3-7/16	3.438	87.313	12	12.000	304.801
–	.6496	16.5	1-15/16	1.9375	49.213	–	3.4646	88.	13	13.000	330.201
21/32	.656	16.669	–	1.9685	50.	3-15/32	3.469	88.106	–	13.7795	350.
–	.6693	17.	1-31/32	1.969	50.006	3-1/2	3.500	88.900	14	14.000	355.601
43/64	.672	17.066	2	2.000	50.800	–	3.5039	89.	15	15.000	381.001
11/16	.6875	17.463	–	2.0079	51.	3-17/32	3.531	89.694	–	15.7480	400.
45/64	.703	17.859	2-1/32	2.03125	51.594	–	3.5433	90.	16	16.000	406.401
–	.7087	18.	–	2.0472	52.	3-9/16	3.562	90.4877	17	17.000	431.801
23/32	.719	18.256	2-1/16	2.062	52.388	–	3.5827	91.	–	17.7165	450.
–	.7283	18.5	–	2.0866	53.	3-19/32	3.594	91.281	18	18.000	457.201
47/64	.734	18.653	2-3/32	2.094	53.181	–	3.622	92.	19	19.000	482.601
–	.7480	19.	2-1/8	2.125	53.975	3-5/8	3.625	92.075	–	19.6350	500.
3/4	.750	19.050	–	2.126	54.	3-21/32	3.656	92.869	20	20.000	508.001
49/64	.7656	19.447	2-5/32	2.156	54.769	–	3.6614	93.			

Figura 1-26 Frações, decimais e milímetros.



No.	Square	Cube	Square Root	Cube Root	Circum- ference	Area
1	1	1	1.0000	1.0000	3.1416	0.7854
2	4	8	1.4142	1.2599	6.2832	3.1416
3	9	27	1.7321	1.4422	9.4248	7.0686
4	16	64	2.0000	1.5874	12.5664	12.5664
5	25	125	2.2361	1.7100	15.7080	19.635
6	36	216	2.4495	1.8171	18.850	28.274
7	49	343	2.6458	1.9129	21.991	38.485
8	64	512	2.8284	2.0000	25.133	50.266
9	81	729	3.0000	2.0801	28.274	63.617
10	100	1,000	3.1623	2.1544	31.416	78.540
11	121	1,331	3.3166	2.2240	34.558	95.033
12	144	1,728	3.4641	2.2894	37.699	113.10
13	169	2,197	3.6056	2.3513	40.841	132.73
14	196	2,744	3.7417	2.4101	43.982	153.94
15	225	3,375	3.8730	2.4662	47.124	176.71
16	256	4,096	4.0000	2.5198	50.265	201.06
17	289	4,913	4.1231	2.5713	53.407	226.98
18	324	5,832	4.2426	2.6207	56.549	254.47
19	361	6,859	4.3589	2.6684	59.690	283.53
20	400	8,000	4.4721	2.7144	62.832	314.16
21	441	9,261	4.5826	2.7589	65.973	346.36
22	484	10,648	4.6904	2.8020	69.115	380.13
23	529	12,167	4.7958	2.8439	72.257	415.48
24	576	13,824	4.8990	2.8845	75.398	452.39
25	625	15,625	5.0000	2.9240	78.540	490.87
26	676	17,576	5.0990	2.9625	81.681	530.93
27	729	19,683	5.1962	3.0000	84.823	572.56
28	784	21,952	5.2915	3.0366	87.965	615.75
29	841	24,389	5.3852	3.0723	91.106	660.52
30	900	27,000	5.4772	3.1072	94.248	706.86
31	1,961	29,791	5.5678	3.1414	97.389	754.77
32	1,024	32,768	5.6569	3.1748	100.53	804.25
33	1,089	35,937	5.7446	3.2075	103.67	855.30
34	1,156	39,304	5.8310	3.2396	106.81	907.92
35	1,225	42,875	5.9161	3.2717	109.96	962.11
36	1,296	46,656	6.0000	3.3019	113.10	1,017.88
37	1,369	50,653	6.0828	3.3322	116.24	1,075.21
38	1,444	54,872	6.1644	3.3620	119.38	1,134.11
39	1,521	59,319	6.2450	3.3912	122.52	1,194.59
40	1,600	64,000	6.3246	3.4200	125.66	1,256.64
41	1,681	68,921	6.4031	3.4482	128.81	1,320.25
42	1,764	74,088	6.4807	3.4760	131.95	1,385.44
43	1,849	79,507	6.5574	3.5034	135.09	1,452.20
44	1,936	85,184	6.6332	3.5303	138.23	1,520.53
45	2,025	91,125	6.7082	3.5569	141.37	1,590.43
46	2,116	97,336	6.7823	3.5830	144.51	1,661.90
47	2,209	103,823	6.8557	3.6088	147.65	1,734.94
48	2,304	110,592	6.9282	3.6342	150.80	1,809.56
49	2,401	117,649	7.0000	3.6593	153.94	1,885.74
50	2,500	125,000	7.0711	3.6840	157.08	1,963.50

Figura 1-27 Funções dos Números.

No.	Square	Cube	Square Root	Cube Root	Circum-ference	Area
51	2,601	132,651	7.1414	3.7084	160.22	2,042.82
52	2,704	140,608	7.2111	3.7325	163.36	2,123.72
53	2,809	148,877	7.2801	3.7563	166.50	2,206.18
54	2,916	157,464	7.3485	3.7798	169.65	2,290.22
55	3,025	166,375	7.4162	3.8030	172.79	2,375.83
56	3,136	175,616	7.4833	3.8259	175.93	2,463.01
57	3,249	185,193	7.5498	3.8485	179.07	2,551.76
58	3,364	195,112	7.6158	3.8709	182.21	2,642.08
59	3,481	205,379	7.6811	3.8930	185.35	2,733.97
60	3,600	216,000	7.7460	3.9149	188.50	2,827.43
61	3,721	226,981	7.8102	3.9365	191.64	2,922.47
62	3,844	238,328	7.8740	3.9579	194.78	3,019.07
63	3,969	250,047	7.9373	3.9791	197.92	3,117.25
64	4,096	262,144	8.0000	4.0000	201.06	3,126.99
65	4,225	274,625	8.0623	4.0207	204.20	3,381.31
66	4,356	287,496	8.1240	4.0412	207.34	3,421.19
67	4,489	300,763	8.1854	4.0615	210.49	3,525.65
68	4,624	314,432	8.2462	4.0817	213.63	3,631.68
69	4,761	328,509	8.3066	4.1016	216.77	3,739.28
70	4,900	343,000	8.3666	4.1213	219.91	3,848.45
71	5,041	357,911	8.4261	4.1408	233.05	3,959.19
72	5,184	373,248	8.4853	4.1602	226.19	4,071.50
73	5,329	389,017	8.5440	4.1793	229.34	4,185.39
74	5,476	405,224	8.6023	4.1983	232.48	4,300.84
75	5,625	421,875	8.6603	4.2172	235.62	4,417.86
76	5,776	438,976	8.7178	4.2358	238.76	4,536.46
77	5,929	456,533	8.7750	4.2543	241.90	4,656.63
78	6,084	474,552	8.8318	4.2727	245.05	4,778.36
79	6,214	493,039	8.8882	4.2908	248.19	4,901.67
80	6,400	512,000	8.9443	4.3089	251.33	5,026.55
81	6,561	531,441	9.0000	4.3267	254.47	5,153.00
82	6,724	551,368	9.0554	4.3445	257.61	5,281.02
83	6,889	571,787	9.1104	4.3621	260.75	5,410.61
84	7,056	592,704	9.1652	4.3795	263.89	5,541.77
85	7,225	614,125	9.2195	4.3968	267.04	5,674.50
86	7,396	636,056	9.2376	4.4140	270.18	5,808.80
87	7,569	638,503	9.3274	4.4310	273.32	5,944.68
88	7,744	681,472	9.3808	4.4480	276.46	6,082.12
89	7,921	704,969	9.4340	4.4647	279.60	6,221.14
90	8,100	729,000	9.4868	4.4814	282.74	6,361.73
91	8,281	753,571	9.5394	4.4979	285.88	6,503.88
92	8,464	778,688	9.5917	4.5144	289.03	6,647.61
93	8,649	804,357	9.6437	4.5307	292.17	6,792.91
94	8,836	830,584	9.6954	4.5468	295.31	6,939.78
95	9,025	857,375	9.7468	4.5629	298.45	7,088.22
96	9,216	884,736	9.7980	4.5789	301.59	7,283.23
97	9,409	912,673	9.8489	4.5947	304.73	7,389.81
98	9,604	941,192	9.8995	4.6104	307.88	7,542.96
99	9,801	970,299	9.9499	4.6261	311.02	7,697.69
100	10,000	1,000,000	10.0000	4.6416	314.16	7,853.98

Figura 1-28 Funções dos Números (continuação).

CAPÍTULO 2

DESENHO TÉCNICO DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

A troca de idéias é essencial para todos, não importando sua vocação ou posição. Normalmente, essa troca é executada através da palavra falada ou escrita, mas sob algumas condições o uso dela sozinha é impraticável. A indústria descobriu que ela não poderia depender inteiramente das palavras escritas ou faladas somente para troca de idéias, pois desentendimentos e interpretações errôneas aparecem freqüentemente.

Uma descrição escrita de um objeto pode ser mudada em sentido apenas pela colocação de uma vírgula em lugar errado; o significado de uma descrição oral pode ser completamente mudado pelo uso de uma palavra errada. Para evitar esses possíveis erros, a indústria usa desenhos para descrever objetos. Por esta razão, desenho é chamado de "linguagem do desenhista".

Desenho, como nós usamos, é um método de transposição de idéias que dizem respeito a construção ou montagem de objetos. Isto é feito com a ajuda de linhas, notas, abreviações e símbolos. É muito importante para o mecânico de aviação, que tenha que fazer ou montar o objeto, entender o significado das diferentes linhas, notas, abreviações e símbolos, que são usados em desenhos. (Veja especialmente "O significado das linhas" neste capítulo).

PLANTAS

As plantas são o elo entre os engenheiros, que projetam o avião; e entre os homens, que o constrói, mantém e consertam-no. Uma planta pode ser a cópia de um desenho de trabalho para uma peça de um avião, ou para um grupo de peças; ou para um modelo de um sistema, ou grupo de sistemas.

Elas são feitas pela colocação de traços de desenhos sobre uma folha de papel quimicamente tratado, expondo-o a uma intensa luz por um curto período de tempo.

Quando o papel exposto é revelado, ele fica azul onde a luz penetrou.

Como as linhas do desenho bloqueiam a luz, elas se mostram como linhas brancas sobre o fundo azul.

Outros tipos de papel sensibilizado têm sido desenvolvidos; a planta pode ter um fundo branco com linhas coloridas ou fundo colorido com linhas brancas.

Uma planta mostra os vários passos necessários em construir qualquer coisa; desde um simples componente, até um completo avião.

DESENHOS DE TRABALHO

Desenhos de trabalho têm que dar informações como: o tamanho do objeto e todas as suas partes; seu formato e todas as suas partes; especificações, como: o material a ser usado, como ele deve ser acabado, como suas partes devem ser montadas; e qualquer outra informação essencial a manufatura e montagem do objeto em particular.

Desenhos de trabalho podem ser divididos em três partes:

(1) Desenhos de detalhes
(2) Desenhos de conjuntos
(3) Desenhos de montagens

Desenhos de detalhes

Um desenho de detalhe é a descrição de uma peça simples, dada de forma a descrever através de linhas, notas, símbolos, especificações como tamanho, formato, material e método de manufatura, que devem ser usados para fazer a peça. Desenhos detalhados são, normalmente, simples; e, quando peças simples são pequenas, muitos desenhos detalhados podem estar numa mesma folha ou planta.

Desenhos de conjuntos

Um desenho de conjunto é uma descrição de um objeto, feito de duas ou mais partes (veja o desenho de montagem no centro da figura 2-1). Ele descreve o objeto, dando em forma geral, o tamanho e formato.

A sua principal finalidade é mostrar o relacionamento das várias partes. Um desenho de conjunto é, normalmente, mais complexo que um desenho detalhado e, é freqüentemente, acompanhado de desenhos detalhados de várias partes.

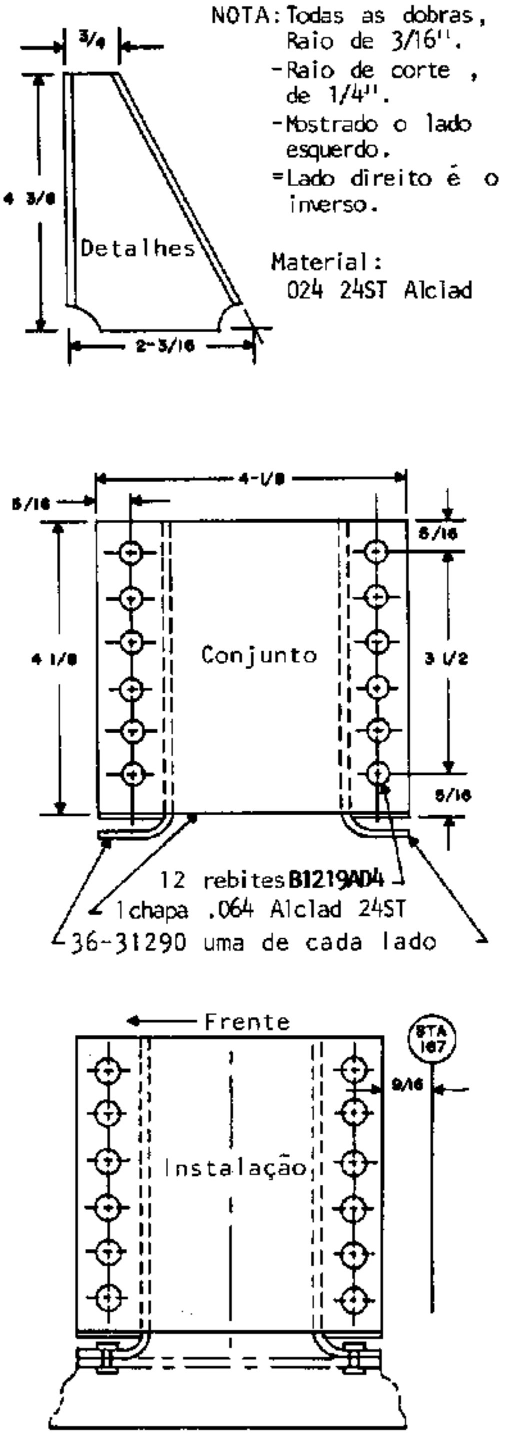

NOTA: Todas as dobras, Raio de 3/16''.
-Raio de corte , de 1/4''.
-Mostrado o lado esquerdo.
=Lado direito é o inverso.
Material: 024 24ST Alclad
3/4
4 3/8
Detalhes
2-3/16
4-1/8
5/16
5/16
4 1/8
Conjunto
3 1/2
5/16
12 rebites B1219AD4
1chapa .064 Alclad 24ST
36-31290 uma de cada lado
Frente
STA 167
9/16
Instalação

Figura 2-1 Desenho de Montagem.

Desenhos de montagem

Um desenho de montagem é aquele que inclui todas as informações necessárias para a montagem das peças em sua posição final na aeronave. Ele mostra as medidas necessárias para a localização de peças específicas, com relação às outras peças e dimensões de referências, que são de ajuda em posterior trabalho na oficina. (Veja desenho de montagem na da figura 2-1.)

CUIDADOS E USO DE DESENHOS

Desenhos são caros e valiosos; em consequência, eles devem ser manuseados com cuidado. Abra os desenhos lenta e cuidadosamente para evitar que o papel se rasgue. Quando o desenho estiver aberto, alise as linhas das dobras, ao invés de dobrá-las para trás.

Para proteger os desenhos, nunca os espalhe no chão ou os coloque em superfícies cobertas de ferramentas ou outros objetos, que possam fazer buracos no papel. As mãos devem estar livres de óleo, graxa, ou outras substâncias que possam manchar ou borrar a planta.

Nunca faça notas ou marcas em uma planta, uma vez que elas possam confundir outras pessoas e conduzir ao trabalho incorreto. Somente pessoas autorizadas têm permissão para fazer notas ou mudanças de plantas, tendo que assinar e datar qualquer mudança que fizerem.

Quando terminar com um desenho, dobre e devolva-o ao devido lugar. As plantas são normalmente dobradas num tamanho certo para arquivamento; o cuidado deverá ser tomado para que a dobragem original seja sempre usada.

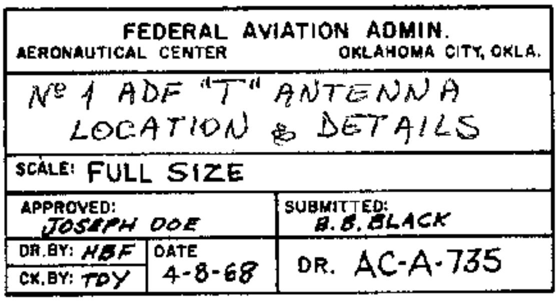
BLOCO DE TÍTULOS

Toda planta tem que ter alguns meios de identificação. Isto é provido por um bloco de título (veja figura 2-2). O bloco de título consiste do número do desenho e de algumas outras informações concernentes a ele, e ao objeto que o representa.

Esta informação é agrupada em um local proeminente na planta, normalmente no canto inferior direito.

Algumas vezes o bloco de título é na forma de uma linha que se estende por quase toda a base da folha.

Embora blocos de títulos não sigam uma forma padrão, no que diz respeito ao formato, todos irão apresentar, essencialmente, a seguinte informação:



FEDERAL AVIATION ADMIN.
AERONAUTICAL CENTER OKLAHOMA CITY, OKLA.
Nº 1 ADF "T" ANTENNA LOCATION & DETAILS
SCALE: FULL SIZE
APPROVED: JOSEPH DOE
SUBMITTED: B.B. BLACK
DR.BY: HBF
CK.BY: TDY
DATE 4-8-68
DR. AC-A-735

Figura 2-2. Bloco de Títulos.

1. Um número do desenho, para identificar a planta para fins de arquivo, e para evitar confusão dela com outra planta;
2. O nome da peça ou conjunto;
3. A escala;
4. A data;
5. O nome da firma; e
6. O nome do desenhista, do revisor e da pessoa que aprovou o desenho.

Números de desenhos ou de plantas

Todas as plantas são identificadas por um número, que aparece no canto inferior direito do bloco de título. Ele pode também aparecer noutros lugares; tais como o canto superior direito ou no verso da planta. Em ambas as extremidades o número aparecerá quando a planta estiver dobrada ou enrolada.

A finalidade da numeração é a rápida identificação da planta. Caso uma planta tenha mais de uma folha, e todas tenham o mesmo número, esta informação é incluída no bloco de números indicando o número da página e o número total de páginas.

Referências e extensões

Números de referências que aparecem no campo título, mostra a um indivíduo o número de outras plantas.Quando mais de um detalhe é mostrado em um desenho; extensões são usadas. Ambas as partes devem ter o mesmo número do desenho mais um número individual, como por exemplo 40267-1 e 40267-2.

Além de aparecer no campo título, números de extensão podem aparecer na face do desenho, perto das peças que o identificam.

Extensões também são utilizadas para identificar peças direitas e esquerdas.

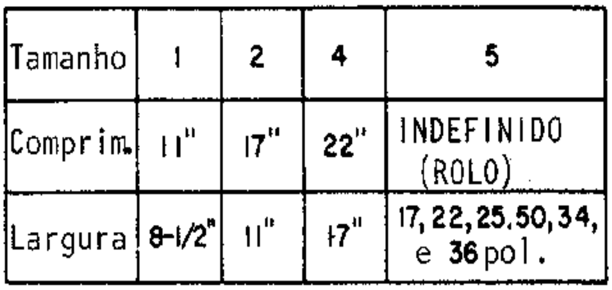
Em uma aeronave, muitas peças do lado esquerdo se parecem com peças do lado direito, porém invertidas. As peças do lado esquerdo são sempre mostradas no desenho. As peças direitas são identificadas no campo título. Acima do campo título se encontrará uma anotação; tal como: 470204-1 LH, é o mostrado; 470204-2RH é o oposto. Estas partes têm o mesmo número, mas a peça referida é classificada pelo número de referência.

Algumas plantas têm números ímpares para peças esquerdas, e números pares para peças direitas.

Sistema de numeração universal

O sistema de numeração universal, dá os meios de identificação de desenhos do tamanho padrão. Nesse sistema cada desenho consiste de 6 ou 7 dígitos. O primeiro é sempre 1, 2, 4 ou 5 (figura 2-3), e indica o tamanho do desenho. Os demais dígitos identificam o desenho. Muitas firmas têm modificado este sistema básico para acomodá-lo às suas necessidades particulares.

As letras podem ser usadas em lugar dos números. A letra ou número representando o tamanho do desenho padrão pode prefixar o número, separando-o por um traço.Outros sistemas de numeração proporcionam um campo separado, antes do número do desenho, para identificar o tamanho do mesmo. Em outras modificações deste sistema, o PN do conjunto descrito é usado como o número do desenho.



Tamanho	1	2	4	5
Comprim.	11"	17"	22"	INDEFINIDO (ROLO)
Largura	8-1/2"	11"	17"	17, 22, 25.50, 34, e 36 pol.

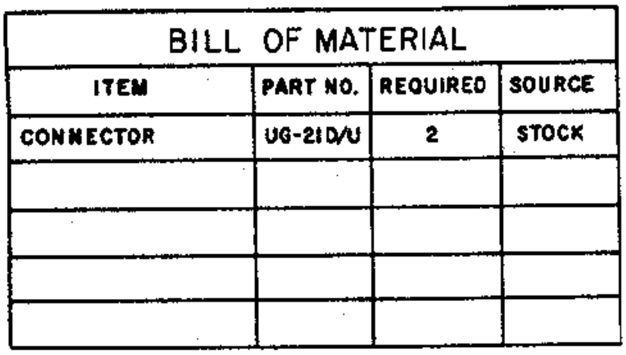
Figura 2-3 Padrão de medidas de plantas.

LISTA DE MATERIAL

Uma lista de materiais e peças necessárias à fabricação ou montagem de um componente ou sistema, é, freqüentemente incluída no desenho. A lista, normalmente será em colunas em que são listados os PNs, nome da peça e material do qual deve ser construída, quantidade de material necessário e a origem da peça ou material.

Em desenhos, que não dão lista de material, a informação pode ser observada diretamente no desenho.

Em desenhos de montagem, cada item é identificado por um número em um círculo, ou em um quadrado. Uma seta ligando o número ao item, ajuda a localização na lista de materiais.



BILL OF MATERIAL

ITEM	PART NO.	REQUIRED	SOURCE
CONNECTOR	UG-21D/U	2	STOCK

Figura 2-4 Lista de material.

OUTRAS INFORMAÇÕES

Bloco de revisão

Revisões em um desenho são necessárias para mudança de dimensões, modelo ou materiais.

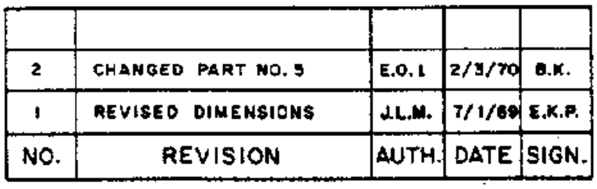
As mudanças são normalmente listadas em colunas adjacentes ao bloco de título, ou em um canto do desenho.

Todas as mudanças aprovadas para um desenho devem ser cuidadosamente anotadas, em todas as plantas existentes daquele desenho.

Quando o desenho contém correções, as mudanças são classificadas por letras ou números; e listadas, após estes símbolos, em um bloco de revisão (figura 2-5).

O bloco de revisão, contém o símbolo de identificação (letra ou número), a data, a natureza da revisão; quem autorizou a mudança, e o nome do desenhista, que efetuou a mudança.

Para diferenciar o desenho corrigido de sua versão original, muitas firmas estão incluindo, como parte do bloco de título; um espaço para colocar o símbolo apropriado, para esclarecer que o desenho foi mudado ou revisado.



2	CHANGED PART NO. 5	E.O. 1	2/3/70	B.K.
1	REVISED DIMENSIONS	J.L.M.	7/1/69	E.K.P.
NO.	REVISION	AUTH.	DATE	SIGN.

Figura 2-5 Bloco de revisão.

Notas

Notas são acrescentadas aos desenhos por várias razões. Algumas dessas notas referem-se aos métodos de montagem ou de construção. Outras dão alternativas, para que o desenho possa ser usado em diferentes estilos do mesmo objeto. Ainda outras, enumeram as modificações que estão disponíveis.

As notas podem ser encontradas ao lado do item, ao qual elas se referem. Se as notas forem muito longas, podem ser colocadas em outros lugares do desenho e identificadas por letras ou números. As notas são usadas, quando a informação não pode ser transmitida, na maneira convencional, ou quando é desejável evitar o enchimento do desenho. A figura 2-1 ilustra um método de apresentação de notas.

Quando a nota se refere a uma peça específica, traça-se uma seta da nota até a peça. Se a nota se aplica a mais de uma peça, ela deve ser explícita, a fim de que não deixe dúvidas quanto as peças nas quais ela se aplica. Quando existirem muitas notas, normalmente elas deverão ser mantidas juntas e numeradas consecutivamente.

Zoneamento

O zoneamento em desenho, é semelhante aos números e letras impressos nas bordas de um mapa. Eles estão ali, para auxiliar a localização de um determinado ponto. Para encontrar um ponto, mentalmente trace uma linha horizontal e uma vertical, partindo dos números e letras especificados. O ponto de intercessão é a área procurada.

Use o mesmo método para localizar partes, seções e vistas em desenhos grandes, particularmente desenhos de conjuntos. Peças numeradas no bloco de títulos podem ser localizadas nos desenhos, procurando-se os números nos quadrados ao longo da borda inferior. Os números de zoneamento são lidos da direita para a esquerda.

Números de estação

Um sistema de numeração é usado em grandes conjuntos da aeronave para localizar estações como as cavernas da fuselagem. Caverna da estação da fuselagem 185 (Fuselage Frame - Sta 185) indica que a caverna está a 185 polegadas do ponto de referência da aeronave. A medição é normalmente tirada a partir do nariz ou estação zero; mas em alguns casos, pode ser tirada da parede de fogo, ou algum outro ponto escolhido pelo fabricante.

O mesmo sistema de numeração de estação é usado para asas e estabilizadores. A medida é tirada da linha de centro ou estação zero da aeronave.

Marcas de acabamento

Marcas de acabamento são usadas para indicar as superfícies que devem ter um acabamento por máquina. As superfícies acabadas têm uma aparência melhor e permitem um encaixe mais justo com outras peças. Durante o processo de acabamento, os limites e tolerâncias requeridos devem ser observados. Não confundir "acabamento por máquina" com aqueles "por pintura, esmalte, cromagem e coberturas semelhantes".

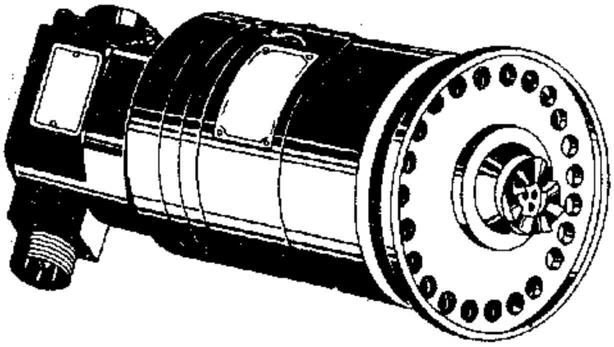


Figura 2-6 Desenho pictorial.

Tolerâncias

Quando uma dimensão dada em uma planta mostra uma variação permitida, o sinal mais (+), indica o máximo; e o sinal menos (-), indica a mínima variação permitida. A soma dos sinais indica a tolerância.

Por exemplo, usando .225 + .0025 - .0005; os sinais mais (+) e menos (-) indicam que a peça será aceitável se não for .0025 maior do que a dimensão dada .225, ou não mais do que .0005 menor do que a dimensão .225. A tolerância neste exemplo, é de .0030 (.0025 max + .005 min).

Se as tolerâncias a mais ou a menos forem iguais, você as encontrará assim: .224 ± .0025. A tolerância seria então .0050. A tolerância pode ser indicada de forma fracionária ou decimal. Quando forem necessárias dimensões muito precisas, serão usados decimais. Tolerâncias em fração são suficientes quando não são necessárias dimensões precisas. Tolerâncias padrão de -.010 ou -1/32 podem ser dadas no bloco título de muitos desenhos, para aplicação nos mesmos.

MÉTODOS DE ILUSTRAÇÃO

Inúmeros métodos são usados para ilustrar objetos graficamente. Os mais comuns são desenhos, projeções ortográficas e diagramas.

Desenhos pictoriais

Um desenho pictorial (fig 2-6), é similar a uma fotografia. Mostra o objeto como ele aparece aos olhos, mas não é satisfatório para mostrar formas e formatos complexos. Desenhos pictoriais são úteis para mostrar a aparência de um objeto, e são muito usados com projeções ortográficas. Desenhos pictoriais são usados em manutenção, revisões gerais e número de partes (P/N).

Desenhos de projeção ortográfica

Para mostrar o exato tamanho e forma de todas as peças de objetos complexos, são necessárias mais de uma vista. Este é o sistema usado na projeção ortográfica.

Em projeções ortográficas, existem seis vistas possíveis de um objeto, porque todos os objetos têm seis lados (frente, cima, parte de baixo, traseira, lado direito e lado esquerdo).

A figura 2-7 (A) mostra um objeto colocado em uma caixa transparente.

As projeções, nos lados da caixa, são como se o objeto fosse visto diretamente através de cada lado.

Se as linhas do objeto forem desenhadas em cada face, e a caixa for aberta como mostrado em (B); quando completamente aberta como em (C); o resultado será uma projeção ortográfica de seis lados.

Raramente se faz necessário mostrar os seis lados para descrever um objeto; por isso, apenas aquelas vistas necessárias para ilustrar as características requeridas do objeto são desenhadas.

Os desenhos mais comuns são os de uma face, duas faces e de três faces.

Com qualquer número de faces, o padrão é o mostrado na Fig 2-7, com a vista frontal sendo a principal.

Se a face direita é mostrada, estará à direita da frontal. Se o lado esquerdo é mostrado, estará à esquerda.

As faces de cima e de baixo, se incluídas, serão mostradas nas respectivas posições em relação à posição frontal.

Desenhos de uma face são comumente usados para objetos de largura uniforme, como gaxetas, espaçadores e placas. Uma nota de dimensão dá a espessura como mostrado na figura 2-8.

Desenhos de uma face são, também, comuns para peças cilíndricas, esféricas ou quadradas, se todas as dimensões necessárias são bem representadas em uma face.

Quando o espaço é limitado, e for necessário mostrar duas faces, objetos simétricos são freqüentemente representados por meias faces, como ilustrado na fig 2-9.

Desenhos de aeronaves raramente mostram mais do que duas vistas principais, ou completas de um objeto.

Ao contrário, geralmente haverá uma vista completa e uma ou mais vistas de detalhes ou seccionadas.

Vista de detalhes

Uma vista de detalhe mostra apenas parte de um objeto, porém bem detalhado e em escala maior do que a da vista principal.

A parte mostrada do detalhe é normalmente destacada com uma linha escura na vista principal. A figura 2-10 é um exemplo do uso de vista de detalhes.

A vista principal mostra o controle completo, enquanto o detalhe é um desenho aumentado de uma parte do controle.

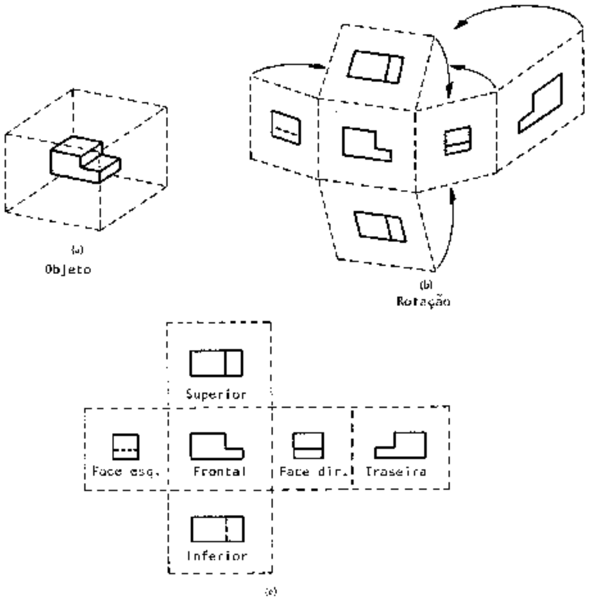


Figura 2-7 Projeção ortográfica.

Vista Seccionada

Uma secção ou vista seccionada é obtida cortando parte do objeto para mostrar a forma e a construção no plano cortado. O corte das partes são mostrados pelo uso de linhas de secção (sombreado).

Vistas seccionadas são usadas quando a construção interior, ou componentes internos de um objeto não podem ser mostrados claramente por vistas exteriores.

Por exemplo, na fig 2-11, uma vista seccionada de um cabo coaxial mostra a construção interna do conector. Isto é conhecido como secção cheia.

Outros tipos de secções são descritas nos parágrafos seguintes.

Meias Secções

Na meia secção, o plano de corte é feito somente seccionando o objeto pelo meio, - uma metade do objeto fica como vista exterior.

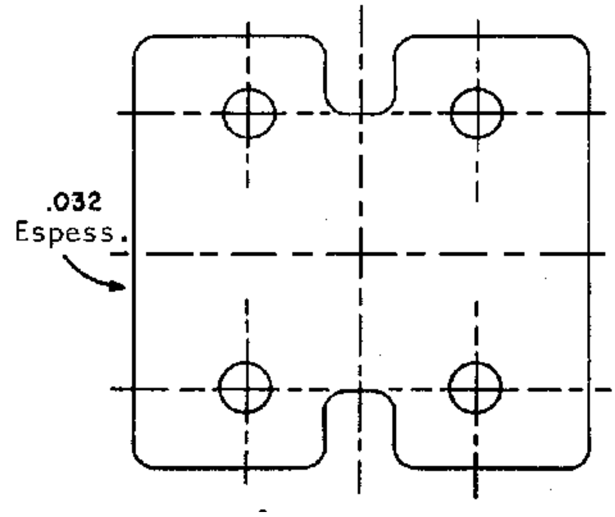


Figura 2-8 Desenho de uma face.

As meias secções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

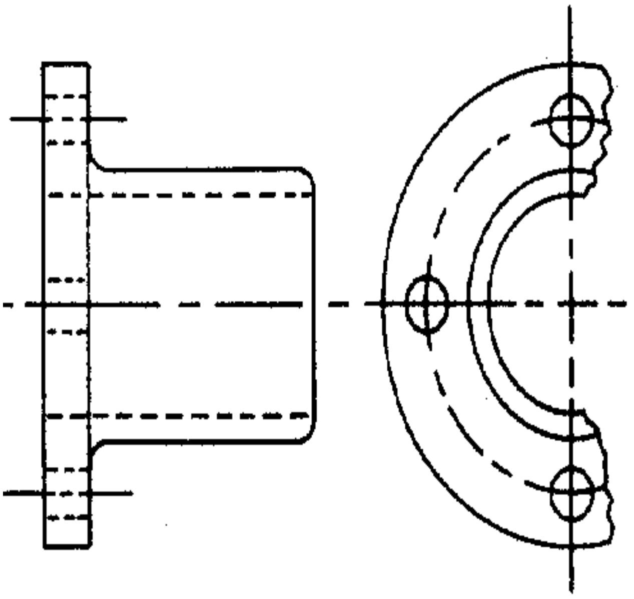


Figura 2-9 Objeto simétrico com meia face exterior.

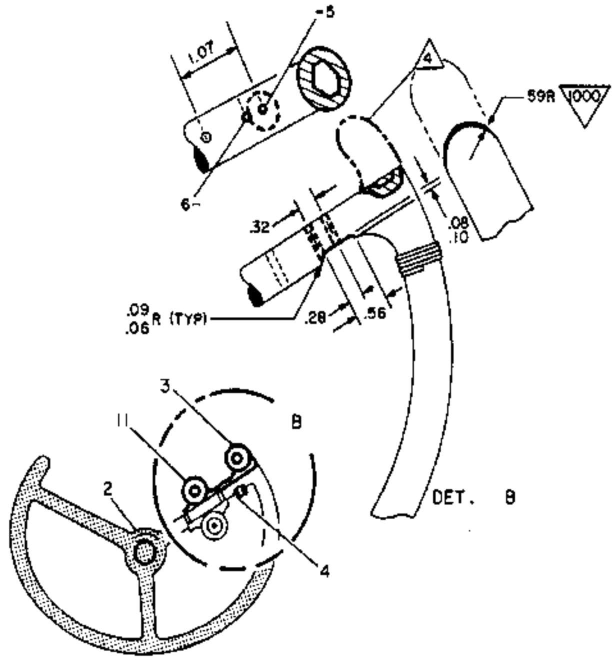

1.07
-5
4
59R
1000
6
6
.32
.08
.10
.09
.06 R (TYP)
.28
.56
3
11
B
2
4
DET. B

Figura 2-10 Vista de detalhe.

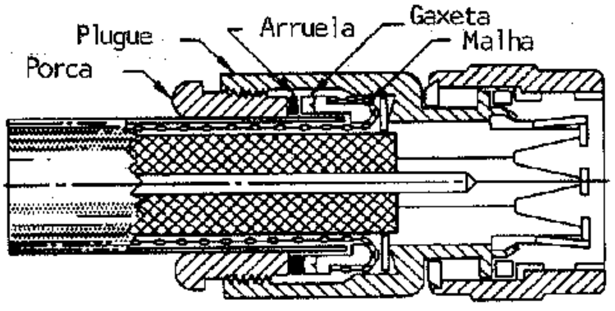

Plugue
Arruela
Gaxeta
Malha
Porca

Figura 2-11 Vista seccional de um conector de cabo.

A figura 2-12 é uma vista de meia secção de uma desconexão rápida, usada num sistema de fluido de uma aeronave.

Secção rebatida

A secção rebatida, desenhada diretamente na vista exterior, mostra a forma de corte transversal da parte, como o raio da roda. Um exemplo da secção rebatida é mostrado na figura 2-13.

Secção removida

Secções removidas mostram particularidades do objeto. Elas são desenhadas como as seções rebatidas, exceto que estão colocadas de um lado e destacam detalhes pertinentes e são freqüentemente, desenhadas em uma escala maior que a vista, na qual elas são indicadas.

Figura 2-14 é uma ilustração de seção removida. A seção A.A. mostra a forma do corte transversal do objeto cortado pela linha do plano A.A. A seção B.B. mostra a forma do corte transversal cortado pela linha do plano B.B. Estas vistas seccionadas são desenhadas na mesma escala da vista principal; no entanto, como já mencionado, elas são freqüentemente desenhadas numa escala maior para destacar detalhes pertinentes.

O SIGNIFICADO DAS LINHAS

Todo desenho é composto de linhas. Linhas marcam fronteiras, bordas e intercessões de superfícies. Linhas são usadas para mostrar dimensões e superfícies ocultas, e para indicar centros. Obviamente, se a mesma espécie de linha for usada para mostrar todas essas coisas, um desenho viria a ser uma coleção de linhas. Por essa razão, várias espécies de linhas padronizadas são usadas em desenhos de aeronaves. Essas linhas estão ilustradas na figura 2-15 e, seus empregos corretos são mostrados na figura 2-16.

Muitos desenhos usam três larguras, ou intensidades de linhas: fina, média ou grossa. Estas linhas podem variar um pouco em desenhos diferentes, mas haverá sempre uma notável diferença entre uma linha fina e uma linha grossa, com a largura de uma linha média em algum lugar entre as duas.

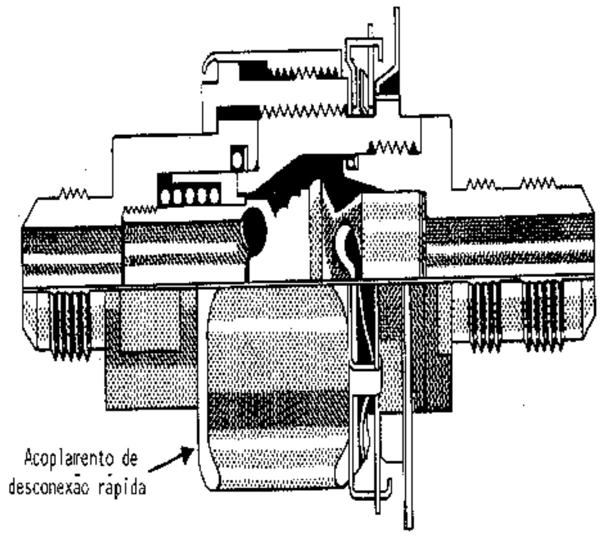


Figura 2-12 Meia secção.

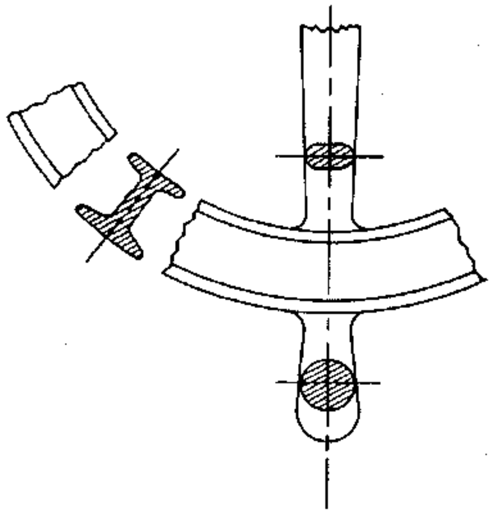


Figura 2-13 Secção rebatida.

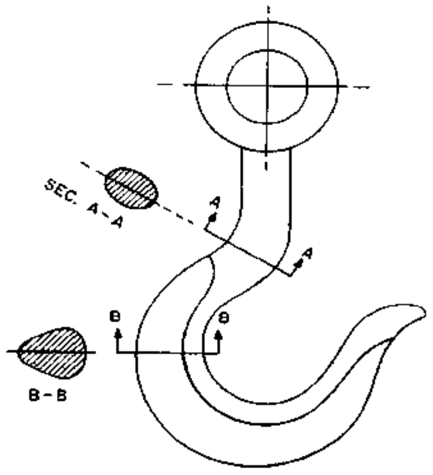


Figura 2-14 Secção removida.

Linhas de centro

Linhas de centro são constituídas de traços longos e curtos. Elas indicam o centro do objeto ou parte do objeto. Onde as linhas de centro se cruzam, os traços curtos se cortam, simetricamente. No caso de pequenos círculos, as linhas de centro podem ser mostradas inteiras (não devem ser interrompidas).

Linhas de cota

A linha de cota é uma linha sólida interrompendo no ponto médio para colocação da indicação de medidas, e tendo ponta de setas opostas a cada final, para mostrar a origem e o fim da medida. Elas são geralmente paralelas à linha em que a dimensão é dada e, são usualmente colocadas na parte externa da linha de contorno do objeto e entre vistas, se mais que uma vista é mostrada.

Todas as dimensões e letras são colocadas de modo que elas sejam lidas da esquerda para a direita. A dimensão de um ângulo é indicada colocando o grau do ângulo em seu arco. As dimensões da parte circular são sempre dadas em termos do diâmetro do círculo e, usualmente, com a letra D ou a abreviação DIA, seguindo a dimensão.

A dimensão do arco é dada em termos de seus raios, e é marcada com a letra R após a dimensão. Linhas de cota paralelas são colocadas, de modo que, a maior dimensão esteja mais afastada da linha de contorno, e a menor dimensão esteja mais perto da linha de contorno do objeto. Num desenho mostrando diversas vistas, as linhas de cota serão colocadas sobre cada vista, para mostrar seus detalhes com um melhor aproveitamento.

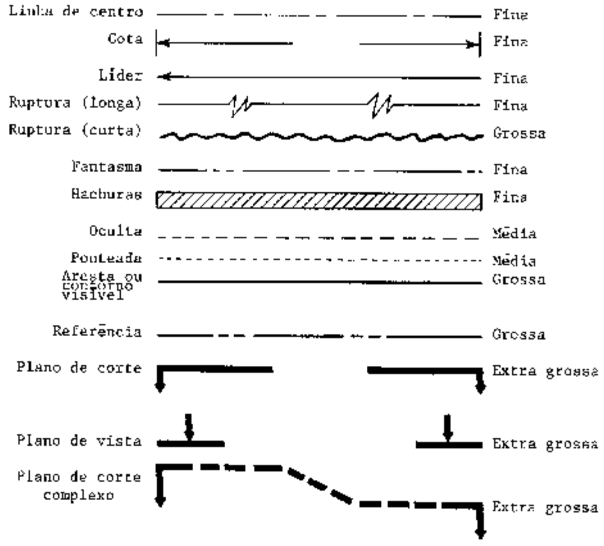
No dimensionamento de distâncias entre furos no objeto, as dimensões são usualmente dadas, de centro a centro, ao invés da parte externa à parte externa.

Quando o número de furos de vários tamanhos são mostrados, os diâmetros desejados são dados em uma líder, seguida pelas notas de identificação das máquinas de operação para cada furo. Se uma parte tem três furos de igual tamanho, igualmente espaçados, esta informação é dada. Para trabalhos de precisão, os tamanhos são fornecidos em decimais. Diâmetros e As meias secções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

profundidades são fornecidos para furos escariados. Nestes, o ângulo de escariar e o diâmetro são dados. Estude os exemplos mostrados na figura 2-17.

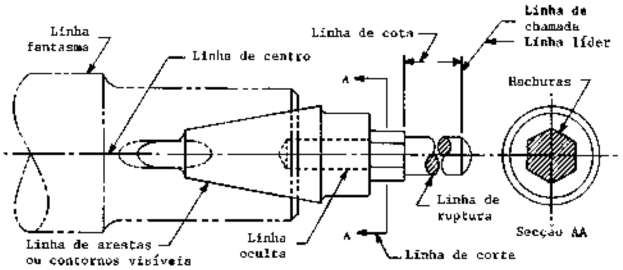
As dimensões, dadas para encaixe significam a quantidade de folga permitida entre os pontos móveis.

Uma tolerância positiva permitida é indicada para a parte que é móvel, ou girada sobre a outra parte. Uma tolerância negativa é um dado para a força conveniente. Sempre que possível, a tolerância e as folgas desejadas devem estar conforme as estabelecidas no Padrão Americano de tolerâncias, Folgas e Medidores, para encaixes metálicos. As classes de encaixe, especificadas nos padrões, devem ser indicadas nos conjuntos de desenhos.



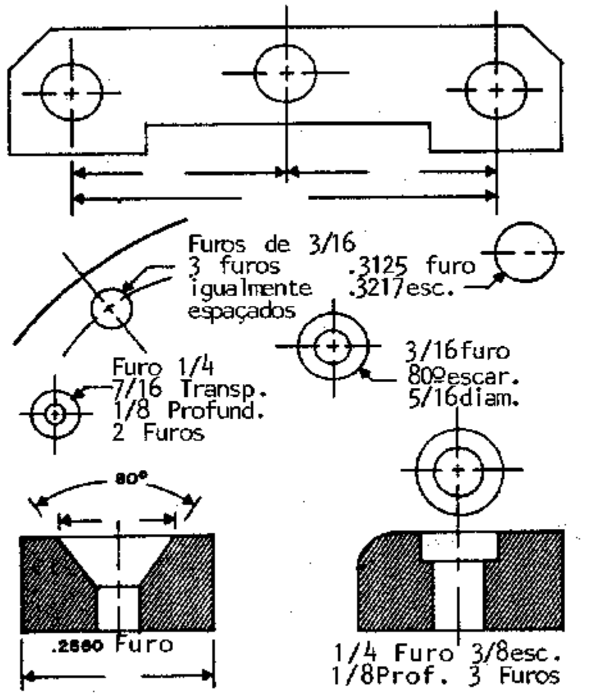
Linha de centro
Fina
Cota
Fina
Líder
Fina
Ruptura (longa)
Fina
Ruptura (curta)
Grossa
Fantasma
Fina
Hachuras
Fina
Oculta
Média
Ponteada
Média
Aresta ou contorno visível
Grossa
Referência
Grossa
Plano de corte
Extra grossa
Plano de vista
Extra grossa
Plano de corte complexo
Extra grossa

Figura 2-15 O significado das linhas.



Linha fantasma
Linha de centro
Linha de cota
Linha de chamada
Linha líder
A
Hachuras
Linha de ruptura
Secção AA
A
Linha de arestas ou contornos visíveis
Linha oculta
Linha de corte

Figura 2-16 Correto uso das linhas.



Furos de 3/16
3 furos igualmente espaçados
.3125 furo
.3217esc.
Furo 1/4
7/16 Transp.
1/8 Profund.
2 Furos
3/16furo
80ºescar.
5/16diam.
80°
.2580 Furo
1/4 Furo 3/8esc.
1/8Prof. 3 Furos

Figura 2-17 Dimensionamento de furos.

Linhas líderes

Líderes são linhas sólidas, com uma seta numa das pontas, e indicam uma parte ou porção de uma nota, número, ou uma outra referência.

Linhas de ruptura

Linhas de ruptura indicam que uma porção do objeto não é mostrada no desenho. Para pequenas rupturas as linhas são feitas sólidas, e à mão livre.

Longas rupturas são feitas com linhas sólidas, com régua e ziguezagues intercalados..

Eixos, hastes, tubos e outras partes que têm uma porção de seu comprimento interrompido, têm o final da interrupção como indica a figura 2-16.

Linhas fantasmas

Linhas fantasmas indicam a posição alternada de partes do objeto, ou da posição relativa de uma parte perdida.

Linhas fantasmas são compostas de um longo e dois curtos traços, espaçados regularmente.

Linhas de hachuras

Linhas de hachuras indicam superfícies expostas do objeto, na vista seccionada. Elas são geralmente finas, cheias, mas devem variar com a espécie de material mostrado na seção.

As meias secções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

Linhas ocultas

Linhas ocultas indicam margens invisíveis ou contornos. Linhas ocultas são feitas de traços curtos espaçados regularmente e, são freqüentemente, classificadas como linhas tracejadas.

Linhas de contorno ou de arestas visíveis

Linhas de contorno ou de arestas são usadas em todas as linhas do desenho, representando as linhas visíveis do objeto.

Linhas ponteadas ou interrompidas

Linhas ponteadas (pontos de costura) ou interrompidas, ou ainda costuradas, consistem de uma série de pequenos traços, espaçados regularmente.

Linhas de corte e vista de corte

Linhas de corte indicam o plano no qual uma vista seccional do objeto é tomada. Na figura 2-16, a linha de corte A-A indica o plano no qual a seção A-A foi tomada.

Vista de corte indica o plano do qual uma superfície é vista.

INTERPRETANDO DESENHOS

Um desenho não pode ser interpretado todo de uma vez, do mesmo modo que, uma planta inteira não pode ser interpretada numa olhadela.

Ambos devem ser interpretados uma linha de cada vez. Interpretar um desenho, efetivamente, segue um procedimento sistemático.

Na abertura de um desenho, leia o número do desenho e a descrição do artigo. Depois cheque qual é o modelo, a última alteração, e o próximo conjunto listado. Tendo determinado que o desenho está correto, prossiga na leitura das ilustrações.

Na interpretação de um desenho de muitas vistas, primeiro pegue a idéia geral da forma do objeto pela discriminação de todas as vistas, então selecione uma vista para um estudo mais cuidadoso. Checando a vista adjacente várias vezes, será possível determinar o que cada linha representa.

Cada linha de uma vista representa uma troca na direção da superfície, mas outra vista deve ser consultada para determinar qual foi a troca.Por exemplo, um círculo sobre uma vista pode significar um furo ou uma saliência, como na vista superior do objeto na figura 2-18.

Olhando a vista superior, vemos dois círculos; no entanto a outra vista deve ser consultada para determinar o que cada círculo representa. Uma olhada em outra vista nos informa que o pequeno círculo representa um furo; e o grande representa uma saliência. -Do mesmo modo, a vista superior deve ser consultada para determinar a forma do furo e da saliência.

Pode ser visto neste exemplo, que uma pessoa não pode interpretar um desenho com uma simples olhada, quando mais de uma vista é dada. Duas vistas nem sempre descreverão o objeto e, quando três vistas são dadas, todas três devem ser consultadas para se ter certeza de que a forma está sendo interpretada corretamente.

Após determinar a forma de um objeto, determine seu tamanho. Informação de dimensão e tolerância são dadas para se ter certeza que o desenho correto será encontrado.

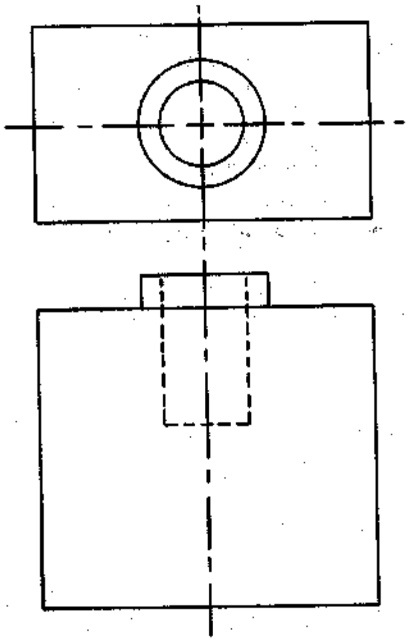


Figura 2-18 Interpretando desenhos.

As dimensões são indicadas por algarismos, com ou sem marcas de polegadas. Se as marcas de polegadas são usadas, a dimensão é em polegadas. É costume dar as dimensões das partes e a dimensão geral, que dá a maior largura da parte. Se não for apresentada a dimensão geral, ela pode ser determinada pela soma das dimensões das partes separadas.

Desenhos podem ser dimensionados em decimais ou frações. Isto é especialmente verdadeiro com referência às tolerâncias. Muitas firmas, ao invés de usar sinais de mais (+) ou menos (-) para tolerância, fornecem a dimensão completa para ambas as tolerâncias.

Por exemplo, se uma dimensão é duas polegadas com um mais (+) ou menos (-) tolerância de 0.01, o desenho deveria mostrar a dimensão total como: 2.01 e 1.99. A tolerância isenta (normalmente achada no bloco de título) é uma tolerância geral que pode ser aplicada para partes onde as dimensões não são críticas. Onde a tolerância não é mostrada na linha de cota, aplica-se a tolerância da planta.

Para completar a interpretação de um desenho, lê-se as notas gerais e o conteúdo do bloco de material; cheque e ache as várias modificações incorporadas, e leia as informações especiais dadas nas, ou próximas das vistas e seções.

DIAGRAMAS

Um diagrama deve ser definido como uma representação gráfica de um conjunto ou sistema; indicando as várias partes e, expressamente, os métodos ou princípios de operação.

Há muitos tipos de diagramas; no entanto os com que os mecânicos da aviação terão de se preocupar durante o desempenho de seu trabalho podem ser agrupados em duas classes ou tipo: diagramas de instalação e diagramas esquemáticos.

Diagramas de instalação

A figura 2-19 é um exemplo de diagrama de instalação. Esse é um diagrama do sistema de travas de comando de uma aeronave. Ele identifica cada componente no sistema e mostra sua localização na aeronave.

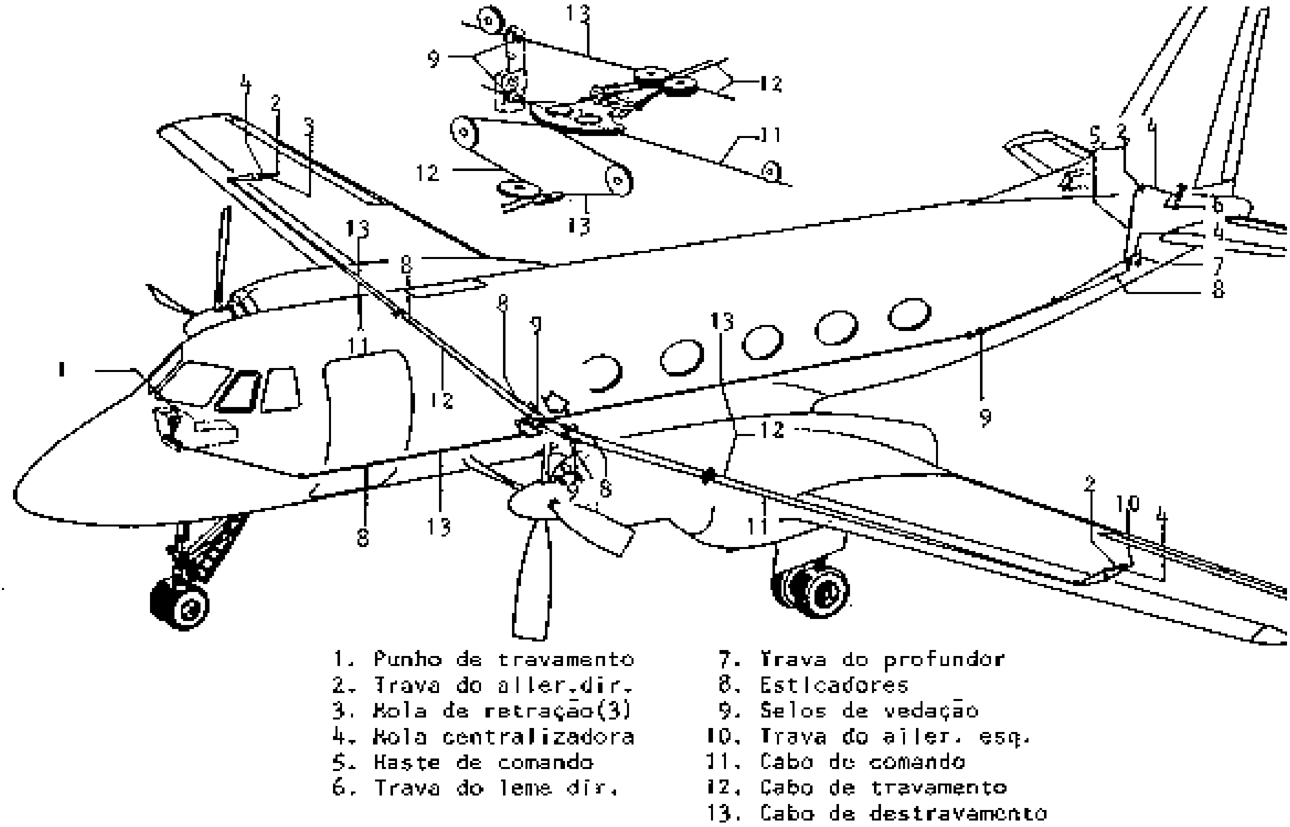

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
1. Punho de travamento
2. Trava do ailer.dir.
3. Mola de retração(3)
4. Mola centralizadora
5. Haste de comando
6. Trava do leme dir.
7. Trava do profundor
8. Esticadores
9. Selos de vedação
10. Trava do ailer. esq.
11. Cabo de comando
12. Cabo de travamento
13. Cabo de destravamento

Figura 2-19 Exemplo do diagrama de uma instalação (Sistema de trava dos comandos).

Cada letra (A, B, C, etc.) na vista principal, refere-se a vista de um detalhe localizado em qualquer lugar no diagrama. Cada detalhe é um grande desenho da porção do sistema.

Os números de várias vistas são classificados como observações, e servem para identificar cada componente.

Diagramas de instalações são usados extensivamente na manutenção de aeronaves e manuais de reparos.

São de valor inestimável, na identificação e localização de componentes e compreensão da operação dos vários sistemas.

Diagramas esquemáticos

Diagramas esquemáticos não indicam a localização individual de componentes na aeronave, mas localizam os componentes com respeito a cada um dentro do sistema. A figura 2-20 ilustra um diagrama esquemático do sistema hidráulico da aeronave. O instrumento de pressão hidráulica não é necessariamente localizado abaixo da válvula seletora do trem de pouso na aeronave; no entanto ele é conectado na linha de pressão que conduz o óleo para a válvula seletora.

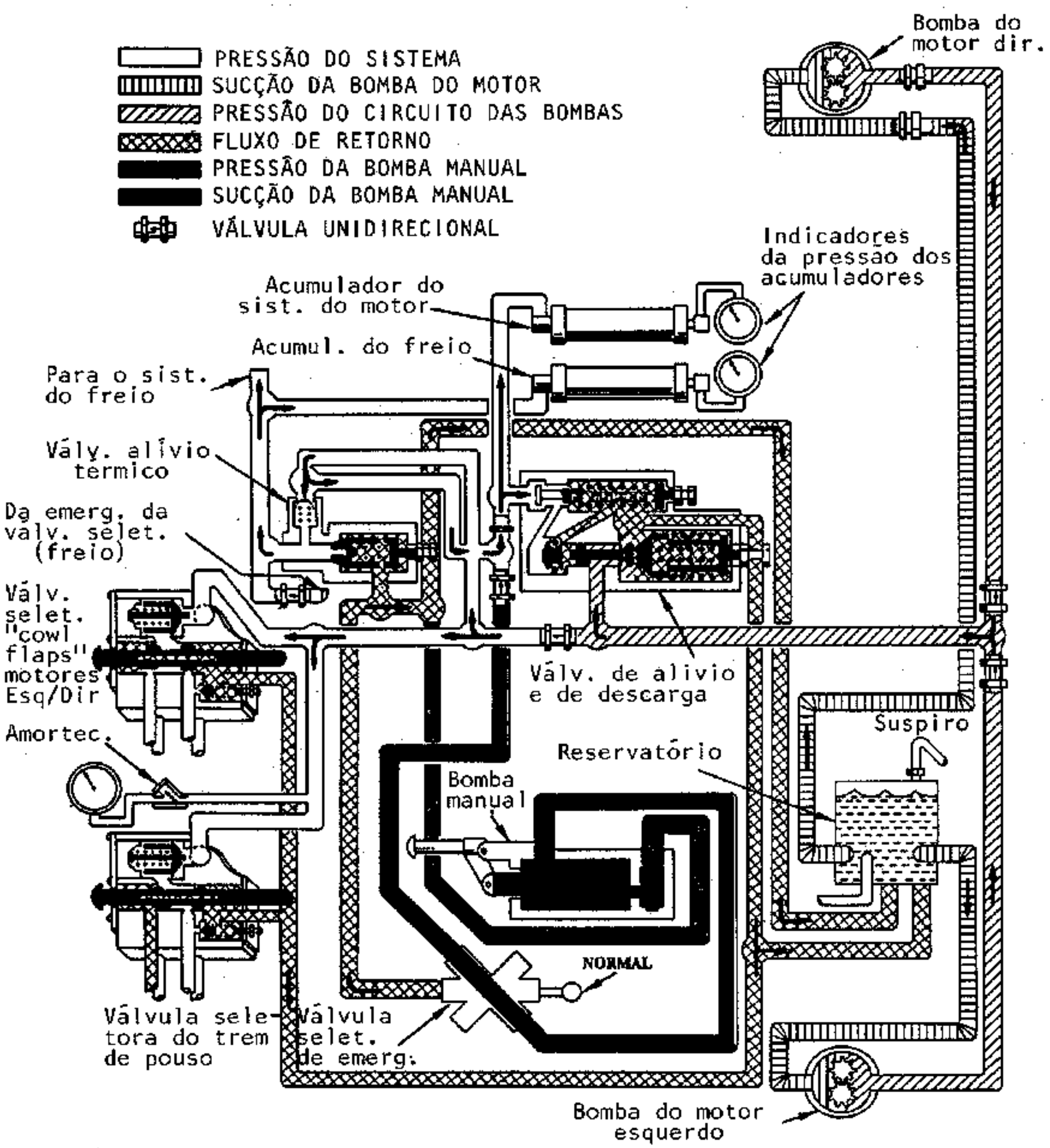

PRESSÃO DO SISTEMA
SUCÇÃO DA BOMBA DO MOTOR
PRESSÃO DO CIRCUITO DAS BOMBAS
FLUXO DE RETORNO
PRESSÃO DA BOMBA MANUAL
SUCÇÃO DA BOMBA MANUAL
VÁLVULA UNIDIRECIONAL
Bomba do motor dir.
Indicadores da pressão dos acumuladores
Acumulador do sist. do motor
Acumul. do freio
Para o sist. do freio
Válv. alívio termico
Da emerg. da valv. selet. (freio)
Válv. selet. "cowl flaps" motores Esq/Dir
Amortec.
Válv. de alivio e de descarga
Suspiro
Reservatório
Bomba manual
NORMAL
Válvula seletora do trem de pouso
Válvula selet. de emerg.
Bomba do motor esquerdo

Figura 2-20 Esquema de sistema hidráulico de aeronave.

Diagramas esquemáticos desse tipo são usados, principalmente na solução de problemas. Note que cada linha é codificada para facilitar a leitura e seguir o fluxo.

Cada componente é identificado pelo nome, e sua localização no sistema pode ser verificada observando-se as linhas que entram e saem da unidade.

Ao seguir o fluxo do fluido através do sistema, pode ser visto que as bombas, impulsionadas pelo motor, recebem um suprimento de fluido vindo do reservatório. Uma válvula de cheque unidirecional é instalada em ambas as linhas de pressão das bombas direita e esquerda, de maneira que a falha de uma delas não faça com que a pressão da outra se torne ineficaz.

Os fluidos escoam para o lado aliviado do sistema, para a válvula de alívio; e, através da válvula de cheque, a qual manterá a pressão que estiver além deste ponto.

A pressão é então direcionada através de todas as linhas condutoras para cada válvula seletora, onde é checado se nenhuma unidade está sendo operada.

A pressão aumenta na linha de condução para a abertura de controle da válvula de descarga, e começa a carregar o sistema acumulador.

A pressão para carregar o acumulador do freio é conduzida, através da válvula de cheque incorporada. Na válvula de alívio térmico; isto impede que a pressão retorne para o sistema geral.

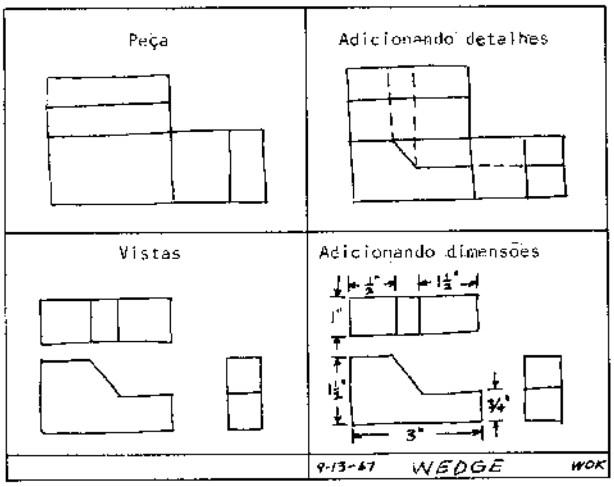

Peça
Adicionando detalhes
Vistas
Adicionando dimensões
1/2"
1 1/2"
1"
1 1/2"
3/4"
3"
9-13-67
WEDGE
WOK

Figura 2-21 Etapas de um esboço.

Embora o acumulador do sistema geral inicie o carregamento ao mesmo tempo, ele não carregará tão rápido, porque o fluido passa através de uma válvula limitadora. A pressão do sistema geral sangrará para o sistema de freios, sempre que a pressão dos mesmos cair abaixo da do sistema.

Tão logo a pressão alcance o limite da válvula de alívio, esta abrirá ligeiramente. A pressão do sistema geral aumenta até alcançar o valor estabelecido como pressão operacional do sistema.

Neste ponto, através da linha de condução para o componente de controle da válvula de descarga, a pressão manterá a válvula de alívio e descarga completamente aberta.

A pressão armazenada no sistema pela válvula de cheque unidirecional mantém a válvula aberta para criar um circuito inativo, o qual prevalecerá até que alguma unidade do sistema hidráulico seja operada.

Diagramas esquemáticos, como diagramas de instalação, são usados extensivamente em manuais de aeronaves.

ESBOÇOS DE DESENHO

Um esboço é um simples desenho de rascunho, que é feito rapidamente e sem muito detalhe. Esboços podem ter muitas formas de uma simples apresentação fotográfica até uma projeção ortográfica com várias vistas.

Um esboço é freqüentemente desenhado para uso na fabricação de um componente substituído.

Como tal, um esboço deve prover todas as informações necessárias para aqueles que fabricarão a peça.

O mecânico não precisa ser um artista de renome. Entretanto, em muitas situações ele precisará preparar um desenho para apresentar uma idéia a um novo projeto, uma modificação ou um método de reparo. O meio termo na confecção do esboço é um excelente meio para conseguir isto.

As regras e práticas convencionais para a confecção de desenhos mecânicos são seguidas, de forma que, todas as vistas necessárias para representar um objeto com precisão são mostrados em suas devidas proporções.

Também é necessário observar as regras para o uso correto das linhas (figuras 2-15 e 2-16) e as dimensões.

Para fazer um esboço, primeiro determine quais as vistas necessárias para representar o objeto; então esboce estas vistas, usando linhas leves de construção.

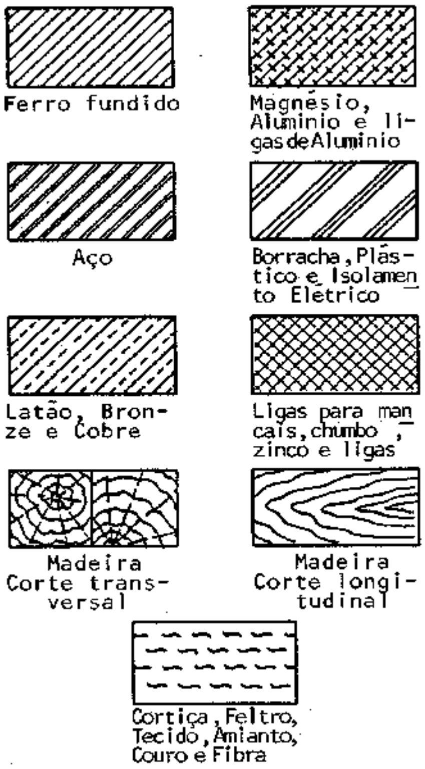

Ferro fundido
Magnésio, Alumínio e ligas de Alumínio
Aço
Borracha, Plástico e Isolamento Elétrico
Latão, Bronze e Cobre
Ligas para mancais, chumbo, zinco e ligas
Madeira Corte transversal
Madeira Corte longitudinal
Cortiça, Feltro, Tecido, Amianto, Couro e Fibra

Figura 2-22 Símbolos dos materiais.

Em seguida complete os detalhes, escurecendo o contorno do objeto, e esboce as linhas de extensão e de cota.

Complete o desenho adicionando observações, dimensões, títulos, datas; e, quando necessário, o nome de quem fez o esboço. Os passos na confecção do esboço de um objeto são ilustrados na figura 2-21.

O grau de detalhamento do esboço dependerá do uso pretendido. Obviamente, um esboço usado somente para representar um objeto pictorialmente não necessita ser dimensionado.

Se um componente é para ser fabricado a partir do esboço, deve-se mostrar todos os detalhes necessários da construção.

SÍMBOLOS DE DESENHO

Os desenhos para um componente contêm uma grande quantidade de símbolos e convenções, representando sua forma e tipo de material. Os símbolos são a taquigrafia do desenho. Eles, graficamente representam as características do componente com uma quantidade mínima do desenho.

Símbolos de material

Símbolos de linhas de hachuras mostram o tipo de material do qual o componente deverá ser construído.

O material pode não ser indicado simbolicamente quando, sua exata especificação, precisar ser mostrada em outro lugar no desenho.

Neste caso, o símbolo mais fácil para representar ferro fundido é usado para a secção. A especificação do material é listada na nota de materiais ou indicada em uma nota.

A figura 2-22 ilustra alguns símbolos padronizados de materiais.

Símbolos das formas

Os símbolos podem ser usados com excelente vantagem, quando se deseja mostrar a forma de um objeto. Símbolos de formas típicas, usados em desenhos de aeronaves, são mostrados na figura 2-23. Símbolos de formas são, usualmente, mostrados em um desenho como uma seção rebatida ou removida.

Símbolos elétricos

Símbolos elétricos (figura 2-24), representam vários mecanismos elétricos, ao invés de um desenho real das unidades. Após ter-se aprendido os vários símbolos indicados, torna-se relativamente simples olhar um diagrama elétrico e determinar o que é cada unidade, qual sua função, e como é ligada ao sistema.

CUIDADOS COM INSTRUMENTOS DE DESENHO

Bons instrumentos de desenho são ferramentas de precisão caras. Um razoável cuidado dispensado a elas durante seu uso e armazenagem, prolongarão sua vida útil.

Réguas "T", esquadros e réguas graduadas, não devem ser usadas ou colocadas onde suas superfícies ou quinas possam ser danificadas.

Use a prancha de desenho somente para os propósitos pretendidos, e não de uma maneira que danifique a superfície de trabalho.

Compassos e canetas proporcionarão melhores resultados com menos aborrecimentos se possuírem forma correta, estiverem afiados e não forem danificados por manuseio descuidado. Guarde os instrumentos de desenho num lugar, onde, provavelmente, não serão danificados pelo contato com outras ferramentas ou equipamentos. Proteja as pontas do compasso, inserindo-os num pedaço de borracha macia ou material similar. Nunca guarde as canetas tinteiro sem primeiro limpá-las ou secá-las por completo.

MICROFILME

A prática de gravação de desenhos, de catálogos de peças e manutenção de revisão em microfilmes, foi introduzida nos últimos anos.

O microfilme, é um filme regular de 16 ou 35 mm. Uma vez que o filme de 35 mm é mais largo, ele proporciona uma melhor reprodução do desenho.

Dependendo do tamanho do desenho a ser reproduzido, um número variado de desenhos pode ser fotografado num rolo de filme de 35 mm. Para ler ou ver desenhos, ou manuais num rolo de filme, você precisa de um projetor portátil de 35 mm, uma leitora ou visor de microfilmes.

A vantagem do microfilme, é que diversos rolos, os quais representam talvez centenas de desenhos, requerem somente um pequeno espaço para armazenagem.

Também, alguém trabalhando numa aeronave, pode precisar se referir a uma área específica.

Ele pode colocar o rolo do microfilme no projetor, localizar o desenho ou informação desejada, e pesquisar a referida área.

Se ele tiver que estudar um detalhe do desenho, ou trabalhar com ele por um longo tempo, uma reprodução fotográfica ampliada pode ser feita usando-se o microfilme como um negativo.

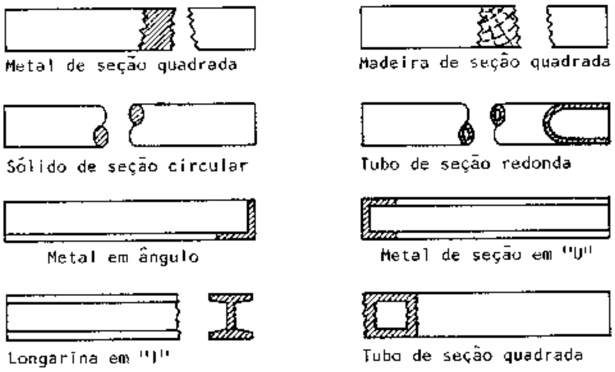

Metal de seção quadrada
Madeira de seção quadrada
Sólido de seção circular
Tubo de seção redonda
Metal em ângulo
Metal de seção em "U"
Longarina em "I"
Tubo de seção quadrada

Figura 2-23 Símbolos das formas.

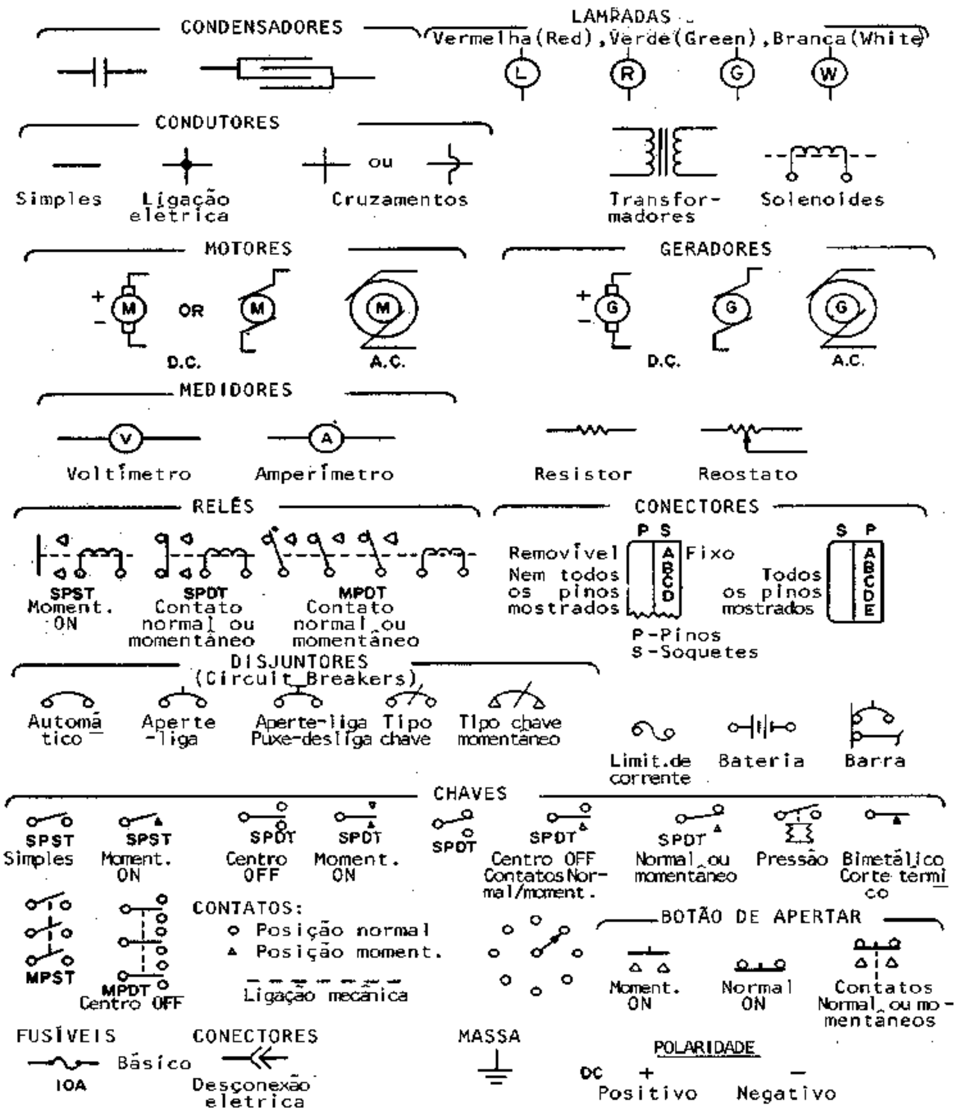

CONDENSADORES
LAMPADAS
Vermelha(Red),Verde(Green),Branca(White)
L
R
G
W
CONDUTORES
Simples
Ligação elétrica
ou
Cruzamentos
Transformadores
Solenoides
MOTORES
M
OR
D.C.
A.C.
GERADORES
G
D.C.
A.C.
MEDIDORES
V
A
Voltímetro
Amperímetro
Resistor
Reostato
RELÉS
SPST Moment. ON
SPDT Contato normal ou momentâneo
MPDT Contato normal ou momentâneo
CONECTORES
P S
Removível
Nem todos os pinos mostrados
A B C D
Fixo
S P
Todos os pinos mostrados
A B C D E
P-Pinos
S-Soquetes
DISJUNTORES (Circuit Breakers)
Automático
Aperte-liga
Aperte-liga Puxe-desliga
Tipo chave
Tipo chave momentâneo
Limit.de corrente
Bateria
Barra
CHAVES
SPST Simples
SPST Moment. ON
SPDT Centro OFF
SPDT Moment. ON
SPDT
SPDT Centro OFF Contatos Normal/moment.
SPDT Normal ou momentâneo
Pressão
Bimetálico Corte termico
MPST
MPDT Centro OFF
CONTATOS:
○ Posição normal
▲ Posição moment.
Ligação mecânica
BOTÃO DE APERTAR
Moment. ON
Normal ON
Contatos Normal ou momentâneos
FUSÍVEIS
Básico
IOA
CONECTORES
Desconexão elétrica
MASSA
POLARIDADE
DC
+
−
Positivo
Negativo

Figura 2-24 Símbolos elétricos.

O microfilme de desenho tem muitas outras utilidades e vantagens. No entanto, o microfilme não pode substituir o desenho original, especificamente onde os originais estão modificados e mantidos, atualizados por um longo tempo. Quando os desenhos são filmados em rolos contínuos, correções podem ser feitas, cortando os desenhos a serem substituídos e emendando os revisados em seu lugar. Quando estas correções tornam-se numerosas, este procedimento torna-se impraticável e descartado, em favor de uma nova filmagem de todos os desenhos relacionados.

Um método, o qual permite que as correções sejam feitas facilmente, é fotografar os desenhos, cortar o filme em slides, colocando-os dentro de envelopes e protetores transparentes e, arrumá-los em sequências, para que os desenhos desejados possam ser localizados rapidamente.

Com isto, desenhos de grande tamanho podem ser reproduzidos em moldes individuais ou slides, e guardados em envelopes de papel regular mantidos em arquivo comum. Quando colocado contra a luz, este largo microfilme pode ser lido a olho nu.

CAPÍTULO 3

PESO E BALANCEAMENTO DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

A finalidade principal do controle do peso e balanceamento das aeronaves, é a segurança. Como finalidade secundária, podemos citar a maior eficiência durante o vôo.

Um carregamento inadequado reduz a eficiência da aeronave com respeito ao teto, manobrabilidade, razão de subida, velocidade, e consumo de combustível; podendo ser motivo para interrupção de um vôo, ou mesmo de seu cancelamento. Uma possível perda de vida e destruição de equipamento de valor, pode ser o resultado de uma estrutura sobrecarregada ou de uma modificação súbita na carga, com a conseqüente modificação nas características de vôo.

O peso vazio e o correspondente centro de gravidade (c.g) de uma aeronave civil, deve ser determinado na época da homologação. O fabricante pode pesar a aeronave, ou pode preencher o registro de peso e balanceamento. O fabricante pode pesar apenas uma aeronave de cada dez que forem fabricadas; atribuindo às outras nove a média do peso e balanceamento, computado nas aeronaves efetivamente pesadas. A condição da aeronave no momento da determinação do peso vazio, deve ser tal, que possa ser facilmente repetida.

As aeronaves têm uma tendência de ganhar peso devido ao acúmulo de sujeira, graxa, etc., em áreas que não são facilmente acessíveis para lavagem e limpeza.

O peso ganho em dado período de tempo depende do funcionamento da aeronave, horas de vôo, condições atmosféricas e o tipo de aeroporto em que ela opera. Por estes motivos é que se faz necessário refazer a pesagem da aeronave periodicamente. Nos casos de aeronaves usadas para transportes aéreos e taxi aéreo, este procedimento é exigido pelos regulamentos aeronáuticos. Esses regulamentos não exigem a pesagem periódica de aeronaves privadas. Normalmente elas são pesadas na época da homologação, ou depois de sofrerem qualquer alteração de grande porte, que possa afetar seu peso e balanceamento.

Embora a aeronave não precise ser pesada, ela deve ser carregada, de modo que os limites máximos de peso e c.g. não sejam ultrapassados durante a operação.

As aeronaves de empresas aéreas (regulares ou não) que transportam passageiros ou carga, estão sujeitas a certos regulamentos, que exigem que seus proprietários apresentem provas de que elas estão sendo carregadas adequadamente, e que os limites de peso e balanceamento não estão sendo excedidos.

TEORIA DO PESO E BALANCEAMENTO

A teoria do peso e balanceamento é extremamente simples. Ela é a teoria da alavanca, que está em equilíbrio ou balanceada quando está em repouso sobre o fulcro, em posição nivelada.

A influência do peso depende diretamente de sua distância do fulcro. Para balancear a alavanca, o peso deve ser distribuído a fim de que o efeito de rotação seja o mesmo em ambos os lados do fulcro. De modo geral, o peso menor mais distante do fulcro tem o mesmo efeito que um peso maior mais próximo do fulcro. A distância entre o fulcro e qualquer objeto é chamado de braço da alavanca. O braço da alavanca multiplicado pelo peso do objeto nos dá o efeito de rotação em torno do fulcro. este efeito de rotação é chamado de momento.

Similarmente, uma aeronave está balanceada se ela permanecer nivelada, suspensa por um ponto imaginário. Este ponto é a localização ideal de seu c.g. Uma aeronave balanceada não precisa permanecer perfeitamente nivelada, mas sua posição deve permanecer relativamente próximo desta. A obtenção deste balanceamento é apenas uma questão de se colocar as cargas, de modo que, o braço médio da aeronave carregada fique dentro da faixa do c.g.

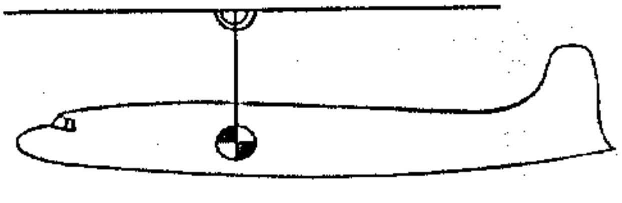


Figura 3-1 Aeronave Suspensa pelo seu Centro de Gravidade.

Comprovação matemática

O controle do peso e balanceamento consiste em comprovar matematicamente o peso, balanceamento e carregamento corretos dos limites especificados. Estes limites são apresentados nas especificações da aeronave. A instalação ou remoção de equipamentos modifica o peso vazio e o c.g. da aeronave; afetando, conseqüentemente, a carga útil na mesma proporção.

Os efeitos que tais modificações produzem no balanceamento de uma aeronave devem ser investigados, para que se possa determinar o efeito sobre as características de vôo de tal aeronave.

DADOS DE PESO E BALANCEAMENTO

Os dados de peso e balanceamento podem ser obtidos das fontes seguintes:

a. especificações da aeronave;
b. limitações operacionais da aeronave;
c. manual de vôo da aeronave; e
d. registro de peso e balanceamento da aerona--ve.

Em caso de perda dos registros de peso e balanceamento, e na impossibilidade de se obter uma cópia, a aeronave deve ser repesada. Novos registros de peso e balanceamento devem, então, ser computados e compilados.

TERMINOLOGIA

Ao se estudar o cômputo, controle e princípios de peso e balanceamento, é necessário conhecer o significado de alguns termos. A terminologia seguinte é usada na aplicação prática do controle de peso e balanceamento, devendo, portanto, ser estudada completamente.

Plano de Referência

O plano de referência é um plano vertical imaginário, a partir do qual, todas as medidas são tomadas horizontalmente para fins de balanceamento com a aeronave em atitude de vôo nivelado. Este plano está em ângulo reto em relação ao eixo longitudinal da aeronave.

Todas as localizações de equipamentos, tanques, compartimento de bagagem, assentos, motores, hélices, etc., estão incluídas nas especificações técnicas da aeronave, ou nas folhas de dados de certificação de tipo, com as respectivas distâncias em relação ao plano de referência.

Não existe uma regra fixa para a localização do plano de referência.

Na maioria dos casos ele está localizado no nariz da aeronave, ou em algum ponto da estrutura, estando em outros casos um pouco adiante do nariz da aeronave.

O fabricante pode localizar o plano de referência onde for melhor conveniente para a localização de equipamentos, medição, e computação do peso e balanceamento. A localização do plano de referência é indicada na maioria das especificações das aeronaves.

Em algumas aeronaves antigas, em que o plano de referência não é indicado, pode-se selecionar qualquer plano de referência que seja conveniente.

Entretanto, uma vez selecionado um plano de referência, ele deve ser adequadamente identificado, para que qualquer pessoa que leia os números não tenha dúvida quanto a sua localização. A figura 3-2 mostra algumas localizações de plano de referência usadas pelos fabricantes.

Braço

O Braço é a distância horizontal entre um equipamento e o plano de referência. O comprimento do braço é sempre dado ou medido em polegadas; e, exceto nos casos em que a localização seja exatamente sobre o plano de referência (0), ele é precedido do sinal positivo (+) ou negativo (-).

O sinal positivo indica uma posição para trás do plano de referência, e o sinal negativo indica uma posição adiante do plano de referência.

Se o fabricante escolher uma plano de referência que esteja na posição mais dianteira da aeronave (ou alguma distância adiante da aeronave), todos os braços serão positivos.

A localização do plano de referência em qualquer outro ponto da aeronave resultará em alguns braços positivos (ou para trás do plano de referência), e outros braços negativos (ou adiante do plano de referência).

O braço de um item, normalmente é apresentado entre parênteses, imediatamente depois do nome ou peso do item, nas especificações da aeronave. Por exemplo: assento (+23). Quando tal informação não é fornecida, ela deve ser obtida, fazendo-se a medição.

A figura 3-3 apresenta uma ilustração do plano de referência, braço, c.g. e os limites dianteiro e traseiro do c.g.

Momento

O momento é o resultado da multiplicação de um peso pelo seu braço. O momento de um item em torno do plano de referência é obtido pela multiplicação do peso deste item, pela distância horizontal, entre este item e o plano de referência.

Da mesma forma, o momento de um item em torno do c.g. pode ser computado pela multiplicação de seu peso, e pela distância horizontal entre este item e o c.g.

Um peso de 20 libras localizado a 30 polegadas de distância do plano de referência teria um momento de 20 x 30 ou 600/lb.pol.

O sinal positivo ou negativo, que precede o valor de 600/lb.pol., vai depender de sua localização em relação ao plano de referência, ou de se tratar de remoção ao plano de referência, ou de se tratar de remoção ou instalação de item.

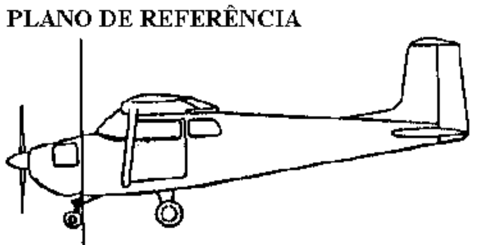
Qualquer peso adicionado à aeronave, em qualquer lado do plano de referência será positivo.

Qualquer peso removido será negativo. Ao se fazer a multiplicação de um peso por um braço, o momento resultante será positivo se os sinais forem iguais, ou negativo se os sinais forem desiguais.

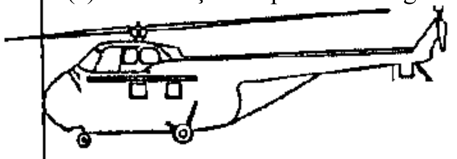
Centro de Gravidade

O c.g. de uma aeronave é o ponto sobre o qual os momentos de nariz pesado, ou de cauda pesada, são exatamente iguais em magnitude.

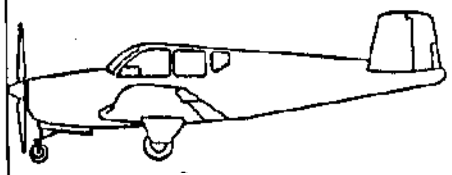
Uma aeronave suspensa por este ponto, não deve ter tendência de rotação para qualquer dos lados do nariz ou da cauda. Este é o ponto no qual o peso da aeronave ou de qualquer objeto está concentrado.



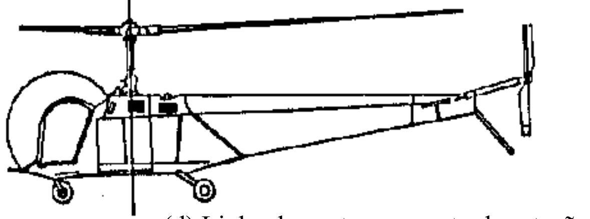
(a) Localização na parede de fogo



(b) Localização no nariz



(c) Localização no nariz



(d) Linha de centro no ponto de rotação

Figura 3-2 Várias localizações do Plano de Referência

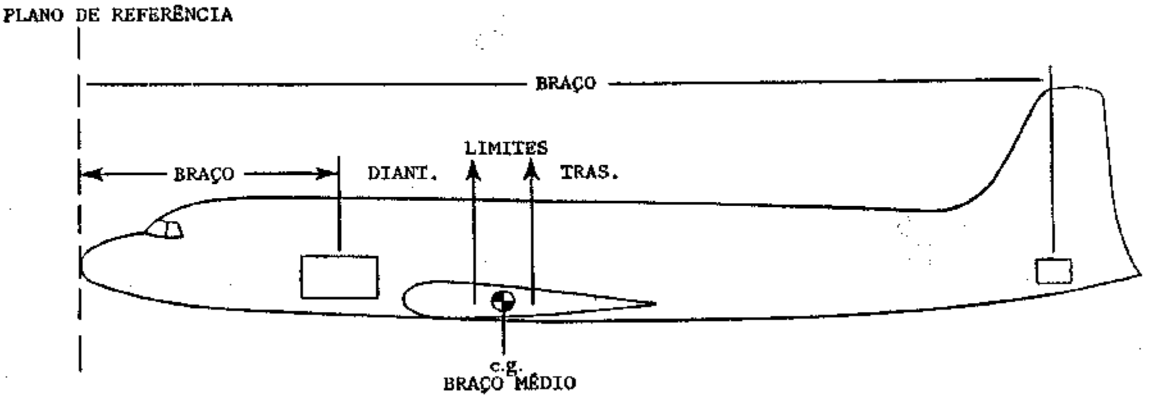


Figura 3-3 Plano de Referência, Braço, c.g. e Limites do c.g.

Peso Máximo

O peso máximo é o permitido de uma aeronave e seu conteúdo, e está indicado nas especificações. Para muitas aeronaves, existem variações no peso máximo permissível, dependendo da finalidade e condições em que deve ser operada.

Por exemplo, uma certa aeronave pode ter um peso bruto máximo permissível de 2750 lbs, quando voando em categoria normal; mas quando voando na categoria de utilitária, a mesma aeronave poderá ter um peso bruto máximo permissível de 2175 libras.

Peso Vazio

O peso vazio de uma aeronave inclui todos os equipamentos operacionais que possuem localização fixa e, que estejam realmente instalados na aeronave. Este peso inclui o peso da célula, grupo motopropulsor, equipamentos necessários, lastro fixo, fluido hidráulico, óleo e combustível residuais.

Óleo e combustível residuais são os fluidos que não são normalmente drenados, devido à sua localização nas linhas ou nos tanques e reservatórios. As informações referentes aos fluidos residuais nos sistemas da aeronave e, que devem ser incluídas no peso vazio, serão indicadas na Especificação da Aeronave.

Carga Útil

A carga útil da aeronave é determinada pela subtração do peso vazio do peso bruto máximo permissível. Para as aeronaves homologadas nas categorias normal e utilitária, deve haver duas cargas úteis nos registros de peso e balanceamento.

Uma aeronave com um peso vazio de 900 libras, terá uma carga útil de 850 libras se o peso máximo permissível para a categoria normal for de 1750 libras. Quando a aeronave for operada na categoria de utilitária, o peso bruto máximo pode ser reduzido para 1500 libras, com um decréscimo correspondente na carga útil para 600 libras. Algumas aeronaves possuem a mesma carga útil, independentemente da categoria em que foram homologadas.

A carga útil consiste do máximo de óleo, combustível, bagagem, piloto, co-piloto e membros da tripulação. A redução no peso de um item, quando possível, poderá ser necessária para que a aeronave permaneça dentro do peso máximo permitido para a categoria em que estiver operando. A determinação destes pesos é chamada de verificação do peso.

Centro de Gravidade do Peso Vazio

O centro de gravidade do peso vazio, abreviado por CGPV, é o c.g. de uma aeronave em sua condição de peso vazio. Ele é parte essencial do registro de peso e balanceamento da aeronave. Por si, ele não tem qualquer utilidade, mas serve como base para outras computações, e não, como uma indicação do que será o c.g. carregado.

O CGPV é computado quando da pesagem da aeronave, utilizando-se fórmulas específicas para aeronaves com trem de nariz e para aeronaves com bequilha.

Passeio do Centro de Gravidade do Peso Vazio

O passeio do CGPV é uma variação permissível dentro dos limites do c.g. Quando o CGPV da aeronave cai dentro desta faixa, fica impossível exceder os limites do CGPV utilizando-se os arranjos de carregamento da especificação padrão. Nem todas aeronaves possuem estas faixas especificadas em suas Folhas de Dados de Certificação de Tipo. Quando indicada, a faixa somente é válida se a aeronave for carregada conforme a especificação padrão. A instalação de itens não listados na especificação padrão não permite a utilização desta faixa.

Passeio do Centro de Gravidade Operacional

O passeio do c.g. operacional é a distância compreendida entre os limites dianteiro e traseiro do c.g., indicado na Especificação da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo. Estes limites, determinados durante as fases de projeto e fabricação, são posições extremas do c.g. carregado permissíveis, aplicáveis dentro dos regulamentos que controlam o projeto da aeronave. Estes limites são apresentados em porcentagem da CAM (Corda Aerodinâmica Média) ou em polegadas de distância do plano de referência.

A localização do c.g. da aeronave carregada deve permanecer dentro destes limites em qualquer tempo. A aeronave apresenta instruções detalhadas para a determinação da distribuição de carga através de letreiros, inscrições, cartas de carregamento e reguladores de carga.

Corda Aerodinâmica Média - CAM

CAM é a corda média da asa. A secção transversal da asa, (do bordo de ataque ao bordo de fuga é uma secção de aerofólio).

Uma corda é uma linha imaginária traçada paralela ao aerofólio, do bordo de ataque ao bordo de fuga da secção, a CAM de uma asa de corda constante seria o mesmo que a corda real da asa.

Qualquer desvio do plano retangular da asa afetará o comprimento da CAM e a distância resultante entre o bordo de ataque da CAM e o bordo de ataque da asa da aeronave.

A figura 3-4 mostra a CAM para uma aeronave com asa enflechada.

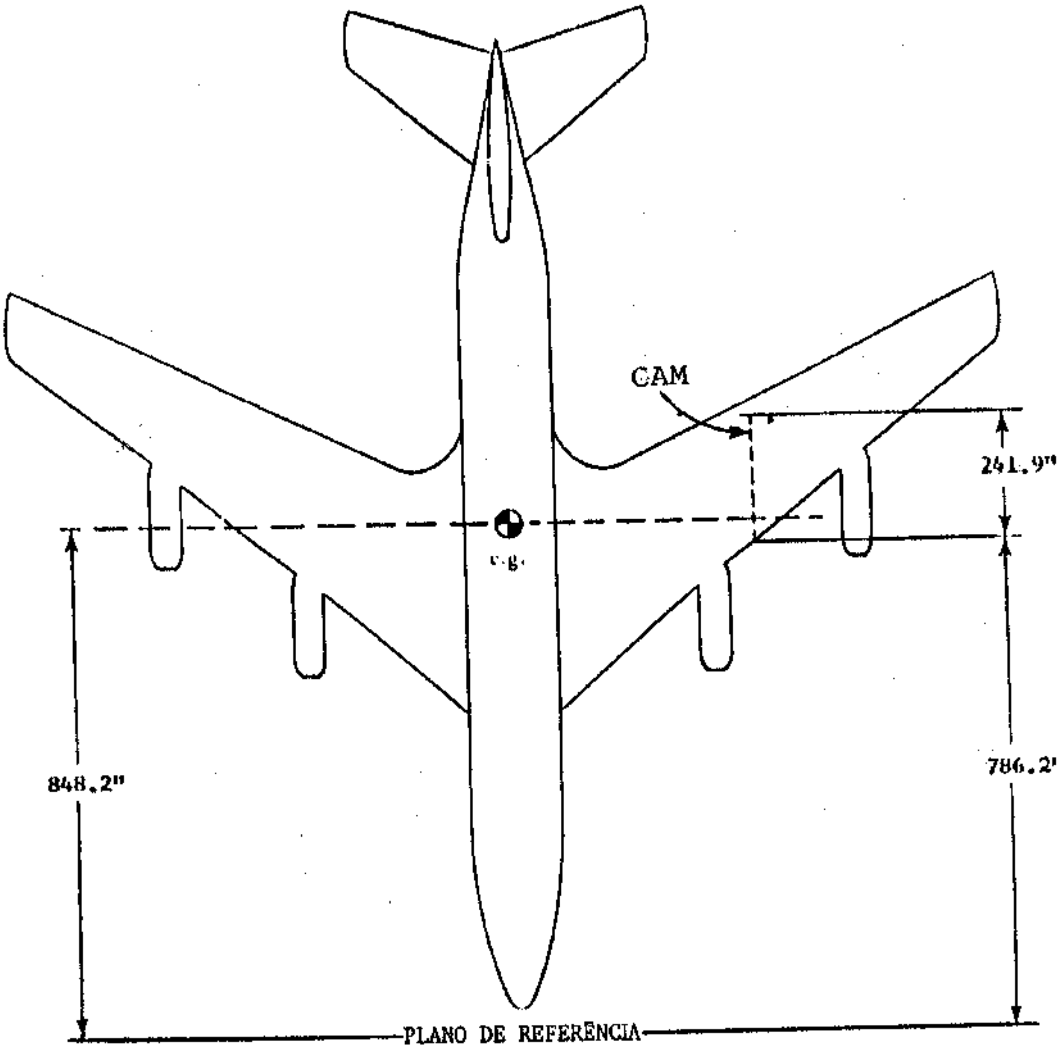


Figura 3-4 O c.g. mostrado em relação à corda aerodinâmica média.

O c.g. da aeronave normalmente é colocado na posição dianteira máxima do centro de pressão da CAM, para que se obtenha a estabilidade desejada. Devido à relação existente entre a localização do c.g. e os momentos produzidos pelas forças aerodinâmicas, sendo a sustentação o maior deles, a localização do c.g. normalmente é expresso em relação à asa. Isto é feito especificando-se o c.g. em porcentagem da CAM da asa.

A localização da CAM, em relação ao plano de referência, é fornecida nas Especificações da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo; no Registro de Peso e Balanceamento; ou no Manual de Vôo da Aeronave.

Computa-se a localização do c.g. em porcentagem da CAM como segue:

(1) Encontra-se a diferença existente na distância entre o ponto de localização do c.g. do peso vazio e o plano de referência; e a distância entre o bordo de ataque da CAM e o plano de referência.
(2) Divide-se a diferença pelo comprimento da CAM.
(3) Multiplica-se o resultado por 100.
(4) O resultado final é então expresso em porcentagem.

A figura 3-5 apresenta um exemplo de problema que utiliza a equação para o cômputo da porcentagem da CAM.

Meios de Nivelamento da Aeronave

Existem pontos de referência para o nivelamento da aeronave no solo. Estes pontos são determinados pelo fabricante e são indicados nas Especificações da Aeronave.

O procedimento mais comum de nivelamento é executado, colocando-se um nível de bolha em pontos determinados na estrutura da aeronave.

Algumas aeronaves possuem escalas especiais de nivelamento, construídas na estrutura da célula.

Essas escalas são usadas com um prumo para nivelar a aeronave longitudinal e lateralmente.

Pontos de Pesagem

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave, o ponto sobre a balança, na qual o peso está concentrado, é chamado de ponto de pesagem.

Ao se fazer a pesagem de aeronaves leves e médias, as rodas são normalmente colocadas sobre as balanças.

Isto significa que o ponto de pesagem é de fato o mesmo ponto obtido ao se esticar uma linha verticalmente ao longo da linha de centro do eixo, até atingir a balança.

Outros pontos estruturais, capazes de suportar a aeronave, tais como os pontos de apoio dos macacos na longarina principal, também podem ser usados se o peso da aeronave estiver apoiado nos pontos de apoio dos macacos.

Os pontos de pesagem devem ser indicados com clareza nos registros de peso e balanceamento da aeronave.

Peso de Combustível Zero

O peso de Combustível Zero é o peso máximo permissível de uma aeronave carregada sem combustível. No peso de combustível está incluído o peso da carga, dos passageiros e da tripulação. Todos os pesos que excederem o peso de combustível zero, devem consistir de combustível utilizável.

Combustível Mínimo

O termo combustível mínimo, não deve ser interpretado como a quantidade mínima de combustível necessária para voar uma aeronave. Combustível mínimo, tal como aplicado em peso e balanceamento, é a quantidade que deve ser apresentada no relatório de peso e balanceamento, quando a aeronave é carregada para uma verificação de condição extrema.

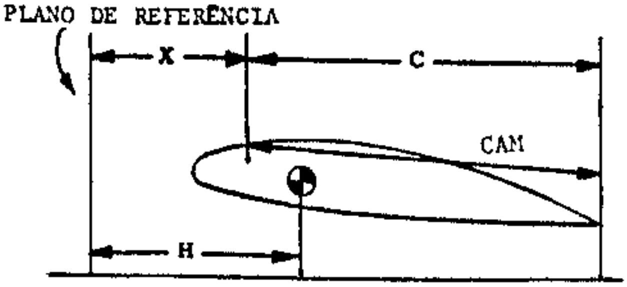
Carga de combustível mínimo, para uma aeronave pequena, com motor convencional, para fins de balanceamento, é baseada na potência do motor. Ela é calculada em termos de potência máxima, exceto para decolagem, e é utilizada quando a carga de combustível tem que ser reduzida para a obtenção do carregamento mais crítico, no limite do c.g., que estiver sendo investigado. Duas fórmulas podem ser utilizadas:
Fórmula 1:

Combustível mínimo = 1/12 galões por cavalo de potência.
hp x 1/12 x 6 lbs.
1200 x 1/12 x 6 = 600 libras de combustível.

Fórmula 2:
Combustível mínimo = 1/2 lb. por cavalo de potência do motor.
hp x 1/2 = combustível mínimo.
1200 x 1/2 = 600 libras de combustível.

Essa será a menor quantidade de libras de combustível, necessária para a verificação do peso dianteiro ou traseiro.

Para as aeronaves com motor a turbina, a carga de combustível mínimo é especificada pelo fabricante da aeronave.



H = Distância entre o plano de referência e o CGPV = 170 polegadas

X = Distância entre o plano de referência e o bordo de ataque da CAM = 150 polegadas.

C = Comprimento da CAM = 80 polegadas.

c.g. em porcentagem da CAM:

$$\frac{H-X}{C} \text{ x } 100\% \text{ da CAM} = \frac{170-150}{80} \text{ x } 100 =$$

$$\frac{20}{80} \text{ x } 100 = 25\%$$

Figura 3-5 Cálculo da Porcentagem da CAM.

A localização do tanque de combustível, em relação ao limite do c.g. afetado pela computação, determina a utilização do combustível mínimo.

Por exemplo, ao se fazer uma verificação do peso dianteiro, se os tanques de combustíveis estiverem localizados adiante do limite dianteiro do c.g., eles são considerados como se estivessem cheios.

Se eles estiverem localizados para trás do limite dianteiro do c.g., eles devem ser considerados como se estivessem vazios.

Se a quantidade mínima de combustível necessária para uma certa aeronave exceder a capacidade dos tanques localizados, adiante do limite dianteiro do c.g., o excesso de combustível deverá ser colocado nos tanques que estiverem para trás do limite dianteiro do c.g.

Ao se fazer a verificação de um peso dianteiro, as condições de carregamento de combustível são opostas àquelas usadas para a verificação dianteira.

Óleo Total

O óleo total é a quantidade de óleo, apresentada como a capacidade de óleo nas Especificações da Aeronave.

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave, o tanque de óleo poderá conter a quantidade de galões de óleo especificada, ou pode ser drenado.

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave com o tanque de óleo cheio, o peso do óleo deve ser subtraído da leitura obtida para se chegar ao peso vazio real.

O relatório de peso e balanceamento deve indicar se os pesos incluem o óleo ou se o óleo foi drenado.

Tara

A tara inclui os pesos de todos os itens extras; tais como macacos e calços, sobre a plataforma da balança de pesagem; exceto o peso do item que estiver sendo pesado.

O peso desses itens, quando incluídos na leitura da balança, deve ser deduzido para se obter o peso real da aeronave.

PROCEDIMENTOS DE PESAGEM DA AERONAVE

Antes de iniciar o estudo do procedimento de pesagem da aeronave, ou antes de tentar fazer a pesagem real de uma aeronave, é necessário familiarizar-se com as informações de peso e balanceamento existentes nas Especificação da Aeronave ou nas folhas de Dados de Certificação de Tipo.

A especificação para aeronave EMB-200 (IPANEMA), foi reproduzida integralmente na figura 3-6.

Alguns itens precisam de explicação; os outros são auto-explicativos.

A designação "L1P" é lida como "Avião Monomotor Convencional", conforme classificação baseada na tabela abaixo:

A - Anfíbio
L - Avião
S - Hidroavião
H - Helicóptero
LO e LOD - Planador

1 - Monomotor
2 - Bimotor
3 - Trimotor
4 - Quadrimotor

P - Convencional
T - Turboélice
J - Jato

Uma vez que o plano de referência e os meios de nivelamento estão diretamente ligados ao peso e balanceamento, eles devem ficar entre os primeiros itens consultados ao se fazer o planejamento da operação de balanceamento.

Embora a localização e o tipo de trem de pouso não sejam mostrados na figura 3-6, estas informações são apresentadas na Especificação da Aeronave, nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo e no Manual de Manutenção.

A localização das rodas tem um significado importante, uma vez que possa ser usado como uma duplicação da verificação das medidas realmente tomadas, ao se fazer a pesagem.

Pesagem da Aeronave

A pesagem de uma aeronave é uma fase muito importante de sua manutenção e, portanto, deve ser executada com precisão. Uma preparação bem feita economiza tempo e evita erros.

Para começar, monte todos os equipamentos tais como:

1. Balanças, equipamentos de içamento, macacos e equipamentos de nivelamento.

2. Calços e sacos de areia para manutenção da aeronave sobre as balanças.

3 Régua, nível de bolha, prumos, giz e uma trena.

4 Especificações aplicáveis da aeronave; e os formulários de computação de peso e balanceamento.

Se possível, a aeronave deve ser pesada em um hangar fechado, onde não haja corrente de ar que possa causar leituras incorretas das balanças.

A pesagem ao ar livre é permissível, se o vento e a umidade estiverem em níveis negligenciáveis.

Preparação da Aeronave para Pesagem

Devemos drenar o sistema de combustível até que a indicação de quantidade seja zero, com a aeronave em atitude nivelada.

Se for deixada qualquer quantidade de combustível nos tanques, o peso da aeronave será maior e todos os demais cálculos de carga útil e de balanceamento serão afetados.

Somente o combustível não utilizável (combustível residual) é considerado como sendo parte do peso vazio da aeronave.

As tampas dos tanques de combustível devem estar colocadas em seus lugares, ou tão próximo quanto possível deles, de modo que a distribuição de peso seja correta.

Em casos especiais a aeronave pode ser pesada com os tanques cheios de combustível, desde que se disponha de meios a determinar o peso exato do combustível.

Sempre é bom consultar as instruções do fabricante da aeronave para saber se ela deve ser pesada com os tanques de combustível cheios ou vazios.

Se possível, drenar todo o óleo do reservatório.

O sistema deve ser drenado com todas as válvulas de dreno abertas. Nestas condições, a quantidade de óleo que permanecer nos tanques, nas linhas ou no motor, será considerada como óleo residual e, será incluída no peso vazio.

Se a drenagem for impraticável, os tanques de óleo devem ser completamente cheios.

A posição de itens, tais como spoilers, slats, flapes e sistemas de rotor de helicópteros é um fator importante na pesagem das aeronaves.

Não esquecer de consultar sempre as instruções do fabricante para se determinar a posição correta desses itens

MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA
DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL

ESPECIFICAÇÃO DE AERONAVE Nº EA - 7104

Detentor do CHT:
INSTRUTOR AERONÁUTICA NEIVA S/A
Rua Nossa Senhora de Fátima, 360 - Caixa Postal 10 - 18600 - BOTUCATU – SP

EA - 7104 -5
FOLHA 1
NEIVA

EMB-200
EMB-200A
EMB-201
EMB-201A
EMB-202
NOVEMBRO 1992

MODELO EMB-200 (IPANEMA), HOMOLOGADO EM DEZEMBRO DE 1971.

MOTOR - 1 Lycoming 0-540-H2B5d

COMBUSTÍVEL - Gasolina de aviação, mínimo de 100/130 octanas.

LIMITES DO MOTOR - 260 BHP a 2700 RPM (N.M.) para todas as operações.

HÉLICES E SEUS LIMITES - 1 Mc Cauley 1A-200/FA8452. Diâmetro: 2130mm (não é permitida redução no diâmetro).

PASSEIO DO C.G. VAZIO - Não há.

PESO MÁXIMO - 1550 kgf

NÚMERO DE ASSENTOS - 1 (entre + 1400mm e + 1600 mm).

CARGA MÁXIMA NO TANQUE DE PRODUTOS - 550 kgf a + 252mm.

LIMITES DE OPERAÇÃO - (Velocidades calibradas). Velocidade nunca exceder (Vne): 360 km/h (165 nós) (190 mph). Velocidade cruzeiro estrutural máxima (Vno): 241 km/h (130 nós) (150 mph). Velocidade máxima de manobra (VA): 225 km/h (121 nós) (140 mph). Velocidade máxima com flapes abaixados (Vfe): 160 km/h (87 nós) (99 mph).

PASSEIO DO C.G. - + 272mm a + 328 mm para 1550kgf. + 272mm a + 352mm para 950 kgf. Variação linear os pontos considerados.

CAPACIDADE DE COMBUSTÍVEL - 230 litros (2 tanques de 115 litros a + 284mm).

CAPACIDADE DE ÓLEO - 11,35 litros no reservatório do motor (- 1380 mm).

ALTITUDE MÁXIMA DE OPERAÇÃO - 3500 M

NÚMERO DE SÉRIE DO FABRICANTE - 200001 até 200049.

Figura 3-6 Exemplo de Especificação de Aeronave.

A menos que seja especificado de outra forma, nas Especificações da Aeronave ou nas instruções do Fabricante, os reservatórios e sistemas hidráulicos devem estar cheios.

Os reservatórios de água potável e os tanques dos lavatórios devem ser drenados; e os tanques de óleo dos dispositivos de acionamento de velocidade constante devem ser enchidos. A verificação da aeronave deve ser feita a fim de nos certificarmos de que todos os itens incluídos no peso vazio homologado foram instalados no lugar correto. Também devemos remover os itens que não são normalmente levados em vôo, e verificar o compartimento de bagagem para que nenhum objeto permaneça em seu interior.

Reinstalar todas as portas de acesso, tampas dos reservatórios de óleo e dos tanques de combustível, tampas da caixa de junção, capôs, portas, saídas de emergência e outras peças que tenham sido removidas.

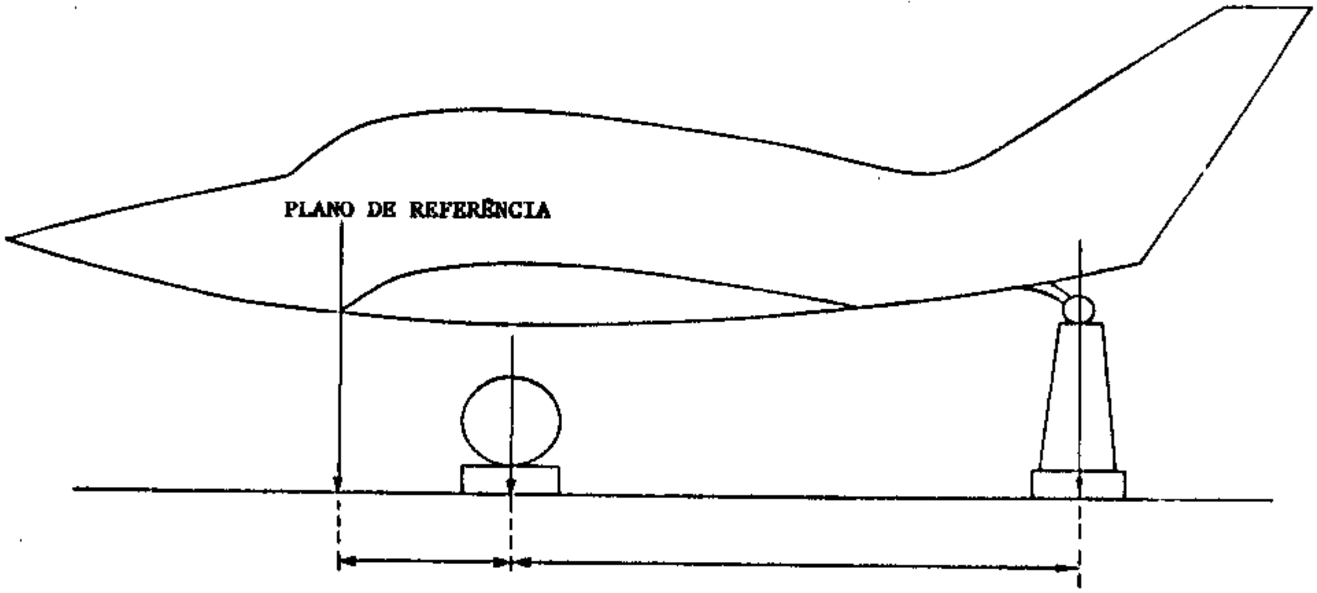


Figura 3-7 Distância entre o Ponto de Pesagem Principal, Plano de Referência e o Ponto de Pesagem Traseiro.

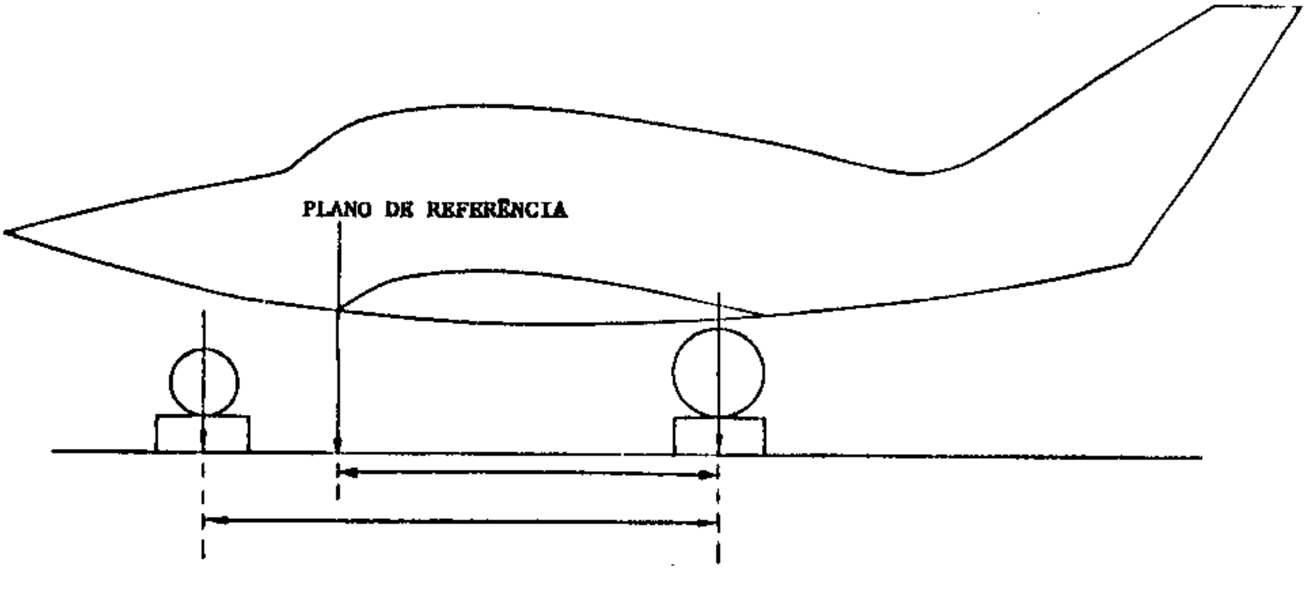


Figura 3-8 Distância entre o Ponto de Pesagem Principal, Plano de Referência e o Ponto de Pesagem Localizado no Nariz

Todas as portas, janelas e capotas corrediças devem estar em sua posição normal de vôo. Remova da aeronave qualquer excesso de sujeira, óleo, graxa e umidade.

Calibre adequadamente zere e utilize as balanças de pesagem conforme as instruções do fabricante. Algumas aeronaves são pesadas com as rodas fora das balanças, mas com as balanças colocadas nos pontos de colocação dos macacos, ou em pontos especiais de pesagem.

Independentemente das previsões existentes para colocação da aeronave sobre macacos ou sobre balanças, todo cuidado para que ela não caia, é imprescindível, senão assim a aeronave ou o equipamento ficarão danificados.

Ao se fazer a pesagem da aeronave com as rodas colocadas sobre as balanças, freios soltos para reduzir a possibilidade de uma leitura incorreta provocada por cargas laterais sobre as balanças.

Todas as aeronaves possuem pontos ou alças de nivelamento, e todo cuidado deve ser tomado para se fazer o nivelamento da aeronave, especialmente ao longo de seu eixo longitudinal.

Nas aeronaves leves de asa fixa, o nivelamento lateral não é tão crítico quanto nas aeronaves mais pesadas. Entretanto, deve-se fazer um esforço para nivelar os aviões leves em torno de seu eixo lateral. A precisão do nivelamento longitudinal é de suma importância.

Medições

A distância entre o plano de referência e a linha de centro do ponto de pesagem principal; e a distância entre o ponto de pesagem principal; e a linha de centro do ponto de pesagem da cauda (ou do nariz), devem ser conhecidas para que se possa determinar o c.g., relativo ao ponto de pesagem principal e o plano de referência.

Um exemplo de medição da distância entre o ponto de pesagem principal e o plano de referência; e da distância entre o ponto de pesagem principal e o ponto de pesagem da cauda; é apresentado na figura 3-7. A figura 3-8 apresenta um exemplo de medição das distâncias entre o ponto de pesagem principal e o plano de referência; e o ponto de pesagem principal e o trem de nariz.

Essas distâncias podem ser calculadas, usando-se as informações fornecidas nas Especificações da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo, entretanto sempre será necessário determiná-las através de medições.

Depois que a aeronave for colocada sobre as balanças, e nivelada (Fig. 3-9), coloca-se os prumos no plano de referência no ponto da pesagem principal e no ponto de pesagem de cauda, ou no nariz, de modo que as pontas dos prumos toquem o piso.

Uma marca de giz no piso, no ponto de contato deve ser feita. Se desejável, pode-se traçar uma linha com giz, unindo as marcas que foram feitas. Isto fornecerá um padrão claro das distâncias dos pontos de pesagem e suas localizações em relação ao plano de referência.

Registramos os pesos indicados em cada balança, e fazemos as medições necessárias com a aeronave nivelada. Depois que todos os pesos e distâncias forem medidos e registrados, a aeronave pode ser removida das balanças.

Pesar a tara, e deduzir seu peso da leitura da balança em cada ponto de pesagem, onde ela esteja envolvida.

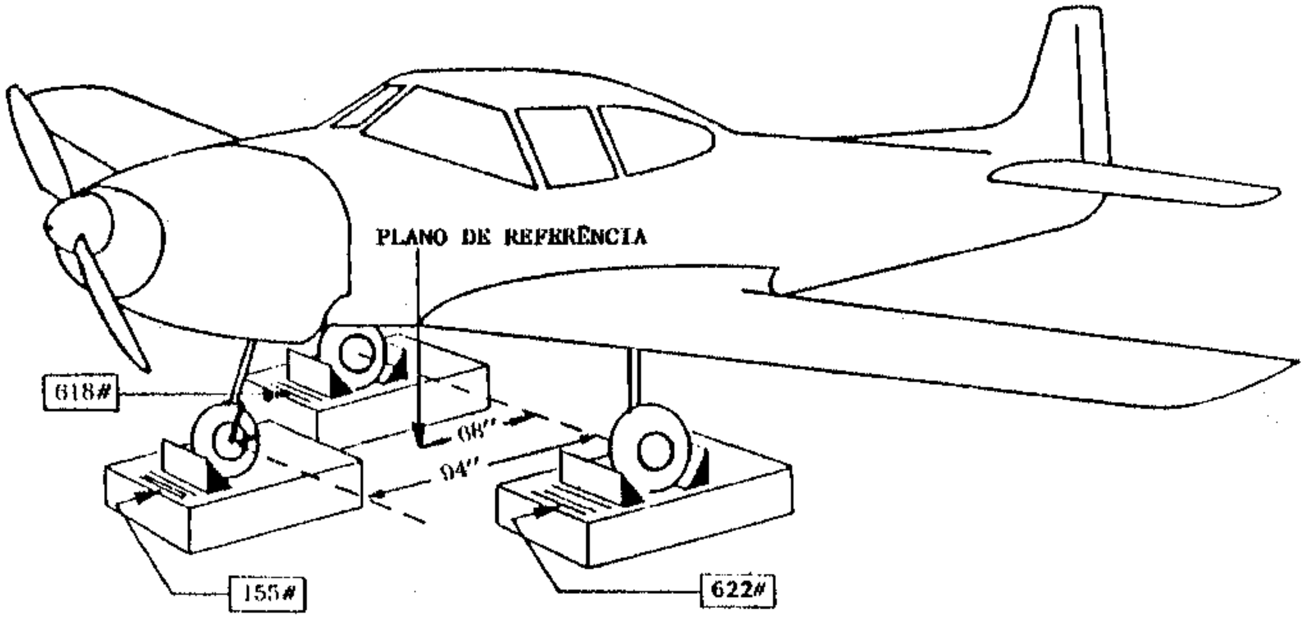


Figura 3-9 Pesagem de uma aeronave com a utilização de Balanças de Plataforma.

Cômputo do Balanceamento

Para se obter o peso bruto e a localização do c.g. de uma aeronave carregada, primeiramente determinamos o peso vazio e a localização do CGPV.

Depois que estes dados são conhecidos, fica mais fácil o cômputo do efeito do; combustível, passageiros, carga e dos pesos consumíveis; na medida em que eles forem adicionados. Isto é feito, somando todos os pesos e momentos destes itens adicionais, e refazendo o cálculo do c.g. para a aeronave carregada.

As leituras das balanças e as medidas registradas no formulário de exemplo apresentado na figura 3-10 fornecem uma base para os exemplos de cômputo de peso vazio e c.g. do peso vazio.

Peso Vazio

O peso vazio de uma aeronave é determinado, adicionando-se o peso líquido em cada ponto de pesagem. O peso líquido é a leitura real da balança menos a tara.

Ponto de Balança de Pesagem	Leitura da Balança	Tara (lbs)	Peso Líquido (lbs)
Trem Principal Esquerdo	622,00	-5,00	617,00
Trem Principal Direito	618,00	-4,00	614,00
Trem de Nariz	155,00	-3,00	152,00
Total			1.383,00

Isto nos dá o peso da aeronave, tal como pesado.

C.G. do Peso Vazio

A localização do C.G. é determinada através do uso progressivo de fórmulas. Primeiramente calculamos os momentos totais através da fórmula seguinte:

.

Momento = Braço x Peso

Ponto de Pesagem	Peso Líquido (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lb.pol.)
Trem Principal Esquerdo	617,00	68"	41956,0
Trem Principal Direito	614,00	68"	41752,0
Trem de Nariz	152,00	-26"	-3592,0
Total	1383,0		79756,0

Depois dividimos a soma dos momentos pelo total de pesos envolvidos:

$$c.g. = \frac{Momento\,total}{Peso\,total} = \frac{79756,0}{1383} = 57,67\,pol.$$

Conseqüentemente, o c.g., tal como pesado, está a 57,67 polegadas do plano de referência.

Uma vez que a aeronave foi pesada com os tanques de óleo cheios, será necessário remover o óleo para se obter o peso vazio e c.g. do peso vazio.

ITEM	Peso Líquido	Braço	Momento
Aeronave total como pesada, menos 8 galões de óleo a 7,5 libras por galão.	1383,0 -60,0	57,67 -30,0	79756,0 1800,0
Peso vazio e momento da aeronave	1323,0		81556,0

Usando novamente a fórmula:

$$c.g. = \frac{Momento\,total}{Peso\,total} = \frac{81556,0}{1323} = 61,64\,pol.$$

O CGPV está localizado a 61,64 polegadas para trás do plano de referência

FORMULÁRIO DE PESAGEM

FABRICANTE: ROTARY MODELO: A SÉRIE: 0242 Nº 411

LOCALIZAÇÃO DO PLANO DE REFERÊNCIA - Bordo de Ataque da Asa na raiz.

Aeronave pesada com total de óleo.

1. O ponto de pesagem principal está localizado (-..." adiante) (+68"para trás) do plano de referência.
2. O ponto de pesagem da cauda ou do nariz está localizado a (-26" adiante) (+..." para trás) do plano de referência.

	Ponto de Pesagem	Leitura da Balança	- Tara	= Peso Líquido	+ Braço	= Momento
3.	Trem de Pouso Principal Esquerdo	622,00	- 5,00	617,00	68”	41.956
4.	Trem de Pouso Principal Direito	618,00	- 4,00	614,00	68”	41.752
5.	Sub-Total	1.240,00	- 9,00	1.231,00	68”	83.708
6.	Bequilha ou Trem de Nariz	155,00	- 3,00	152,00	26”	- 3.952
7.	Total como Pesado	1.395,00	- 12,00	1.383,00	57,67	79.756

Espaço reservado para a listagem de itens quando a aeronave não é pesada vazia.

	ITEM	Peso Líquido	Braço	Momento
8.	óleo - 8 galões a 7,5 libras por galão	- 60	- 30	1.800
9.	Peso Vazio e C.G. da Aeronave	1.323	61.64”	81.556

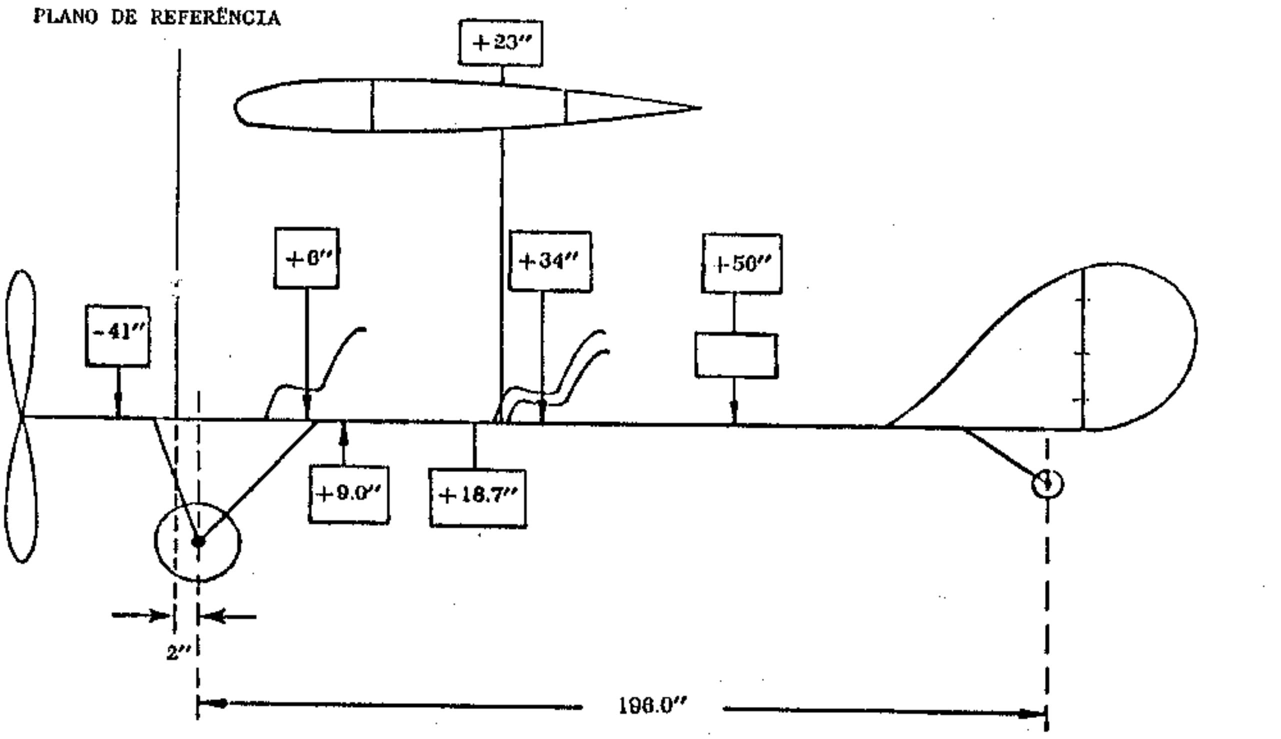
Peso Bruto: 1773 libras

Carga útil: 450 libras

Computado por: Frank Stein

Nº da Carteira do DAC: CAT I 171

Figura 3-10 Exemplo de Formulário de Pesagem.



Peso na bequilha = 50 libras
Braço da bequilha = 198.0"
Peso vazio(sem óleo) = 950 libras
Localização do plano de referência = Bordo de ataque da asa
Motor = 100 HP
Passeio do c.g. = (+9,0")a(+18,7")

Capacidade de combustível = 40 gal. a + 23"
Número de assentos = 3(uma a 6" e dois a 34")
Peso bruto máximo = 1775 libras
Capacidade de óleo = 8 quartos a - 41"
Máximo de bagagem = 50 libras a + 56"

Nota: O piloto deste avião pode sentar-se tanto no assento dianteiro como no assento traseito.

Figura 3-11 Diagrama Esquemático para a Verificação de Peso e Balanceamento Dianteiro.

Conforme mostrado nas Especificações da Aeronave, o peso bruto máximo permissível é de 1773 lbs.

Subtraindo o peso vazio da aeronave deste número, determina-se a carga útil como sendo de 450 libras.

CONDIÇÕES EXTREMAS DE PESO E BALANCEAMENTO

As condições extremas do peso e balanceamento, representam as posições dianteira e traseira máximas do c.g. da aeronave.

Uma aeronave tem certos pontos fixos, dianteiro e traseiro, além dos quais o c.g. não deve passar em nenhum momento durante o vôo.

Deve-se fazer uma verificação para certificar-se de que o c.g. não ultrapassará os limites quando a tripulação, passageiros, carga e pesos consumíveis são adicionados ou removidos. Se estes limites, forem ultrapassados e a aeronave for voada nesta condição, ela poderá sofrer estabilidade insuficiente com a conseqüente dificuldade de controlá-la.

As verificações de carregamento são uma tentativa de carregar uma aeronave, de modo a criar a condição de balanceamento mais crítica, e ainda mantê-la dentro dos limites do c.g. do projeto da aeronave.

Deve-se notar que, quando o CGPV cai dentro da faixa de CGPV, não é necessário executar uma verificação de peso e balanceamento dianteiro ou traseiro.

Em outras palavras; é impossível carregar uma aeronave, de modo a exceder os limites do c.g., desde que o carregamento padrão e arranjo dos assentos sejam utilizados.

Verificação de Peso e Balanceamento Dianteiro

Para a execução desta verificação, serão necessárias as informações seguintes:

1. O peso, braço e momento da aeronave vazia.
2. Os pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados adiante do limite dianteiro do c.g.
3. Pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados para trás do limite dianteiro do c.g.

O exemplo, apresentado na figura 3-11, introduz um método de condução da verificação de condição extrema. Esse método facilita visualizar exatamente onde os pesos dos vários arranjos de carregamento estão distribuídos, e como eles afetam a localização do c.g.

Utilizando os dados apresentados na figura 3-11, determine se a aeronave pode ser carregada, de modo a fazer com o que o c.g. ultrapasse os limites.

Passo 1: Carregue o avião da seguinte forma:

Óleo - 8 quartos a -41 pol. = (15 lbs) (41 pol.)
Piloto - 170 lbs a +6 pol. = (170 lbs) (+6 pol.)
Mínimo de combustível - 50 lbs. a +23 pol. = (50,0 lbs) (+23 pol.)

Sem passageiros
Sem bagagem

Encha os tanques de combustível que estiverem adiante do limite dianteiro. Se os tanques de combustível estiverem para trás do limite dianteiro, use o mínimo necessário de combustível.

Passo 2: Totalize todos os pesos e momentos

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	950,00	+12,3	+11685,0
Óleo	15,0	-41,0	-615,00
Piloto	170,0	+6,0	+1020,0
Combustível (Mínimo)	50,0	+23,0	+1150,0
Total	1185,00		13240,0

Os números acima exigem uma consideração cuidadosa.

Observe que cada peso é multiplicado por seu braço, para obter seu momento. Todos os pesos são adicionados, de modo a obter o peso total de 1185 lbs. Entretanto, ao se fazer o somatório dos momentos, todos os momentos positivos são somados:

$$\begin{array}{r} 11685,0 \\ 1020,0 \\ \underline{1150,0} \\ 13855,0 \end{array}$$

O momento negativo de -615,0 é subtraído da soma dos momentos positivos.

$$\begin{array}{r} 13855,0 \\ \underline{-615,0} \\ 13240,0 \end{array}$$

Passo 3 : Encontre a posição mais dianteira do c.g., dividindo os momentos totais pelo peso total

13240,0

$$- \qquad \frac{13240,0}{1185,0} = 11,17\,pol.$$

Uma vez que o momento total é positivo, a resposta deve ser positiva. Portanto, a posição dianteira extrema do c.g. está localizada a 11,17 polegadas para trás do plano de referência.

Para essa aeronave, o limite dianteiro do c.g. está a 9,0 polegadas para trás do plano de referência; portanto é fácil observar que ela pode voar com este arranjo de carga.

Verificação do Peso e Balanceamento Traseiro

Para nos certificarmos de que o peso máximo e o limite traseiro do c.g. não estejam excedidos, as informações seguintes são necessárias:

1. Peso, braço e momento da aeronave vazia.

2. Pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados para trás do limite traseiro do c.g.
3. Pesos, braços e momentos mínimos dos itens de carga útil que estejam localizados adiante do limite traseiro do c.g.

A posição mais traseira do c.g. é encontrada repetindo-se os três passos seguidos ao se fazer a verificação do c.g. mais dianteiro. Exceto que, desta vez a aeronave será carregada de modo a ficar com a cauda pesada.

Passo 1: Carregue o avião de modo a ficar com a cauda pesada
Óleo - 8 quartos a -41 pol. = (15 lbs) (-41 pol.)
Piloto - 170 lbs a +6 pol. = (170 lbs) (+6 pol.)
Combustível (máximo) -40 galões a +23 pol. = (240 lbs) (+23 pol.)
Passageiros - Dois a 170 lbs cada = 340 lbs a +34 pol. = (340 lbs) (+34 pol.)
Bagagem (máximo) - 50 lbs a +56 pol. = (50 lbs) (+56 pol.)

Encher todos os tanques de combustível que estiverem para trás do limite traseiro. Se os tanques de combustível estiverem adiante do limite traseiro, usamos a quantidade mínima de combustível necessária.

Passo 2: Totalize todos os pesos e momentos conforme mostrado aqui:

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	950,00	+12,3	+11685,o
Óleo	15,0	-41,0	-615,00
Piloto	170,0	+6,0	+1020,0
Combustível (máximo)	240,0	+23,0	+5520,0
Passageiros (dois)	340,0	+34,0	+11560,0
Bagagem (máximo)	50,0	+56,0	+2800,0
Total	1765,00		31970,0

Passo 3: Encontre a posição mais traseira do c.g., dividindo os momentos totais pelo peso total. O c.g. mais traseiro quando carregado conforme mostra a figura 3-11:

$$\frac{31970{,}0}{1765}=18{,}11\,pol.$$

O limite traseiro do c.g., para esta aeronave, é de +18,7 polegadas para trás do plano de referência; portanto ela pode voar com segurança neste arranjo de carga.

INSTALAÇÃO DE LASTRO

O lastro é usado para se obter o balanceamento do c.g. desejado. Normalmente ele fica localizado, tanto para trás como para a frente, para manter o c.g. dentro dos limites usando-se uma quantidade mínima de peso.

O lastro que é instalado para compensar a remoção ou instalação de equipamentos, e que deve permanecer na aeronave por períodos longos de tempo, é chamado de lastro permanente.

Eles podem ser pintados de vermelho, com a seguinte inscrição: **LASTRO PERMANENTE - NÃO REMOVA.**

Na maioria dos casos, a instalação de lastro permanente resulta em um aumento no peso vazio da aeronave.

Os lastros removíveis ou temporários são usados para satisfazer certas condições de carregamento, que podem variar de tempos em tempos.

Normalmente, eles possuem a forma de sacos de esferas de chumbo, sacos de areia, ou outro material, e não são instalados de maneira permanente.

Os lastros temporários devem ter a inscrição: LASTRO _____LIBRAS. SUA REMOÇÃO EXIGE UMA VERIFICAÇÃO DO PESO E BALANCEAMENTO.

O compartimento de bagagem é, normalmente, o lugar mais conveniente para a instalação de lastros temporários.

Os lugares designados para transporte de lastro devem ser adequadamente projetados, instalados e marcados.

O manual de operação da aeronave deve conter as instruções referentes à colocação correta de lastros removíveis, sob todas as condições de carregamento, para as quais, tal lastro seja necessário.

Controle da Posição do c.g. com Lastro

A figura 3-12 apresenta um exemplo de aeronave, cujo c.g. excede o limite dianteiro do c.g. sob certas condições de carregamento. A verificação de peso e balanceamento dianteiro, prova que somente com o piloto e o mínimo de combustível, o c.g. dianteiro é excedido.

Verificação do c.g. mais dianteiro

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	1600,0	+15,6	+24960,0
Óleo	22,5	-22,0	-495,00
Piloto	170,0	+10,0	+1700,0
Combustível (Mínimo)	115,0	+18,0	+2070,0
Total	1907,5		28235,0

$$c.g.mais\ diant. = \frac{Momento Total}{Peso Total} = \frac{28235}{1907{,}5} =$$

$$=14{,}8\ polegadas$$

Sem um lastro colocado em algum lugar da parte traseira, para trazer o c.g. para dentro dos limites de +16,5 pol a +20,0 pol., a aeronave não oferece segurança para vôo, com o piloto e com o mínimo de combustível. O problema de determinar, a quantidade de libras necessárias, para deslocar o c.g. para dentro dos limites aprovados, pode ser resolvido com a utilização da fórmula seguinte:

Peso do lastro necessário:

> Peso da aeronave como pesada, multiplicado pela Distância que excedeu os limites, dividido pelo Braço entre a localização do peso variável e o limite afetado.

Inserindo os valores aplicáveis na fórmula:

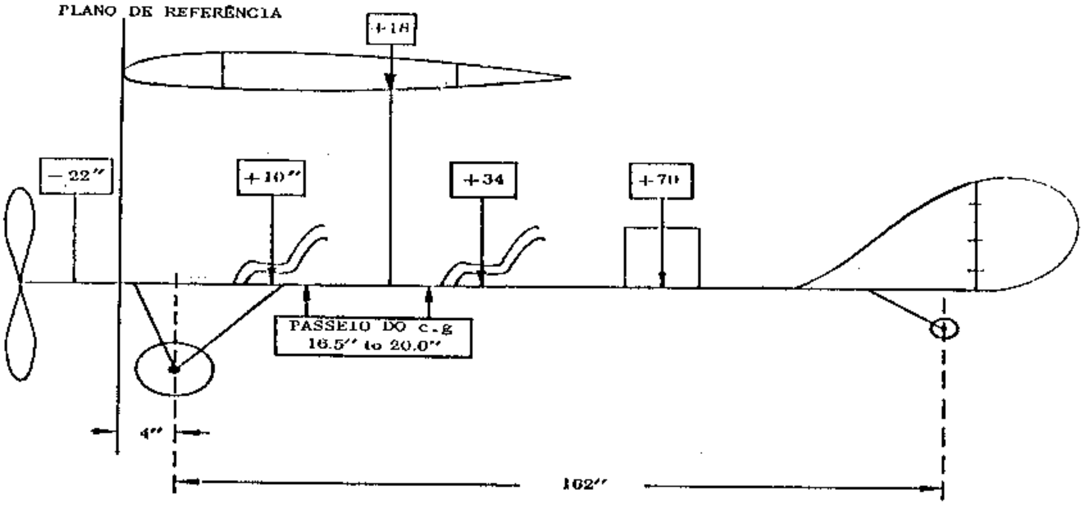
Peso da aeronave como pesada = 1907,5

Distância em excesso do limite = 1,7 pol.
Braço entre a localização do peso variável e o limite afetado = 53,5 pol.

Obtemos o seguinte:

$$\frac{(1907{,}5)(1{,}7)}{53{,}5} = 60{,}6$$ libras é o peso do lastro necessário no compartimento de bagagem.

Quando o resultado do cálculo matemático for uma fração de libra, usamos o valor inteiro, imediatamente superior, como o real peso do lastro. Consequentemente, colocarmos um lastro de 61,0 libras no compartimento de bagagem para que o c.g. fique dentro dos limites com segurança.



Braço da bequilha = 168″
Peso na bequilha = 115 libras
Passeio do c.g. = (+16,5″) a (+20,0)
Capacidade de combustível = 38 galões a 18″ (19 galões em cada asa)
Máximo de bagagem = 100 libras a 70″
Peso bruto máximo = 2620 libras

Peso vazio da aeronave(sem óleo) = 1600 libras
Plano de referência = Bordo de ataque da asa
Motor = 230 HP
Capacidade de óleo = 12 quartos a − 22″
Número de assentos = 4(dois a + 10 ″ e dois a +34″)
Nota: Comandos somente no assento dianteiro.

Figura 3-12 Exemplo de Aeronave cujo c.g. excede o Limite Dianteiro do c.g.

Deve-se fazer uma verificação final do peso e balanceamento dianteiro, para provar que a aeronave pode voar com segurança depois da colocação do lastro de 61,0 libras, no compartimento de bagagem. Colocamos um letreiro de modo que fique bem evidente na cabine, para que possa ser visto pelo piloto ou quem de direito. Esse letreiro deve indicar: PARA VÔO SOLO, CARREGUE PELO MENOS 61,0 LIBRAS NO COMPARTIMENTO DE BAGAGEM.

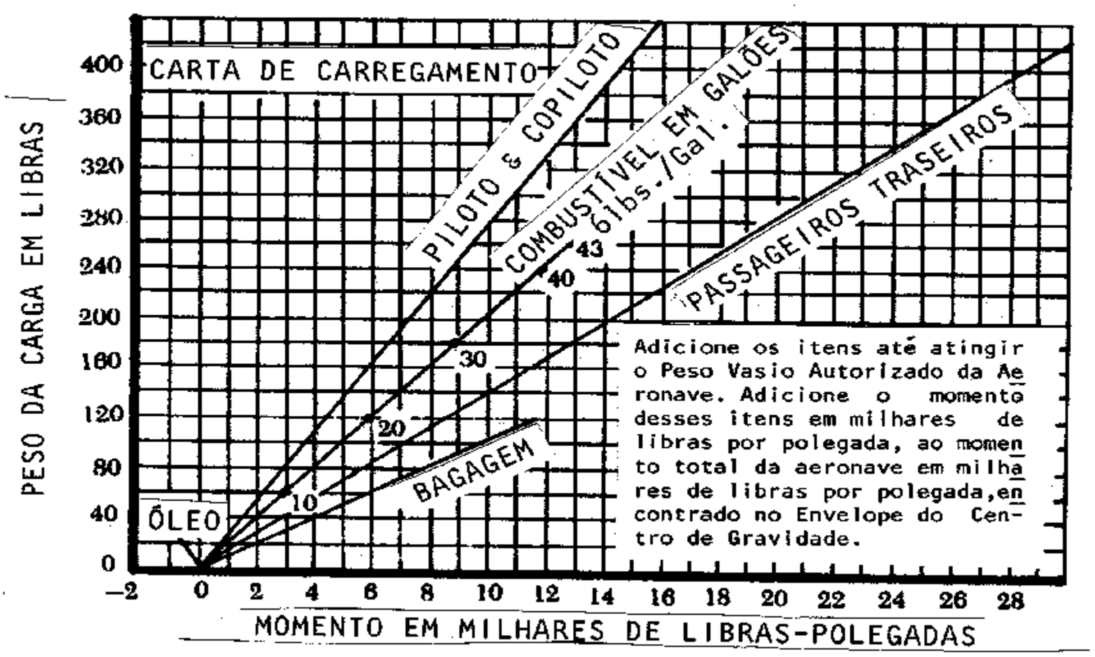
Condições de carregamento máximo

Uma verificação do peso e balanceamento traseiro, determinará se a aeronave apresentada na figura 3-12 pode voar com segurança, quando totalmente carregada, sem exceder o limite traseiro do c.g. ou seu peso máximo.

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	1600,0	+15,6	+24960,0
Óleo	22,5	-22,0	-495,0
Piloto	170,0	+10,0	+1700,0
Combustível (máximo)	228,0	+18,0	+4140,0
Passageiro	170,0	+10,0	+1700,0
Passageiros (dois)	340,0	+34,0	+11560,0
Bagagem (máximo)	100,0	+10,0	+7000,0
Total	2630,5		50529,0

$$c.g. mais\, traseiro = \frac{Momento\, total}{Peso\ total} = \frac{50529,0}{2630,0} =$$

$$= 19,21\, polegadas.$$



Adicione os itens até atingir o Peso Vasio Autorizado da Aeronave. Adicione o momento desses itens em milhares de libras por polegada, ao momento total da aeronave em milhares de libras por polegada, encontrado no Envelope do Centro de Gravidade.

Figura 3-13 Carta de Carregamento Típica.

Quando a aeronave está totalmente carregada, o c.g. está bem dentro do passeio do c.g.; entretanto o peso bruto máximo permissível está com um excesso de 10,5 libras.

Neste caso, há várias alternativas que podem ser usadas para resolver esta condição de sobrecarga, sem reduzir, consideravelmente, a carga paga ou o alcance assim:

Alternativa nº 1 - Reduzir a bagagem em 10,5 libras.

Alternativa nº 2 - Reduzir o combustível em 10,5 libras ou 1,75 galões.

Alternativa nº 3 - Reduzir a carga de passageiros por um passageiro.

Cada alternativa apresentada acima, necessitará de uma marcação que indique o arranjo de carga, que assegure o peso bruto e o c.g. dentro dos limites especificados.

Compute a nova posição do c.g. para cada arranjo de carregamento alternativo.

CARTAS DE CARREGAMENTO E ENVELOPES DO C.G.

O sistema de computação de peso e balanceamento, comumente chamado de sistema de envelope do c.g. e carta de carregamento, é um método excelente e rápido para se determinar a localização do c.g. para os vários arranjos de carregamento.

Esse método pode ser aplicado à aeronave de qualquer fabricação e modelo.

Os fabricantes de aeronaves, usam esse método de computação, de peso e balanceamento, para preparar cartas similares àquelas apresentadas (figuras 3-13 e 3-14) para cada modelo e fabricação de aeronave; quando da homologação original. As cartas tornam-se uma parte permanente dos registros da aeronave.

Juntamente com as cartas, são fornecidos os dados para o braço e momento do peso vazio (número índice), para aeronaves de determinada fabricação e modelo.

A carta de carregamento ilustrada na figura 3-13, é usada para determinar o número índice de qualquer item ou peso, que possa ser envolvido durante o carregamento da aeronave.

Para usar essa carta, encontramos o ponto na escala vertical que representa o peso conhecido. Devemos projetar uma linha horizontal, até interceptar a linha diagonal do peso em questão (isto é, piloto, copiloto, bagagem, etc.). A partir deste ponto, exatamente em baixo, na escala horizontal, o momento ou número índice é lido.

Depois de determinar o momento para cada item de peso, todos os pesos e todos os momentos são somados. Conhecendo o total de pesos e momentos, projetamos uma linha a partir do ponto correspondente no envelope do c.g. apresentado na figura 3-14, e colocamos um ponto na intersecção das duas linhas. Se o ponto estiver dentro das linhas em diagonal, o arranjo do carregamento satisfaz todos os requisitos de balanceamento.

Apresentamos a seguir um cálculo real de peso e balanceamento, usando as cartas das (figuras 3-13 e 3-14). Para este exemplo, suponha que o peso vazio da aeronave seja de 1386,0 libras e o momento seja de 52772,0 libras-polegada. O número índice para o peso vazio da aeronave é desenvolvido, dividindo-se o momento do peso vazio por 1000. Este cálculo nos dá um número índice igual a 52,8 para o momento do peso vazio da aeronave.

Ao carregar a aeronave, determinamos se o c.g. cairá dentro das linhas em diagonal da figura 3-14. Coloque os pesos dos itens e os números índices são colocados de forma ordenada para facilitar a soma.

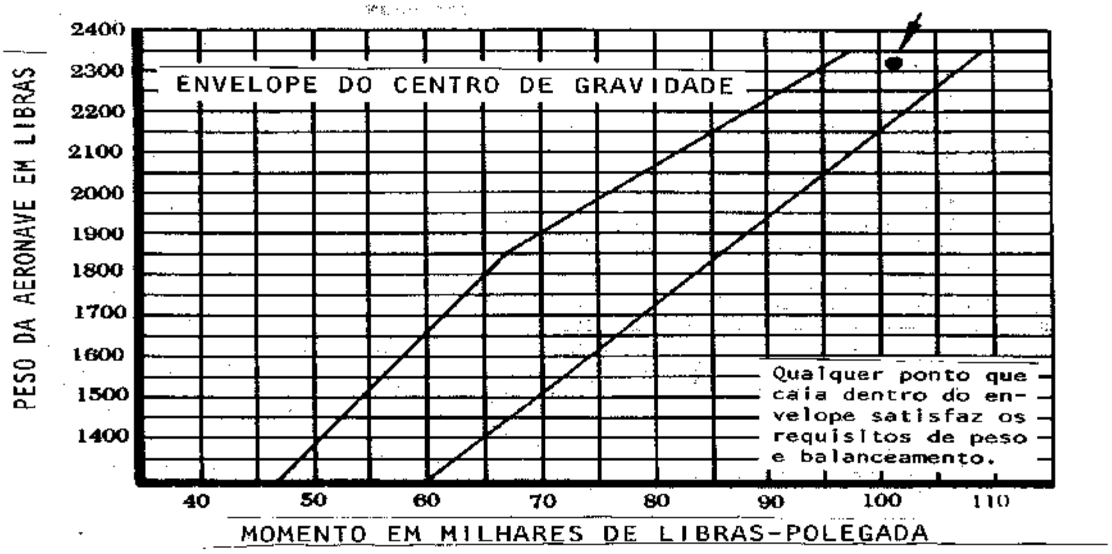


Figura 3-14 Envelope do Centro de Gravidade.

ITEM	Peso (Lbs)	Momento (Milhares Lbs-Pol)
Peso vazio da aeronave	1386,0	52,8
Óleo	19,0	-0,4
Piloto e Copiloto	340,0	12,2
Combustível	245,0	11,8
Passageiro traseiro (dois)	340,0	24,1
Bagagem	20,0	1,9
Total	2350,0	102,4

O peso total da aeronave é de 2350,0 libras, e o momento é de 102,4. Localize este ponto (2350 a 102,4) no envelope do c.g. ilustrado na figura 3-14. Uma vez que o ponto cai dentro das linhas em diagonal, o arranjo de carregamento satisfaz todos os requisitos de peso e balanceamento.

EQUIPAMENTO ELETRÔNICO DE PESAGEM

O equipamento eletrônico de pesagem simplificou muito o procedimento de pesagem de aeronaves grandes e pesadas. A figura 3-15 apresenta um tipo de balança eletrônica. O "Kit" de pesagem completo está contido em uma maleta portátil. Esse "Kit" contém uma trena, prumos, níveis de bolha, escalas, hidrômetros (para especificação da gravidade específica do combustível) e as células de carga.

As células de carga, em verdade, são indicadores de tensão que refletem a carga imposta sobre elas pela aeronave, em termos de variação de voltagem. Esta variação é indicada em uma escala, que é calibrada para apresentar a leitura em libras.

Cada célula de carga é colocada entre o macaco e seu ponto de apoio (ponto de pesagem). Cada célula de carga deve ser balanceada ou "zerada", antes de se aplicar qualquer peso sobre ela.

Depois de completa a operação de pesagem, removemos todo o peso das células, e verificamos se a leitura que elas apresentam é zero. Qualquer desvio deve ser considerado como "desvio do zero da escala" e constitui a tara, quando da utilização de balanças eletrônicas para pesagem. O sentido da variação determina se a tara é adicionada ou subtraída da leitura da balança. Siga sempre as instruções do fabricante da balança que você estiver utilizando.

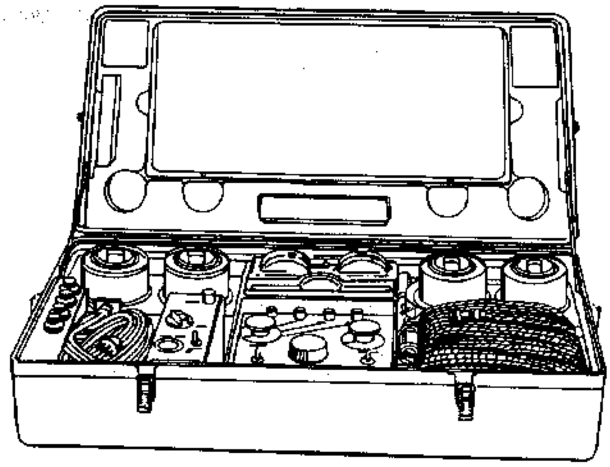


Figura 3-15 Equipamento Eletrônico de Pesagem de Aeronaves.

PESO E BALANCEAMENTO DE HELICÓPTEROS

Os princípios e procedimentos de peso e balanceamento que foram descritos, aplicam-se, de modo geral, aos helicópteros. Cada modelo de helicóptero é homologado para um peso bruto máximo específico. Entretanto, ele não pode ser operado neste máximo em todas as condições

As combinações de grande altitude, temperatura alta e umidade alta, determinam a "altitude de densidade" para um determinado local. Por outro lado, isto afeta de maneira crítica, a flutuação, decolagem, subida, auto-rotação e pouso dos helicópteros.

Um helicóptero pesado suporta menos os choques e cargas adicionais causadas pelo ar turbulento. Quanto maior a carga, menor será a margem de segurança das estruturas, tais como o rotor principal, fuselagem, trem de pouso, etc.

A maioria dos helicópteros tem o passeio do c.g. mais restrito que os aviões. Em alguns casos, esse passeio está dentro de três polegadas. A localização e o comprimento exato do passeio do c.g. é determinado para cada helicóptero; e, normalmente, ele se estende a uma distância curta para a frente e para trás do rotor-principal, ou do centróide de um sistema de rotor duplo.

De maneira ideal, o helicóptero deve ter um balanceamento; com tal perfeição que, a fuselagem permaneça na posição horizontal durante uma flutuação, sendo necessário fazer correções somente para compensar o vento. A fuselagem funciona como um pêndulo suspenso por um rotor.

Qualquer variação, no centro de gravidade, provoca uma variação no ângulo em que o helicóptero está suspenso por este ponto.

Os helicópteros projetados mais recentemente, tem os compartimentos de carga e os tanques de combustível localizados no ponto de balanceamento ou perto deste.

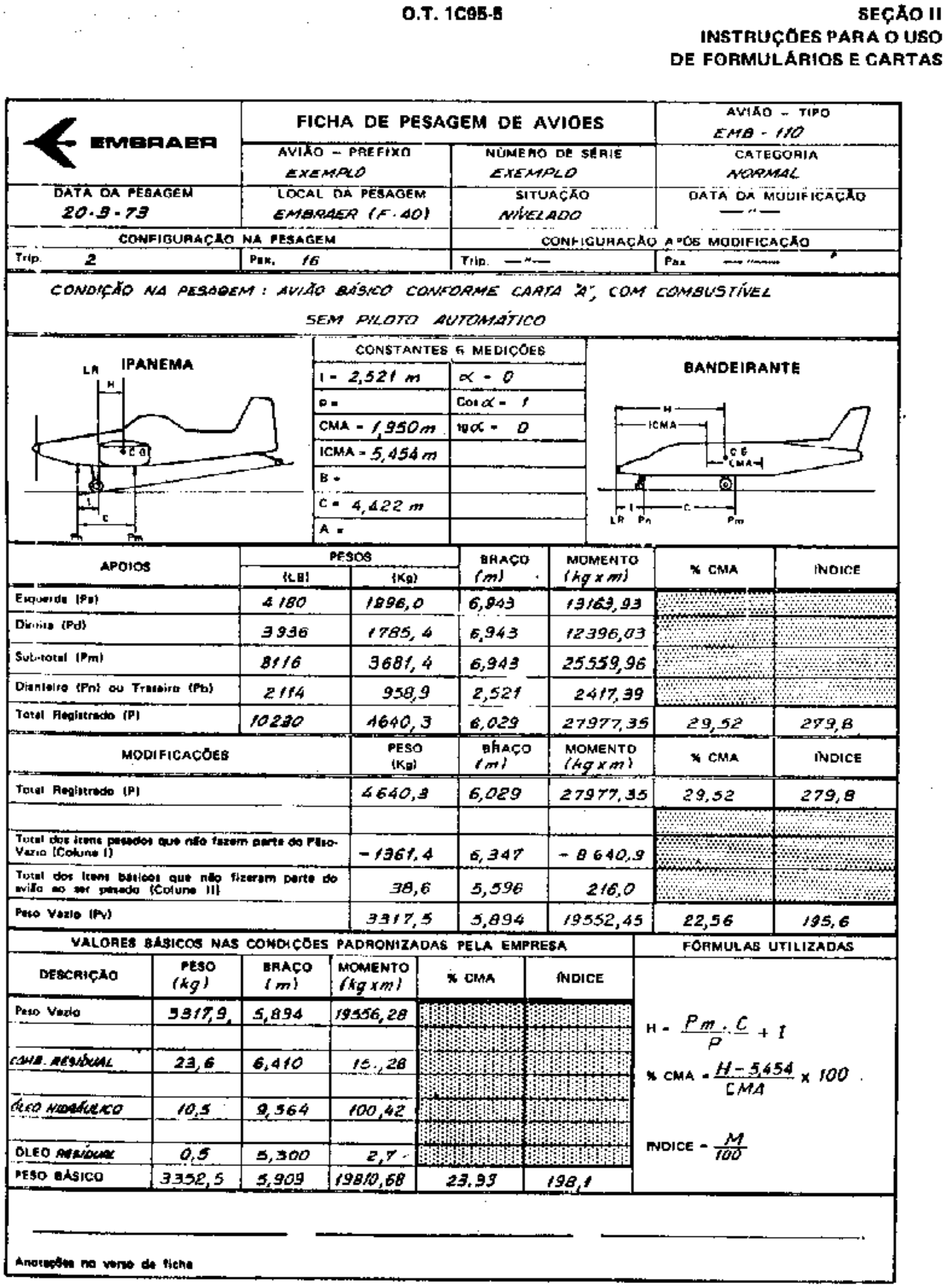
Se o helicóptero não estiver carregado adequadamente, e o c.g. não estiver bem próximo do ponto de balanceamento, a fuselagem não ficará pendurada horizontalmente durante a flutuação.

Se o c.g. estiver muito para trás, o nariz tende a subir, e será necessário um controle cí - clico excessivo para frente, para manter uma flutuação estacionária. Por outro lado, se o c.g.

estiver muito para frente, o nariz tenderá a cair, requerendo um controle excessivo para trás. Em condições extremas de desbalanceamento, mesmo um controle cíclico total para frente ou para trás, ainda será insuficiente para manter o controle. Em caso de transporte de cargas externas, pode-se ter problemas parecidos de balanceamento lateral.

Quando o fabricante entrega o helicóptero, o peso vazio, o c.g. do peso vazio e a carga útil, elas são anotadas, nas folhas de dados de peso e balanceamento no manual de vôo do helicóptero.

Se depois que o helicóptero for entregue, houver um adicionamento, remoção de equipamento ou em caso de execução de um reparo ou alteração maior que possa afetar o peso vazio, o c.g. de peso vazio, ou a carga útil; as folhas de dados de peso e balanceamento devem ser revisadas. Todas as variações de peso e balanceamento, devem ser inseridas nos registros apropriados da aeronave


LR
H
C G
IPANEMA
I
C
Pn
Pm
BANDEIRANTE
H
ICMA
C G
CMA
I
C
LR
Pn
Pm

O.T. 1C95-5

SEÇÃO II
INSTRUÇÕES PARA O USO
DE FORMULÁRIOS E CARTAS

EMBRAER

FICHA DE PESAGEM DE AVIÕES

AVIÃO – PREFIXO EXEMPLO	NÚMERO DE SÉRIE EXEMPLO	AVIÃO – TIPO EMB - 110	CATEGORIA NORMAL
DATA DA PESAGEM 20-9-73	LOCAL DA PESAGEM EMBRAER (F-40)	SITUAÇÃO NIVELADO	DATA DA MODIFICAÇÃO —"—
CONFIGURAÇÃO NA PESAGEM		CONFIGURAÇÃO APÓS MODIFICAÇÃO	
Trip. 2	Pax. 16	Trip. —"—	Pax —"—

CONDIÇÃO NA PESAGEM : AVIÃO BÁSICO CONFORME CARTA "A", COM COMBUSTÍVEL SEM PILOTO AUTOMÁTICO

CONSTANTES E MEDIÇÕES	
I = 2,521 m	α = 0
P =	Cos α = 1
CMA = 1,950 m	tg α = 0
ICMA = 5,454 m	
B =	
C = 4,422 m	
A =	

APOIOS	PESOS (LB)	PESOS (Kg)	BRAÇO (m)	MOMENTO (kg x m)	% CMA	ÍNDICE
Esquerda (Pe)	4 180	1896,0	6,943	13163,93	▨	▨
Direita (Pd)	3 936	1785,4	6,943	12396,03	▨	▨
Sub-total (Pm)	8116	3681,4	6,943	25559,96	▨	▨
Dianteira (Pn) ou Traseira (Pb)	2 114	958,9	2,521	2417,39	▨	▨
Total Registrado (P)	10230	4640,3	6,029	27977,35	29,52	279,8

MODIFICAÇÕES	PESO (Kg)	BRAÇO (m)	MOMENTO (kg x m)	% CMA	ÍNDICE
Total Registrado (P)	4640,3	6,029	27977,35	29,52	279,8
				▨	▨
Total dos itens pesados que não fazem parte do Peso-Vazio (Coluna I)	− 1361,4	6,347	− 8 640,9	▨	▨
Total dos itens básicos que não fizeram parte do avião ao ser pesado (Coluna II)	38,6	5,596	216,0	▨	▨
Peso Vazio (Pv)	3317,5	5,894	19552,45	22,56	195,6

VALORES BÁSICOS NAS CONDIÇÕES PADRONIZADAS PELA EMPRESA

DESCRIÇÃO	PESO (kg)	BRAÇO (m)	MOMENTO (kg x m)	% CMA	ÍNDICE
Peso Vazio	3317,9	5,894	19556,28	▨	▨
				▨	▨
CMB. RESIDUAL	23,6	6,410	15·,28	▨	▨
				▨	▨
ÓLEO HIDRÁULICO	10,5	9,564	100,42	▨	▨
				▨	▨
ÓLEO RESIDUAL	0,5	5,300	2,7	▨	▨
PESO BÁSICO	3352,5	5,909	19810,68	23,93	198,1

FÓRMULAS UTILIZADAS

$$H = \frac{Pm \cdot C}{P} + I$$

$$\% \text{ CMA} = \frac{H - 5{,}454}{CMA} \times 100$$

$$\text{ÍNDICE} = \frac{M}{100}$$

Anotações no verso da ficha

Figura 3-16 Exemplo do Preenchimento da “Ficha de Pesagem de Aviões”.

CAPÍTULO 4

COMBUSTÍVEIS E SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

INTRODUÇÃO

O combustível é uma substância que, quando combinado com o oxigênio, queima e produz calor. Os combustíveis devem ser classificados de acordo com seu estado físico, como: sólidos, gasosos ou líquidos.

Combustíveis sólidos

Combustíveis sólidos são extensivamente usados para motores de combustão externa; como os motores à vapor, onde a queima toma lugar sob as caldeiras ou em fornos. Eles incluem tais combustíveis, como madeira e carvão.

Os combustíveis sólidos não são usados em motores convencionais (recíprocos) onde a combustão se processa no interior dos cilindros por causa de sua baixa razão de queima, baixo valor calorífico e numerosas outras desvantagens.

Combustíveis gasosos

Combustíveis gasosos são usados, até certo ponto, para motores de combustão interna, onde um grande suprimento de combustível está prontamente disponível.

Gás natural e gás liqüefeito de petróleo, são dois dos tipos mais comuns. Os combustíveis gasosos poderão ser desconsiderados, para o uso, em motores de aviões. O grande espaço, ocupado por eles, restringe o suprimento de combustível que pode transportar.

Combustíveis líquidos

Os combustíveis líquidos, em muitos aspectos, são os combustíveis ideais para o uso em motores de combustão interna. Os combustíveis líquidos são classificados como voláteis ou não voláteis.

Os combustíveis não voláteis são os óleos pesados, usados em motores Diesel. A classe volátil inclui aqueles combustíveis que são comumentes usados com um dispositivo de medição e são levados ao cilindro do motor ou câmara de combustão, em uma condição vaporizada ou parcialmente vaporizada. Entre eles estão o álcool, o benzol, o querosene e a gasolina.

O combustível de aviação é um líquido contendo energia química; que, através da combustão, é desprendida como energia térmica e, então, convertida em energia mecânica pelo motor. A energia mecânica é usada para produzir o empuxo que movimenta o avião.

Gasolina e querosene são os dois combustíveis mais amplamente usados na aviação.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DA GASOLINA DE AVIAÇÃO

A gasolina de aviação consiste quase que, inteiramente, de hidrocarbonos (compondo-se de hidrogênio e carbono). Algumas impurezas na forma de enxofre e água dissolvida estarão presentes.

A água não pode ser evitada, uma vez que a gasolina é exposta a umidade na atmosfera. Uma pequena quantidade de enxofre, sempre presente no petróleo cru, é deixado em seu processo de fabricação.

O chumbo tetraetil (TEL) é adicionado à gasolina para melhorar sua performance no motor.

Os brometos orgânicos e os cloretos são misturados com o TEL, de forma que, durante a combustão, partículas voláteis de chumbo são formadas. Estas são expelidas com os produtos de combustão.

O TEL, se adicionado separadamente, queimará formando óxido sólido de chumbo, que permanece no interior do cilindro. Inibidores são adicionados à gasolina para suprimir a formação de substância, que seriam deixadas como sólidas, quando a gasolina se evapora.

Certas propriedades do combustível afetam a performance do motor. A volatilidade (maneira na qual o combustível queima durante o procedimento de combustão), e o valor de aquecimento do combustível.

Também é importante a corrosividade da gasolina, bem como a tendência de formar depósitos no motor durante o uso.

Esses últimos fatores são importantes por causa de seus efeitos na limpeza geral, que tem uma relação no tempo entre revisões gerais.

Volatilidade

Volatilidade é a medida da tendência, de uma substância líquida, em vaporizar-se sob uma dada condição.

A gasolina é uma mistura (blend) de compostos de hidrocarbono volátil; que tem uma ampla gama de pontos de ebulição e pressões de vapor. Ela é misturada, de tal forma, que uma cadeia estreita de pontos de ebulição é obtida.

Isto é necessário para que sejam obtidas as características requeridas, de partida, aceleração, potência e mistura de combustível para o motor.

Se a gasolina vaporizar muito rapidamente, as linhas de combustível poderão ficar cheias de vapor, e causar um decréscimo de fluxo de combustível.

Se o combustível não vaporizar suficientemente rápido, poderá resultar em uma partida difícil, aquecimento lento e uma aceleração pobre, distribuição desigual de combustível para os cilindros, e uma diluição excessiva no carter.

Os combustíveis de baixo grau para automóveis não são mantidos dentro das tolerâncias requeridas para a gasolina de aviação; e, normalmente, possuem uma considerável quantidade de gasolina misturada (craeked), que poderão formar depósitos excessivos de goma.

Por esta razão, os combustíveis para automóveis não deverão ser usados em motores de avião; especialmente aqueles refrigerados a ar e operando em altas temperaturas de cilindro.

Calço de vapor

A vaporização da gasolina, nas linhas de combustível, resulta em um suprimento reduzido de gasolina para o motor. E em casos severos, poderá resultar na parada do motor. Este fenômeno é conhecido como calço de vapor.

Uma medida da tendência da gasolina, para o calço de vapor, é obtida do teste de pressão de vapor “REID”. Neste teste, uma amostra do combustível é selada dentro de uma “bomba”, equipada com um manômetro de pressão.

Este aparato (figura 4-1), é imerso em um banho de temperatura constante, e a pressão indicada é anotada.

Quanto mais alta for a pressão corrigida da amostra em teste, maior suscetibilidade haverá para o calço de vapor. As gasolinas de aviação são limitadas a um máximo de 7 psi; por causa de sua tendência de aumentar o calço de vapor em grandes altitudes.

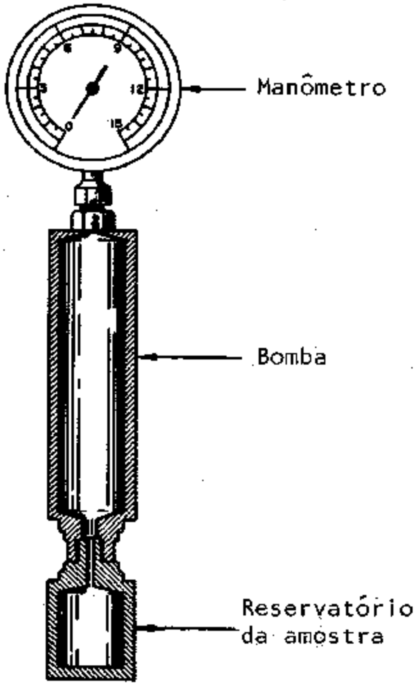


Figura 4-1Equipamento de teste de pressão do vapor.

Formação de gelo no carburador

A formação de gelo no carburador também é relacionada com a volatilidade. Quando a gasolina passa do estado líquido para o vapor ela extrai calor das redondezas para efetuar a mudança.

Quanto mais volátil for o combustível, mais rápida será a extração do calor. A medida que a gasolina sai do bico de descarga (discharge nozzle), do carburador e vaporiza-se, ela poderá congelar o vapor de água contido no ar que está sendo admitido. A umidade congela-se nas paredes do sistema de indução, garganta do venturi e válvulas de aceleração. Este tipo de formação de gelo restringe a passagem de combustível e ar no carburador. Ela causa a perda de potência; e, se não eliminada, a eventual parada do motor.

Uma condição extrema de formação de gelo poderá tornar impossível a operação das manetes de aceleração. As condições de formação de gelo, são mais severas na faixa de -1° a 4°c de temperatura do ar exterior.

Combustíveis aromáticos

Alguns combustíveis poderão conter consideráveis quantidades de hidrocarbonos aromáticos, que são adicionados para aumentar a gama de performance de mistura rica. Tais combustíveis, conhecidos como combustíveis aromáticos, têm um solvente forte e uma ação deformadora sobre alguns tipos de mangueiras e outras partes de borracha do sistema de combustível.

Por esta razão, foram desenvolvidas mangueiras e partes de borracha, para uso com combustíveis aromáticos.

Detonação

Em um motor, operando de maneira normal, a chama frontal atravessa a carga a uma velocidade constante de cerca de 100 pés por segundo, até que a carga seja consumida.

Quando a detonação ocorre, a primeira porção da carga queima de forma normal; porém, a última porção queima quase que instantaneamente, criando uma pressão momentânea excessiva e desbalanceada na câmara de combustão.

Este tipo anormal de combustão é chamado detonação. O aumento excessivo na velocidade de queima causa a elevação da temperatura na cabeça do cilindro.

Em condições severas, o aumento da velocidade de queima diminuirá a eficiência do motor, e poderá causar dano estrutural à cabeça do cilindro ou pistão.

Durante a combustão normal, a expansão dos gases em queima comprime a cabeça do pistão para baixo, firme e suavemente sem um choque excessivo. A pressão aumentada da detonação exercida, em um curto período de tempo, produz uma pesada carga de impacto nas paredes da câmara de combustão e cabeça do pistão. É esse impacto, na câmara de combustão, que aparece como um golpe audível em um motor de automóvel.

Se outros sons fossem eliminados, essa batida seria igualmente audível em um motor de avião. Geralmente, é necessário depender de instrumentos para detectar a detonação em um motor de avião.

-Ignição de superfície

A ignição da mistura combustível/ar, causada por pontos quentes ou superfícies na câmara de combustão, é chamada de ignição de superfície. Entretanto, se ocorrer antes do evento de uma ignição normal, o fenômeno é chamado de “pré-ignição”.

Quando a ignição está ocorrendo, o resultado é a perda de potência e aspereza no funcionamento do motor. A pré-ignição é geralmente atribuída ao super aquecimento de tais partes; como eletrodos das velas, válvulas de escapamento, depósitos de carbono, etc. Quando a pré-ignição está presente, um motor poderá continuar a operar, mesmo que a ignição seja desligada.

Informações sobre esta manifestação indicam que a gasolina, contendo elevado hidrocarbono aromático, é mais suscetível a causar ignição de superfície do que os combustíveis de baixo teor.

Avaliação de octana e performance

Número de octanas e composição, designam o valor anti-detonante da mistura de combustível, no cilindro de um motor.

Motores de aviação, de elevada entrega de potência têm sido feitos, principalmente pelo resultado de misturas, para produzir combustíveis de alta classificação de octanagem.

O uso de tais combustíveis tem permitido aumentos, na razão de compressão e pressão de admissão, resultando em melhora de potência e eficiência do motor. Entretanto, mesmo os combustíveis de alta octanagem detonarão e, também, sob condições severas de operação quando os controles do motor são operados indevidamente.

As qualidades anti-detonantes do combustível de aviação são designadas por graus. Quanto mais alto o grau, maior compressão o combustível poderá suportar sem detonar. Para os combustíveis que possuem dois números; o primeiro indica o grau para mistura pobre, e o segundo para a mistura rica. Desta forma, o combustível 100/130 tem o grau 100 para mistura pobre e o grau 130 para a mistura rica.

Duas escalas diferentes são usadas para designar o grau do combustível. Para os combustíveis abaixo de 100 graus, os números de octanas são usados para designar o grau do combustível. O sistema de números de octanas é baseado na comparação de qualquer combustível, com mistura de iso-octana e heptana normal.

O número de octana de um combustível é a porcentagem de iso-octana, na mistura que duplica as características de detonação de um combustível, em particular, que está sendo classificado.

Assim, um combustível de grau 91, tem as mesmas características de detonação que a de uma mistura de 91 por cento de iso-octana, e 9 por cento de heptana normal.

Com o advento dos combustíveis, tendo características anti-detonantes superior a iso-octana, uma outra escala foi adaptada para designar o grau de combustíveis acima do número de 100 octanas. Essa escala representa a classificação do grau de combustível e sua disponibilidade de potência, livre de detonação igualmente comparado com a iso-octana pura disponível.

É suposto, arbitrariamente, que somente 100 por cento de potência é obtida da iso-octana. Um motor que tenha uma potência de 1000 HP, limitada pela detonação com combustível de 100 octanas, terá uma potência limitada de detonação 1.3 vezes maior (1300 cavalos) do que com um combustível classificado com número 130.

O grau de gasolina de aviação não é a indicação de sua possibilidade de fogo. A gasolina de grau 91/96 é tão fácil de inflamar, como a de grau 115/145, e explode igualmente com muita força. O grau indica somente a classificação da gasolina, para motores de avião. Um meio conveniente de melhorar as características anti-detonantes de um combustível, é adicionar um inibidor de detonação.

Tal fluido deverá ter o mínimo de corrosividade ou outras qualidades indesejáveis; e, provavelmente, o melhor inibidor disponível para usos em geral, no momento, é o “TEL”.

As poucas dificuldades encontradas, por causa das tendências à corrosão da gasolina “etilizada”, são insignificantes quando comparadas com os resultados obtidos do valor elevado anti-detonante do combustível.

Para a maior parte dos combustíveis de aviação, a adição de mais de 6 ml. por galão não é permitido. Quantidades em excesso sobre esse valor tem um pequeno efeito no valor anti-detonante; porém aumenta a corrosão e os problemas com as velas.

Existem dois tipos distintos de corrosão causados pelo uso de gasolina “etílica”. O primeiro é causado pela reação do brometo de chumbo com superfícies metálicas quentes, e ocorre quando o motor está em operação; o segundo é causado pelos produtos condensados da combustão; principalmente o ácido “hydrobromico”, quando o motor não está girando.

Pureza

Os combustíveis de aviação devem estar livre de impurezas que possam interferir na operação do motor; ou nas unidades dos sistemas de combustível e de admissão de ar ao carburador.

Mesmo que todas as precauções sejam tomadas no armazenamento e serviços da gasolina, é comum encontrar uma pequena quantidade de água e sedimentos no sistema de combustível de uma aeronave.

Uma pequena quantidade de tal contaminação, é, normalmente retida nos filtros do sistema de combustível.

Geralmente, isto não é considerado como uma fonte de grande perigo, desde que os filtros sejam drenados e limpos em intervalos freqüentes. Entretanto, a água poderá apresentar sérios problemas, porque ela se assenta no fundo do tanque; e, poderá então, circular através do sistema de combustível.

Uma pequena quantidade de água fluirá com a gasolina através das passagens medidoras do carburador, e não será especialmente prejudicial. Uma excessiva quantidade de água deslocará o combustível, que está passando através dos medidores e restritores do fluxo de combustível, o que causará a perda de potência e poderá resultar na parada do motor.

Sob certas condições de temperatura e umidade, a condensação da umidade relativa do ar ocorre nas superfícies internas dos tanques de combustível. Uma vez que esta condensação ocorra na parte acima do nível de combustível, é óbvio que a prática de reabastecer uma aeronave, imediatamente após o vôo, em muito reduzirá esta deficiência.

Identificação

As gasolinas contendo TEL deverão ser coloridas de acordo com as normas, ou seja, a gasolina poderá ser colorida para efeito de identificação. Por exemplo, a gasolina de aviação de grau 115/145 é púrpura; a de grau 100/130 é verde; e a de grau 91/96 é azul (figura 4-2).

A mudança de cor de uma gasolina de aviação; usualmente indica a contaminação com um outro produto, ou a perda da qualidade de combustível.

A mudança de cor também poderá ser causada por uma reação química, que tenha enfraquecido para mais leve, o componente de coloração. Essa mudança de cor, por si mesma, poderá não afetar a qualidade do combustível.

A mudança de cor também poderá ser causada pelo preservativo, usado em uma mangueira nova. A gasolina de grau 115/145 que tenha sido bloqueada, durante um curto período de tempo, em uma mangueira nova, poderá aparecer de cor verde. Fluindo uma pequena quantidade de gasolina, através da mangueira, normalmente todos os traços de mudança da coloração serão removidos.

Marcas de identificação

O método mais positivo de identificação do tipo e do grau do combustível, é o seguinte:

1. Marcação nas tubulações - Uma faixa colorida, nunca menor do que 30 cm (1 pé) de largura, é pintada próximo à conexão em cada extremidade da mangueira, usada para abastecimento de combustível. As faixas devem circundar o tubo; e, o nome e o grau do produto devem ser escritos longitudinalmente, em letras de 2,5 cm (1 polegada), de uma cor contrastante com a da mangueira.

2. Marcação dos carros - tanque, e pontos de abastecimento - Placas, identificando o nome e o grau do produto, devem estar permanentemente fixadas em cada medidor e cada bico de abastecimento. Placas de porcelana (de 10cm x 15cm - 4" x 6"), contendo as mesmas informações, devem estar permanentemente aparafusadas na parte externa; na traseira do equipamento de abastecimento. As mangueiras dos carros-tanques são enfaixadas com as mesmas cores utilizadas no equipamento fornecedor.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES A TURBINA

As aeronaves com turbinas a gás, são projetadas para operar com um combustível destilado, comumente chamado de combustível de jato.

Os combustíveis de jato também são compostos de hidrocarbonos, com um pouco mais de carbono; e, normalmente, contendo mais enxofre do que a gasolina. Inibidores também poderão ser adicionados, para reduzir a corrosão e oxidação. Aditivos anti-gelo também estão sendo misturados, para evitar o congelamento do combustível.

Dois tipos de combustíveis de jato estão em uso comum atualmente, sendo: (1) Querosene de grau de combustível para turbina, agora designada como “Jet-A”; e (2) uma mistura de gasolina e frações de querosene, designado “Jet-B”. Existe um terceiro tipo, chamado de “Jet-A-1”, o qual é produzido para operação em temperaturas extremamente baixas (Ver a figura 4-3).

Existe uma diferença física muito pequena entre o combustível Jet-A (JP-5) e o querosene comercial.

O Jet-A foi desenvolvido como um querosene pesado, tendo um ponto de fulgor mais alto e um ponto de congelamento mais baixo, do que a maioria dos querosenes. Ele tem uma pressão de vapor muito baixa, de forma que existe pouca perda de combustível por vaporização ou ebulição em grande altitude. Ele contém maior energia térmica por galão do que o “Jet-B (JP-4).

O “Jet-B” é similar ao “Jet-A”. É uma mistura da fração de gasolina e querosene. A maioria dos motores de turbinas comerciais operam tanto com o Jet-A como com o Jet-B. Entretanto, a diferença na gravidade específica dos combustíveis poderá requerer ajustes de controle de combustível. Portanto os combustíveis não poderão ser sempre considerados intercambiáveis.

Os combustíveis Jet-A e Jet-B são misturas de destilados pesados, e tendem a absorver água.

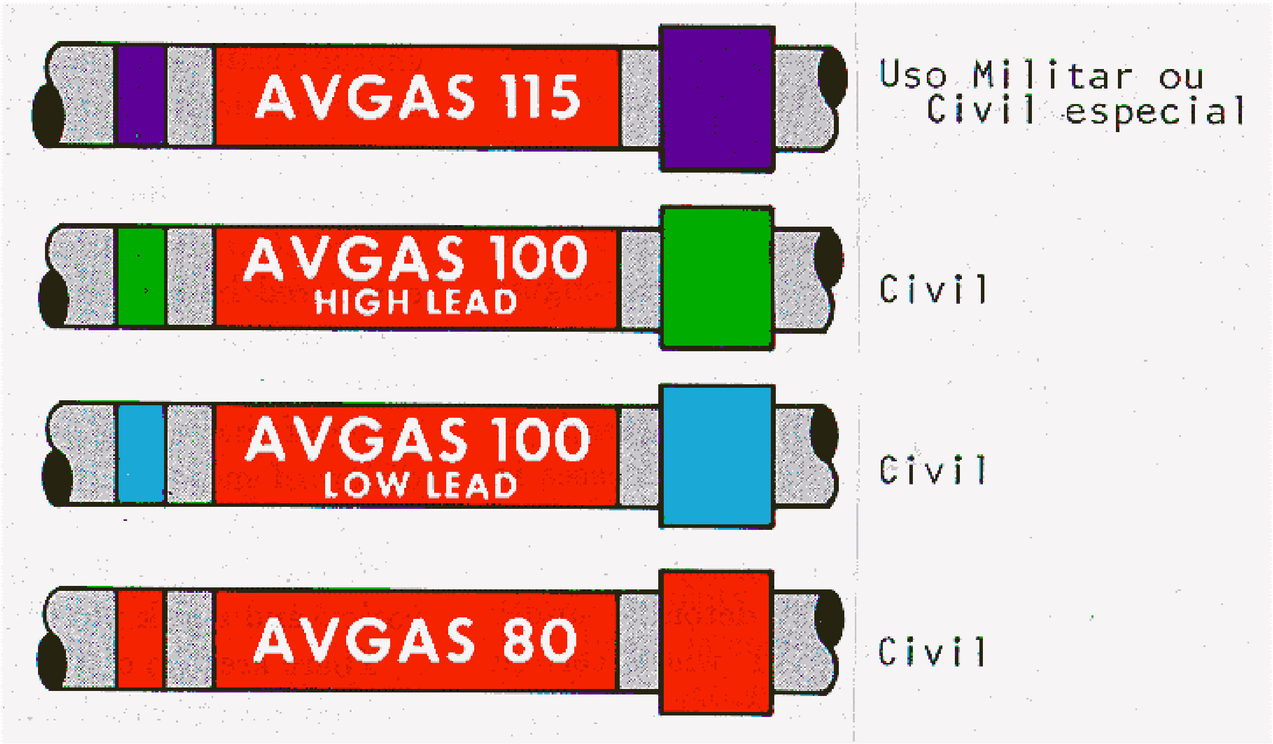

AVGAS 115
Uso Militar ou Civil especial
AVGAS 100 HIGH LEAD
Civil
AVGAS 100 LOW LEAD
Civil
AVGAS 80
Civil

Figura 4-2 Identificação de avgas.

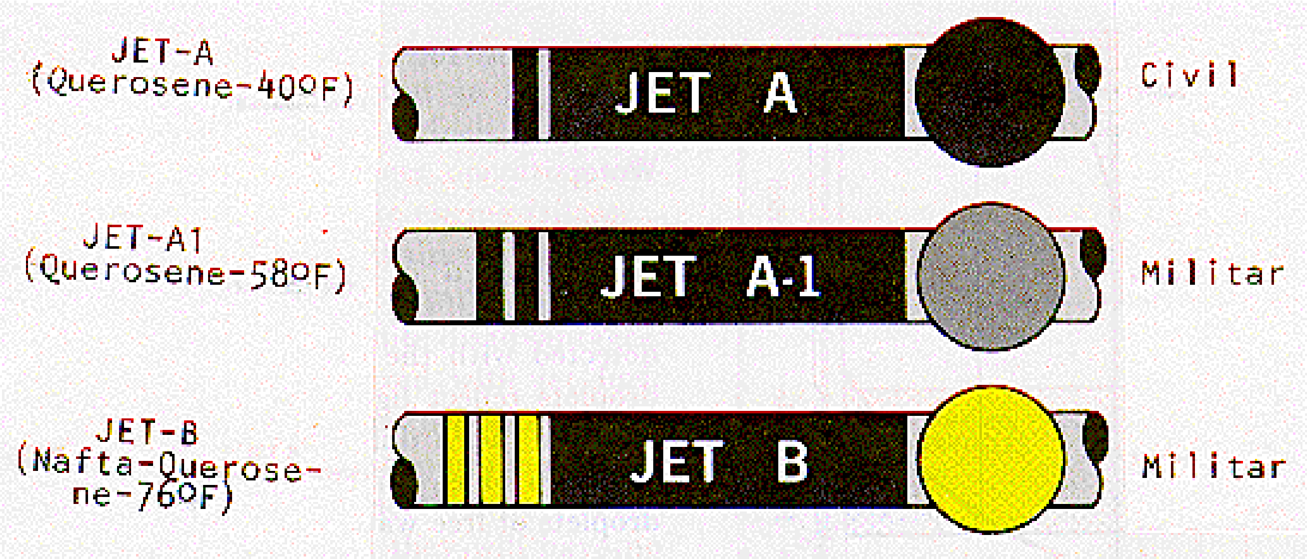

JET-A (Querosene-40ºF)
JET A
Civil
JET-A1 (Querosene-58ºF)
JET A-1
Militar
JET-B (Nafta-Querosene-76ºF)
JET B
Militar

Figura 4-3 Identificação de combustível para motores a turbina

A gravidade específica dos combustíveis de jato, especialmente o querosene, é mais próxima à água do que a gasolina de aviação; desta forma, qualquer água introduzida ao combustível, tanto através do reabastecimento como da condensação, tomará um tempo apreciável para assentar-se. Em grandes altitudes, onde baixas temperaturas são encontradas, gotículas de água combinam com o combustível para formar uma substância congelante chamada "gel". A massa de "gel" ou gelo; que pode ser gerada pela umidade mantida em suspensão no combustível de jato, poderá ser muito maior do que na gasolina.

Volatilidade

Uma das características mais importantes dos combustíveis de jato, é a volatilidade. Ela deverá, por necessidade, ter um compromisso entre vários fatores de oposição.

Um combustível altamente volátil, é preferível para facilitar a partida em tempo frio e tornar as partidas em vôo mais fáceis e seguras. A baixa volatilidade é preferível para reduzir a possibilidade do calço de vapor, e reduzir as perdas de combustível por evaporação.

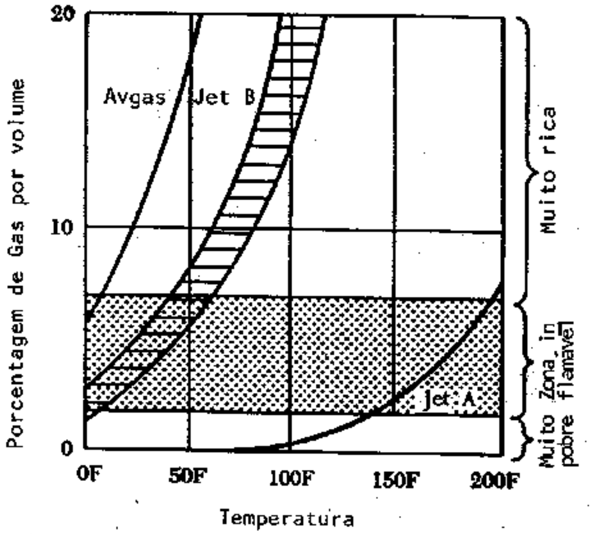


Figura 4-4 Vaporização dos combustíveis de aviação sob pressão atmosférica.

Em temperaturas normais, a gasolina em um recipiente fechado ou em um tanque, poderá produzir tanto vapor que, a mistura combustível/ar, poderá ser rica demais para queimar. Sob as mesmas condições, o vapor produzido pelo combustível Jet-B poderá estar na faixa inflamável ou explosiva.

O combustível Jet-A é de uma volatilidade muito baixa; de modo que, em temperaturas normais produz tão pouco vapor, que não forma uma mistura combustível/ar inflamável ou explosiva.

A figura 4-4, mostra a vaporização dos combustíveis de aviação com relação a pressão atmosférica.

Identificação

Pelo fato dos combustíveis de jato não serem coloridos, não há identificação visual para os mesmos. Eles variam de um líquido incolor a uma cor de palha (âmbar), dependendo da idade ou da origem do petróleo cru.

Os números dos combustíveis de jato são números de tipos e não tem relação com a classificação de combustível para motor de aviação.

CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Existem diversas formas de contaminação em combustível de aviação. Quanto mais alta for a viscosidade do combustível, maior será sua capacidade em manter contaminantes em suspensão. Por esta razão, os combustíveis de jato, tendo uma alta viscosidade, são mais suscetíveis à contaminação do que a gasolina de aviação.

O principal contaminante que reduz, principalmente, a qualidade da gasolina e do combustível para turbina são outros produtos de petróleo, como: água, oxidação ou ferrugem e sujeira.

Água

A água pode estar presente no combustível, em duas formas: (1) dissolvida no combustível; (2) entranhada ou em suspensão no combustível. A água entranhada (em suspensão) poderá ser detectada a olho nu.

As gotículas, finamente divididas, refletem a luz, e em altas concentrações dão ao combustível uma aparência nublada; pouco transparente.

As partículas entranhadas poderão unir-se, formando gotículas de água livre. O combustível poderá estar nublado por um número de razões. Se o combustível estiver nublado e a nuvem desaparecer na parte inferior, indica presença de ar; se a nuvem desaparece na parte superior, indica presença de água.

A nuvem normalmente indica água em suspensão no combustível. A água livre poderá causar a formação de gelo no sistema de combustível da aeronave, normalmente nos filtros das bombas de reforço (boost pumps), e nos filtros de baixa pressão. A leitura dos indicadores de combustível poderá se tornar errônea devido a um curto-circuito, nos sensores elétricos de quantidade de combustível.

Grandes quantidades de água poderão causar a parada do motor. Se a água livre for salina, ela poderá causar corrosão nos componentes do sistema de combustível.

Partículas estranhas

Muitas partículas estranhas são encontradas como sedimentos no combustível. Elas são constituídas de qualquer material, com o qual o combustível entra em contato. Os tipos mais comuns são: Ferrugem, areia, compostos de alumínio e magnésio, partículas de latão e borracha.

A ferrugem é encontrada em duas formas: (1) Ferrugem vermelha, que não é magnética; e (2) Ferrugem preta, que é magnética. Elas aparecerão no combustível como um pó vermelho ou preto (que poderão assemelhar-se ao corante), ou granulação.

Areia ou poeira no combustível aparecem na forma cristalina, granular ou semelhante ao vidro.

Compostos de alumínio ou magnésio aparecem no combustível na forma de pó ou pasta branca ou cinza. Esse pó ou pasta torna-se muito pegajoso ou gelatinoso quando a água estiver presente.

O latão é encontrado no combustível na forma de partículas, ou pó de cor dourada brilhante.

A borracha aparece no combustível, em pedaços razoavelmente grandes e irregulares. Todas essas formas de contaminação poderão causar o engripamento ou mau funcionamento dos dispositivos de medição do combustível, divisores de fluxo, bombas e injetores.

Contaminação com outros tipos ou graus de combustível

A mistura não intencional de produtos de petróleo, poderá resultar em combustíveis que dão uma performance inaceitável na aeronave. Um motor de avião é projetado para operar com o máximo de eficiência, com combustíveis de especificações definidas. O uso de combustíveis que diferem daquelas especificações reduz a eficiência operacional, e podem levar a uma falha completa de motor.

Operadores de aviões com motores à turbina são, algumas vezes, forçados por circunstâncias, a misturar combustíveis. Tais misturas, entretanto, têm muitas desvantagens definidas.

Quando a gasolina de aviação é misturada com o combustível de jato, o TEL na gasolina forma depósitos nas lâminas e aletas da turbina. O contínuo uso de combustíveis misturados poderão causar a perda na eficiência do motor. Entretanto, em bases de uso limitado, eles não trarão efeitos prejudiciais ao motor.

Gasolina de aviação, contendo por volume mais do que 0,5% de combustível para jato, poderá reduzir abaixo dos limites permitidos a razão de detonação. A gasolina contaminada com combustível para turbina é insegura para o uso em motores convencionais.

Desenvolvimento microbial

O desenvolvimento microbial é produzido por várias formas de microorganismos, que vivem e se multiplicam nas interfaces de água dos combustíveis para jato.

Esses organismos poderão formar um “Fungo”, similar em aparência aos depósitos encontrados em água estagnada. A cor deste fungo em desenvolvimento poderá ser vermelha, marrom, cinza ou preta. Se não for devidamente controlada pela remoção freqüente da água livre, o desenvolvimento destes organismos poderá tornar-se extensivo.

Os organismos alimentam-se dos hidrocarbonos, que são encontrados nos combustíveis, porém eles precisam de água livre, a fim de se multiplicarem.

Os micro organismos têm uma tendência a se combinarem, geralmente aparecendo com uma camada marrom, que age como um absorvedor, para maior quantidade de umidade.

Essa mistura de combinação, acelera o desenvolvimento dos micro organismos. O desenvolvimento de micro organismos poderá não interferir somente com a indicação do fluxo e de quantidade de combustível; porém, mais importante, poderá iniciar uma ação eletrolítica corrosiva.

Sedimentos

Os sedimentos se apresentam como poeira, material fibroso, grãos, flocos ou ferrugem. Partículas ou grãos de sedimento para serem visíveis, indicam ter aproximadamente 40 microns ou mais em tamanho (ver a figura 4-5). A presença de um número apreciável daquelas partículas indicam um mau funcionamento do filtro/separador, ou uma fonte de contaminação ao longo da linha do filtro/separador, ou ainda um reservatório inadequadamente limpo. Mesmo com o mais eficiente filtro/separador e um cuidadoso manuseio do combustível, uma partícula pode ser ocasionalmente encontrada. Esses procedimentos dispersos, normalmente são devidos a migração através do filtro, e não apresentam um problema para o motor ou para o controle do combustível. Os sedimentos, ordinariamente são encontrados como um pó fino ou lama. Os dois principais componentes desse sedimento fino são, normalmente, areia e ferrugem.

Os sedimentos podem ser tanto orgânicos como inorgânicos. A presença de apreciável quantidade de material fibroso (visível a olho nu), é usualmente indicação de um elemento de filtro quebrado pela ruptura do próprio elemento ou pela desintegração mecânica de um componente do sistema.

Usualmente, grande volume de partículas metálicas, sugere uma falha mecânica em algum lugar do sistema, a qual não se limita necessariamente à falha do filtro metálico.

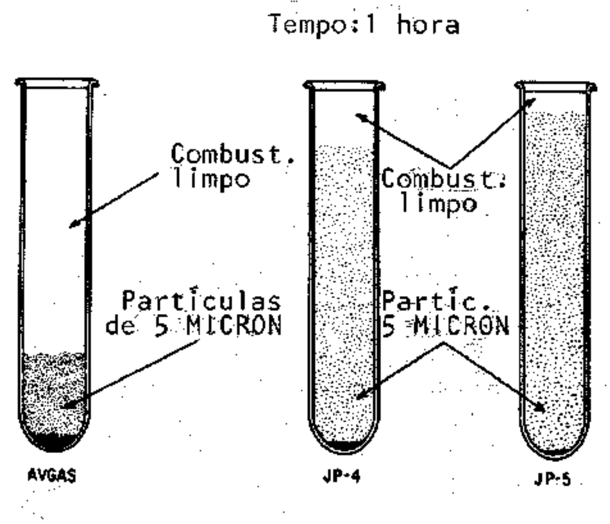


Figura 4-5 Comparação da razão das partículas.

Em uma amostra limpa de combustível, os sedimentos não serão visíveis a não ser sob uma meticulosa inspeção. A presença persistente de sedimentos, é sempre suspeita, requerendo apropriados testes de supervisão e medidas corretivas aplicadas ao sistema de combustível.

Sedimentos ou contaminação sólida podem ser divididos em duas categorias: (1) sedimento grosseiro e (2) sedimento fino.

Sedimento grosseiro

O sedimento que pode ser visto e separado do combustível, ou que pode ser filtrado, é um sedimento grosseiro. Ordinariamente, as partículas de 10 microns de tamanho, e maiores, são consideradas sedimentos grosseiros (ver a figura 4-6).

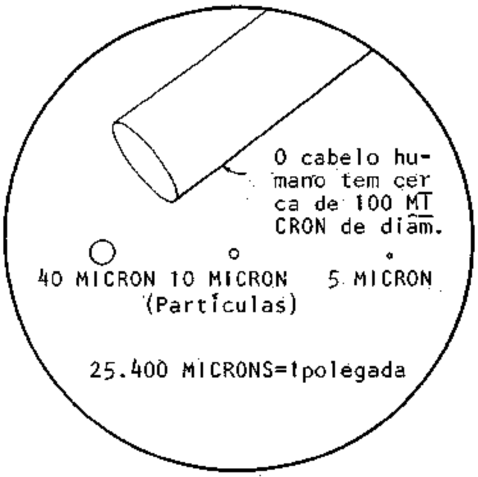


Figura 4-6 Comparação das pequenas partículas com o cabelo humano.

Partículas grossas bloqueiam orifícios e obstruem as folgas e ressaltos das válvulas deslizantes, causando problemas e desgaste dos controles do combustível e do equipamento de medição. Elas afetam também as telas dos bicos ejetores, obstruindo-os, bem como outras telas finas através do sistema de combustível da aeronave.

Sedimento fino

Partículas menores do que 10 microns podem ser definidas como sedimentos finos (ver a figura 4 - 6). Noventa e oito por cento dos sedimentos finos podem ser removidos por assentamento, filtragem ou centrifugação.

As partículas desse padrão, acumuladas por todas as partes dos controles do combustível, aparecem como uma camada de verniz escuro na superfície das válvulas deslizantes, e podem também ser centrifugadas nas câmaras rotativas como uma substância com a aparência de barro, causando a operação lenta do equipamento de medição do combustível.

As partículas finas não são visíveis a olho nu como partículas separadas ou distintas; elas, no entanto, dispersas na claridade, podem aparecer como pontos luminosos ou como uma leve nebulosidade no combustível.

O máximo de tempo possível deve ser permitido ao combustível nos tanques após o reabastecimento, para que haja um razoável assentamento da água e dos sedimentos.

Detecção de contaminação

A contaminação grosseira pode ser detectada visualmente. O melhor critério para a detecção de contaminação, é a de que o combustível esteja limpo e brilhante; e que não contenha água livre perceptível.

Limpo significa ausência de qualquer sedimento realmente visível; ou água misturada. Brilhante refere-se a aparência de brilho dos combustíveis limpos e sem água.

Água livre é indicada por uma nuvem opaca ou um sedimento de água. A nuvem poderá estar ou não presente quando o combustível estiver saturado de água.

O combustível perfeitamente claro, poderá conter três vezes o volume de água, considerado tolerável.

Vários métodos para verificação em pista do conteúdo de água têm sido desenvolvidos.

Um é o de adicionar um elemento corante, que é solúvel na água; porém, não no combustível. Amostras de combustível incolor adquirem uma coloração definida se a água estiver presente.

Um outro método utiliza pó químico cinza, que muda para a cor rosa passando por púrpura, no caso de 30 ou mais p.p.m. (partes por milhão) de água estiverem presentes na amostra de combustível.

Num terceiro método, uma agulha hipodérmica é usada para tirar o combustível através de um filtro quimicamente tratado. Se a amostra mudar a cor do filtro, de amarelo para azul, o combustível terá pelo menos 30 p.p.m. de água.

Desde que o combustível drenado dos decantadores dos tanques possam estar saturados, devemos levar em conta que nenhum método de detecção de água deverá ser usado enquanto a água entranhada no combustível estiver congelada, formando cristais de gelo.

Existe uma boa possibilidade de que a água não seja drenada ou detectada se os decantadores forem drenados, enquanto o combustível estiver a uma temperatura abaixo de 32º F (0º c), após ter sido esfriado no vôo.

A razão para isto, é que, os drenos decantadores poderão não estar no ponto mais baixo no tanque de combustível enquanto o avião estiver em uma altitude de vôo; e a água poderá acumular e congelar em outras áreas do tanque, que permanecerá, sem ser detectada, até que ela se degele.

A drenagem será mais efetiva, se for feita depois do combustível ter ficado em repouso por um período de tempo durante o qual a água possa precipitar-se e alojar-se no ponto de dreno.

As vantagens do período de decantação se perderão a não ser que a água acumulada seja removida dos drenos, antes que o combustível seja agitado pelas bombas internas.

Controle de contaminação

O sistema de combustível da aeronave pode ser considerado como dividido em três partes, quando se refere a pureza do combustível.

O fabricante produz um combustível limpo. A contaminação pode ocorrer a qualquer tempo, após o combustível ter sido produzido.

A primeira parte do sistema de combustível, é o sistema de entrega e estocagem, entre a refinaria e o carro-tanque de abastecimento no aeroporto.

Embora este sistema não seja fisicamente uma parte da aeronave, ele é de igual importância no controle da contaminação.

A qualquer tempo em que o combustível esteja sendo transportado, ele estará sujeito a contaminação. Por esta razão, todo o pessoal de manutenção da aviação deverá estar familiarizado com os métodos de controle da contaminação.

Fundamental no controle de contaminação dos combustíveis para turbina, são os métodos seguidos pela indústria, no recebimento e na estocagem de qualquer carga de produtos de petróleo.

Esses métodos têm sido estabelecidos como corretos e, são tão conhecidos, que se torna desnecessário repeti-los aqui.

Os procedimentos de reabastecimento, usados pelos operadores de aeronaves com turbina deverão incorporar os seguintes requisitos:

1. O combustível bombeado nos depósitos do aeroporto deverão passar através de um filtro-separador. O filtro deverá estar dentro das normas previstas na especificação MIL-F-8508A.

2. Aos combustíveis para turbina, deverá ser permitido um período de assentamento, correspondente a uma hora para cada pé de profundidade do combustível estocado, antes de ser removido para uso. Isto significa que deve ser providenciado mais de um depósito para cada tipo de produto.

3. Os tanques de estocagem devem ser checados com papel de tornassol, após o recebimento de cada carga nova de combustível e o seu devido assentamento. O papel de tornassol deverá permanecer submerso por 15 segundos, no mínimo. Durante os períodos de chuva forte, os tanques subterrâneos deverão ser checados com o papel de tornassol com maior freqüência.

4. As linhas de sucção deverão estar, no mínimo, a 6 polegadas do fundo do tanque. Os tanques de estocagem de querosene deverão estar equipados com linhas de sucção do tipo flutuante. Estas linhas flutuantes não removem o produto da parte inferior do tanque, o qual pode não ter sido assentado suficientemente. Isto também evita a reintegração de alguma contaminação do fundo do tanque, no combustível. A linha de sucção flutuante é o único e lógico meio de tirar total vantagem da força da gravidade, em remover a água e a contaminação por partículas estranhas. Esta importância não deve ser minimizada.

5. O combustível sendo removido do tanque de estocagem, deverá passar através de um filtro-separador que tenha a especificação MIL-F-8508A.

6. Grande cuidado deve ser tomado, durante o carregamento de veículos abastecedores, para evitar pó, sujeira, chuva ou outros materiais estranhos, transportados pelo ar.

7. Para reduzir as probabilidades de formação de ferrugem e escamas, os tanques dos carros abastecedores devem ser construídos de aço inoxidável, de material não ferroso ou de aço revestido de matéria neutra.

8. O combustível para turbinas, quando colocado nas aeronaves por caminhões-tanques ou hidrantes, deverão ser filtrados para um grau de 5 microns para partículas sólidas, e conter menos de 0,0015% de água livre ou entranhada. Válvulas de desvio para o filtro não deverão ser permitidas.

9. Todas os procedimentos de controle de qualidade, normalmente seguidos no manuseio da gasolina de aviação, deverão ser empregados. Isto inclui uma regular checagem do filtro-separador do tipo teste de "claro e brilhante"; e contínua ênfases na limpeza. Exemplos: Não deixar o bico de abastecimento arrastar-se no avental de proteção. Manter tampado o bico de abastecimento, durante todo o tempo em que não estiver sendo utilizado.

SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

Um sistema de combustível de avião armazena e distribui uma quantidade apropriada de combustível limpo a uma pressão correta, para satisfazer a demanda do motor. Um sistema de combustível bem projetado assegura um fluxo positivo e eficiente através de todas as fases do vôo, que inclui mudanças de altitude, manobras violentas, acelerações e desacelerações súbitas.

Além do mais, o sistema deverá estar razoavelmente livre da tendência de travamento por vapor, o que poderá resultar das mudanças climáticas no solo e em vôo. Indicadores tais, como: os manômetros de pressão, de combustível, sinais de advertência e indicadores de quantidade, são instalados para dar uma contínua indicação de como o sistema está funcionando.

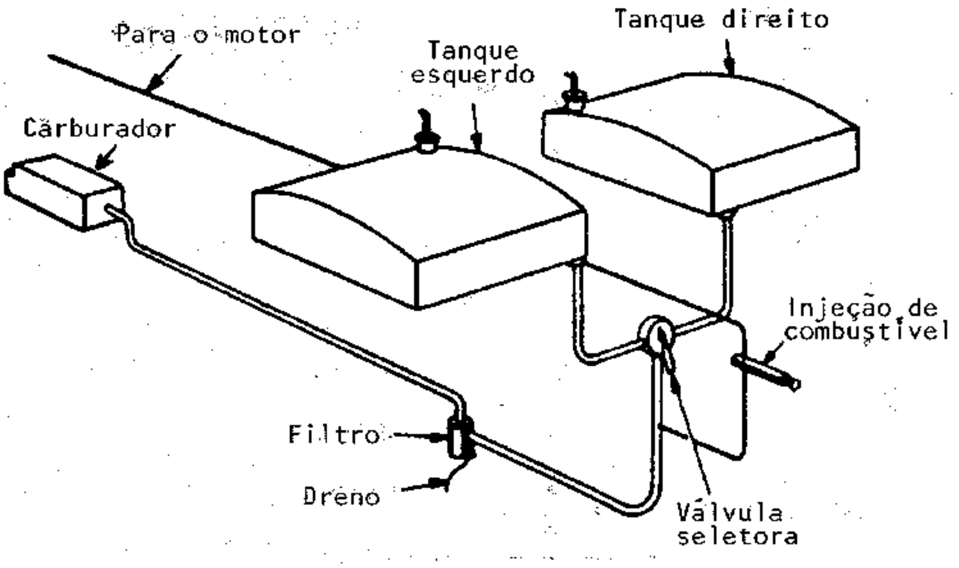


Figura 4-7 Sistema de alimentação por gravidade.

O tipo mais simples de sistema de combustível é o de alimentação por gravidade, o qual está ainda em uso em muitos aviões de baixa potência. Um sistema de alimentação por gravidade é mostrado na figura 4-7. Os tanques de combustível são montados acima dos carburadores, com a gravidade fazendo com que o combustível flua do tanque para o carburador. Uma válvula seletora é provida para interromper o fluxo de combustível ou selecionar um tanque em particular no sistema, do qual o combustível deverá ser usado. Um filtro limpa o combustível antes que o mesmo atinja o carburador. Um dreno é instalado para remover a água e sedimentos presos no filtro. Uma bomba injetora manual (primer) fornece uma quantidade adicional de combustível requerido para a partida do motor.

Aeronaves equipadas com motores de alta potência, requerem um sistema de combustível que forneça o combustível ao carburador a uma pressão positiva.

A fonte básica para esta pressão é uma bomba de combustível acionada pelo motor, porém bombas auxiliares ou bombas de reforço são necessárias em cada sistema de alimentação por pressão, para vários propósitos:

(1) suprir a pressão de combustível para a partida do motor;

(2) suprir combustível para o sistema de injetor, e (3) para servir como uma bomba de emergência no caso de falha da bomba acionada pelo motor.

COMPONENTES DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Os componentes básicos de um sistema de combustível, incluem tanques (reservatórios), linhas, válvulas, bombas, unidades de filtragem, indicadores, sinais de advertência, e escorva.

Alguns sistemas incluirão provisões para reabastecimento central, válvulas de alijamento de combustível e meios para a transferência de combustível.

No sentido de esclarecer os princípios de operação de um complexo sistema de combustível de aeronaves, as várias unidades são discutidas nos parágrafos seguintes.

Tanques de combustível

A localização, o tamanho, a forma e a construção dos tanques de combustível variam com o tipo e a utilização da aeronave. Em alguns aviões, os tanques de combustível são integrais com a asa ou outras partes estruturais da aeronave.

Os tanques de combustível são feitos de material que não reage quimicamente com qualquer combustível de aviação. A liga de alumínio é amplamente usada, e a borracha sintética é para o tipo de células de combustível, que são usadas em algumas instalações.

Usualmente, um decantador e um dreno são providos no ponto mais baixo do tanque, conforme é indicado na figura 4-8. Quando um decantador ou ponto baixo é provido no tanque, a alimentação principal de combustível não é retirada da parte inferior do decantador, de um ponto mais alto no tanque.

A parte superior de cada tanque é ventilada para o ar externo, a fim de manter a pressão atmosférica dentro do tanque. Os suspiros (vents) são projetados para diminuir a possibilidade de seu bloqueio por sujeira ou formação de gelo.

Com a finalidade de permitir rápidas mudanças na pressão interna do ar, o tamanho do suspiro é proporcional ao tamanho do tanque, evitando desta forma o colapso do mesmo em uma acentuada subida ou descida.

Todos, com exceção de tanques muito pequenos, são adaptados com defletores internos, para resistir às flutuações do combustível, causadas pelas mudanças de atitude do avião. Usualmente, um espaço é provido nos tanques de combustível, para permitir um aumento no volume de combustível devido à expansão.

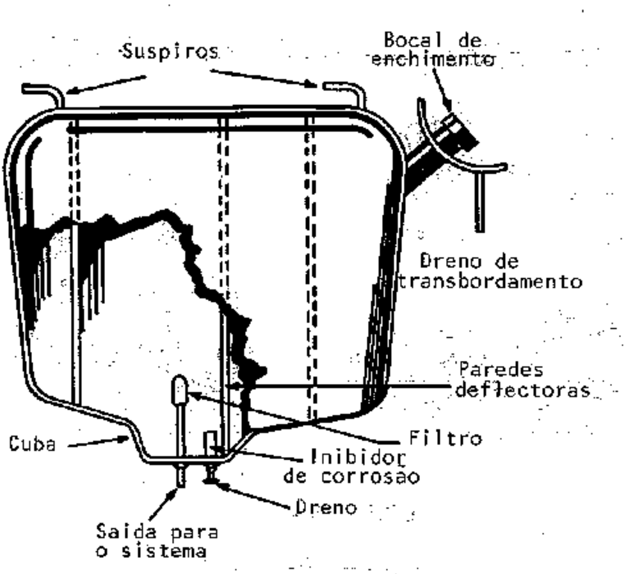


Figura 4-8 Um típico tanque metálico de combustível.

O bocal de abastecimento e tampão, está normalmente localizado em uma parte rebaixada com um orifício e dreno. O orifício é projetado para evitar que o transbordamento do combustível entre na estrutura da asa ou fuselagem.

As tampas possuem dispositivos de travamento para evitar uma possível perda acidental em vôo.

As aberturas de abastecimento são claramente marcadas com a palavra "FUEL"(combustível), a capacidade do tanque e o tipo de combustível a ser usado. A informação concernente à capacidade de cada tanque é usualmente marcada perto das válvulas seletoras de combustível, bem como nas tampas de abastecimento.

Alguns tanques de combustível são equipados com válvulas de alijamento, que tornam possível o alijamento do combustível em vôo, com a finalidade de reduzir o peso da aeronave ao seu peso máximo de pouso especificado. Em aeronaves equipadas com válvulas de alijamento, o controle de operação está localizado ao alcance do piloto, co-piloto ou do engenheiro de vôo. As válvulas de alijamento são projetadas e instaladas para efetuar uma descarga do combustível rápida e segura.

Células de combustível

Os aviões atuais poderão estar equipados com um ou mais dos seguintes tipos de células de combustível: o tipo célula de borracha; e célula integral de combustível.

Célula do tipo câmara de borracha

A célula de combustível do tipo câmara de borracha, é uma célula não auto-vedante que é usada para reduzir o peso. Ela depende inteiramente da estrutura da cavidade, na qual é assentada para suportar o peso de combustível nela contido. Por esta razão a célula é feita ligeiramente maior do que a cavidade. As células de câmara de borracha em uso são feitas de borracha ou de nylon.

Células integrais de combustível

Uma vez que as células integrais são construídas dentro da estrutura da asa do avião, elas não são removíveis. Uma célula integral é parte da estrutura da aeronave, que é montada, de tal forma, que quando as costuras, fixadores estruturais e portas de acesso são devidamente vedados, a célula suporta o combustível sem vazamento. Este tipo de construção é usualmente referido como "asa molhada".

Linhas de combustível e acoplamentos

Em um sistema de combustível de aeronave, os vários tanques e outros componentes são usualmente unidos por linhas de combustível, feitas de tubos metálicos conectados; e, quando a flexibilidade é necessária, por comprimentos de tubulações flexíveis.

As tubulações metálicas são usualmente feitas de liga de alumínio e, os tubos flexíveis, de borracha sintética ou de teflon. O diâmetro dos tubos são definidos pela demanda de fluxo de combustível do motor.

Cada linha de combustível é identificada por meio de uma cinta colorida de codificação, em cada extremidade. Exceto quanto à linhas curtas entre conexões flexíveis, as tubulações deverão ser devidamente suportadas por meio de braçadeiras, aos membros estruturais da aeronave.

Uma mangueira especial resistente ao calor é usada onde linhas flexíveis estiverem sujeitas a um calor intenso.

Para todas as linhas flexíveis de combustível, localizadas a frente da parede de fogo, são usadas mangueiras resistentes a fogo.

Em muitas instalações, as linhas de combustível são projetadas para serem localizadas dentro dos tanques. Portanto, pequenos vazamentos ocorrendo dentro do tanque são classificados como vazamentos internos, e não causam perigo de fogo.

Filtros de combustível

Os filtros são instalados nas saídas dos tanques e, freqüentemente, nos bocais de abastecimento.

Eles são de malha relativamente grossa para evitar que somente partículas maiores entrem no sistema de combustível. Outros filtros de malha fina são instalados na entrada de combustível ao carburador, e nas linhas de combustível.

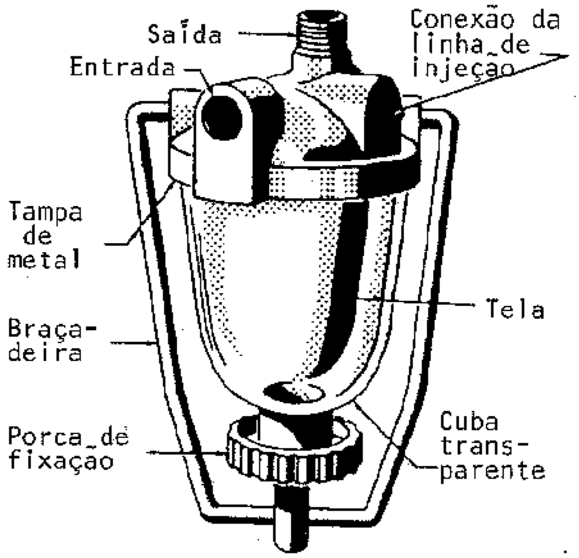

Saída
Entrada
Conexão da linha de injeção
Tampa de metal
Braçadeira
Porca de fixação
Tela
Cuba transparente

Figura 4-9 Filtro principal para pequenas aeronaves.

A função do filtro principal é importante; não somente ele evita a entrada de materiais estranhos ao carburador como, também, devido a sua localização em um ponto baixo do sistema de combustível, bloqueia qualquer pequena quantidade de água que possa estar presente no sistema.

Em aeronaves multi-motoras, um filtro especial é usualmente instalado em cada nacele de motor.

Um filtro principal para um avião leve, é mostrado na figura 4-9. Ele consiste de uma parte metálica superior, um filtro e uma cuba de vidro. A cuba é fixada à tampa por meio de uma braçadeira e uma porca, para torque manual.

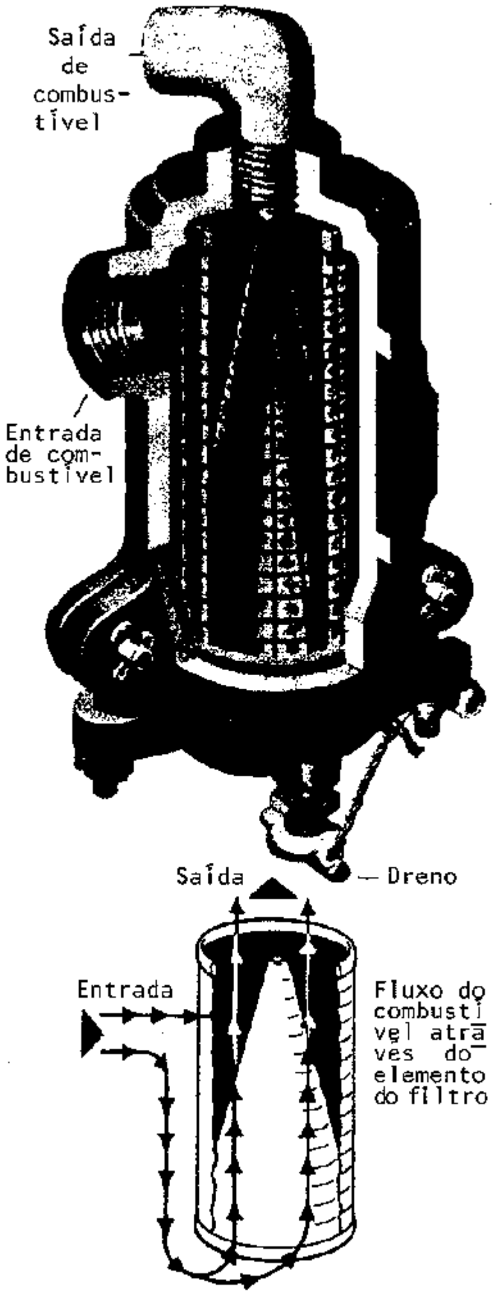

Saída de combustível
Entrada de combustível
Saída
Dreno
Entrada
Fluxo do combustível através do elemento do filtro

Figura 4-10 Filtro principal de combustível.

O combustível entra na unidade através da porta de entrada, é filtrada através da malha que está na porta de saída.

Em intervalos regulares a cuba de vidro deverá ser drenada e o filtro removido para inspeção e limpeza.

O filtro principal, mostrado na figura 4-9 é instalado de tal forma, que o combustível flui através dele antes de alcançar a bomba acionada pelo motor.

O filtro está localizado no ponto mais baixo do sistema de combustível.

A forma e a construção do filtro de malha fina provê uma grande superfície de filtragem embutida em um alojamento compacto. Reforçando o filtro, existe uma malha de arame grosso.

Bombas auxiliares de combustível

Bombas de recalque, centrífugas de acionamento elétrico, mostrada na figura 4-11, alimentam o combustível sob pressão para a admissão da bomba acionada pelo motor.

Este tipo de bomba é uma parte essencial do sistema de combustível, particularmente em grandes altitudes, para manter pressão no lado de sucção da bomba acionada pelo motor, evitando que se torne baixa, a ponto de permitir a ebulição de combustível.

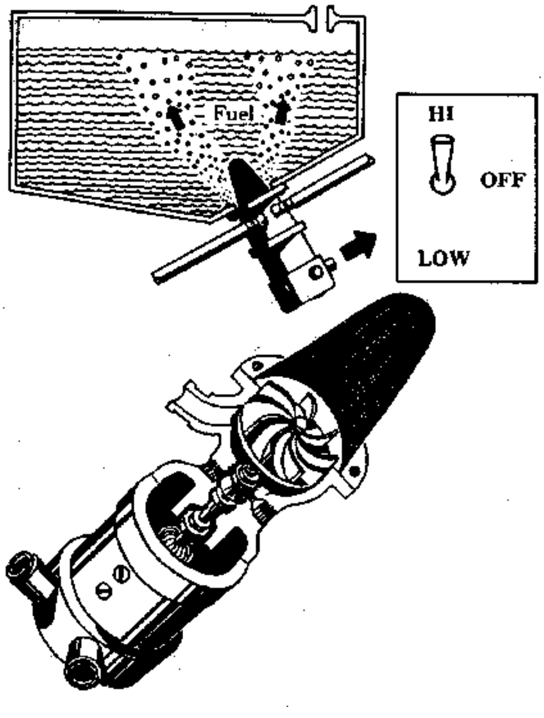


Figura 4-11 Bomba centrífuga de reforço.

Esta bomba de recalque é também usada para transferir o combustível de um tanque para outro, para alimentar combustível sob pressão para escorva durante a partida do motor, e, como uma unidade de emergência, alimentar combustível ao carburador, no caso de falha da bomba acionada pelo motor.

Para aumentar a capacidade da bomba sob condições de emergência, muitas bombas são equipadas com um controle de duas velocidades ou de velocidade variável, que a pressão recomendada de combustível na entrada do carburador possa ser mantida.

Como uma medida de precaução, as bombas de recalque são sempre ligadas durante as decolagens e pousos, para garantir uma alimentação positiva de combustível.

A bomba de recalque é montada na saída do tanque dentro de um decantador desmontável, ou submersa na parte inferior do tanque de combustível.

Os selos de vedação entre a ventoinha e a seção de força da bomba evitam o vazamento de combustível ou vapores para dentro do motor elétrico. Caso algum líquido ou vapor passe através do selo, ele será ventilado para a atmosfera através de um dreno.

Como precaução adicional em bombas não submersas, é permitida a circulação de ar em volta do motor para remover os vapores perigosos de combustível.

Quando o combustível do tanque entra na bomba, uma ventoinha de alta velocidade arremessa o combustível em todas as direções. A alta velocidade rotacional turbilhona o combustível e produz uma ação centrífuga que separa o ar e o vapor do combustível antes de entrar na linha para o carburador. Isto resulta praticamente em um fornecimento de combustível livre de vapor para o carburador, e permite que o vapor separado suba através do tanque de combustível, escapando através dos suspiros do tanque.

Uma vez que a bomba do tipo centrífugo não é uma bomba de deslocamento positivo, nenhuma válvula de alívio é necessária.

Apesar da bomba centrífuga ser o tipo mais comum de bomba de recalque, ainda existem em serviço algumas bombas do tipo de aleita deslizante. Este tipo, também é acionado por um motor elétrico. Ao contrário do tipo centrífugo, ela não tem a vantagem da ação centrífuga para separar o vapor do combustível. Uma vez que é uma bomba de deslocamento positivo, ela deverá ter uma válvula de alívio para evitar a pressão excessiva. Sua construção e operação são idênticas ao da bomba acionada pelo motor.

Bomba manual

A bomba manual é freqüentemente usada em aviões leves. Ela geralmente está localizada próximo a um outro componente do sistema de combustível, e é operada da cabine de comando por meio de controles adequados. Um diagrama de bomba manual é mostrado na figura 4-12.

Quando a alavanca fixada na lâmina central é operada, a baixa pressão criada na câmara abaixo da lâmina que está se deslocando para cima, permite que a pressão de entrada do combustível levante a válvula de aleita inferior, fazendo com que o combustível flua para o interior desta câmara. Ao mesmo tempo o combustível flui através de uma passagem perfurada para encher a câmara situada na parte superior da lâmina que está se deslocando para baixo. A medida que a lâmina se desloca para baixo, a válvula aleta fecha-se evitando que o combustível saia pela linha de entrada.

O combustível existente abaixo da lâmina que está se deslocando para baixo flui através da passagem para uma outra câmara e é descarregado através da válvula de aleta de saída para o carburador. O ciclo é repetido cada vez que a alavanca é movimentada em qualquer uma das direções.

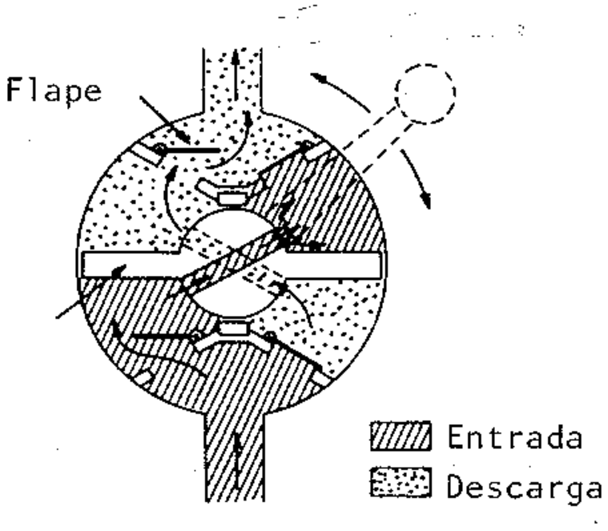


Figura4-12 Diagrama esquemático de uma bomba manual.

Bomba de combustível acionada pelo motor

A finalidade da bomba de combustível acionada pelo motor, é a de fornecer um combustível na pressão adequada durante o tempo de operação do motor. A bomba mais usada atualmente, é a do tipo de aleitas rotativas e de deslocamento positivo. Um diagrama esquemático de uma bomba (tipo-aleta) acionado pelo motor é mostrado na figura 4-13.

Independente das variações de projetos, o princípio de operação de todas as bombas de combustível tipo aleta é o mesmo.

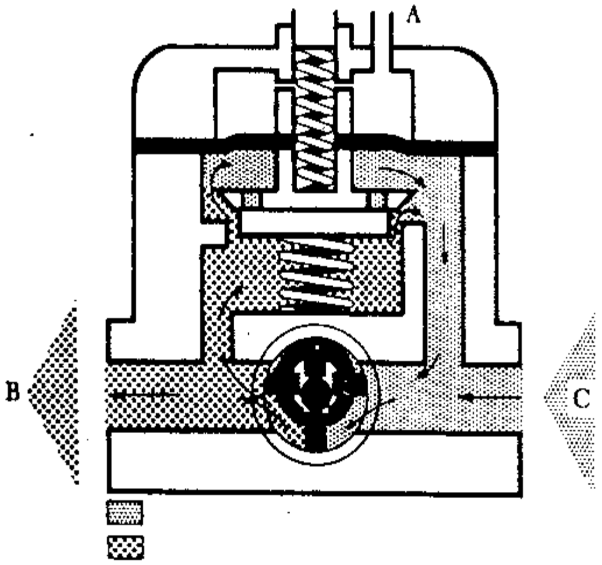


Figura 4-13 Bomba acionada pelo motor (pressão).

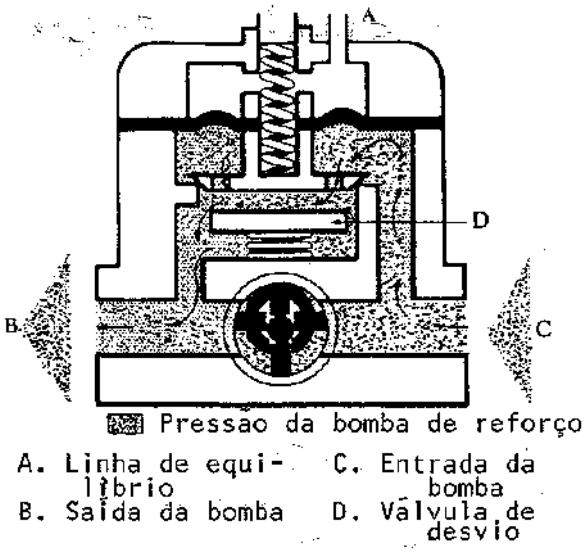


Figura 4-14 Bomba acionada pelo motor (desvio).

A bomba acionada pelo motor normalmente é instalada na seção de acessórios do motor.

O rotor com as aletas deslizantes é acionado pelo eixo de manivelas através das engrenagens de acionamento dos acessórios. Notamos como as aletas levam o combustível da entrada para a saída quando o rotor gira na direção indicada.

Um selo evita o vazamento no ponto onde o eixo de acionamento entra no corpo da bomba, e um dreno leva para fora qualquer combustível que vazar através do selo.

Uma vez que o combustível fornece uma lubrificação suficiente para a bomba, nenhuma lubrificação especial é necessária.

Quando a bomba de combustível acionada pelo motor normalmente descarrega mais combustível que o requerido pelo motor, haverá um meio de aliviar o excesso de combustível para evitar pressões na entrada de combustível do carburador. Isto é conseguido através do uso de uma válvula de alívio sob tensão de mola, que pode ser ajustada para fornecer o combustível na pressão recomendada para um carburador em particular.

A figura 4-13, mostra a válvula de alívio em operação, derivando o excesso de combustível para o lado de entrada da bomba. O ajuste de pressão é feito aumentando ou diminuindo a tensão da mola. A válvula de alívio de uma bomba acionada pelo motor é projetada para abrir a uma pressão ajustada, independente da pressão de combustível que esteja entrando na bomba.

Para manter a relação apropriada entre a pressão do combustível e a pressão de ar na entrada do carburador, a câmara sobre a válvula de alívio da bomba de combustível é ventilada para a atmosfera ou através de uma linha de balanceamento para a pressão de entrada de ar do carburador.

As pressões combinadas da tensão da mola, da atmosfera ou da pressão da entrada de ar do carburador, determinam a pressão absoluta na qual a válvula de alívio do tipo balanceada abre. Essas válvulas possuem certas características censuráveis que deverão ser investigadas quando falhas no sistema de combustível são encontradas. Uma falha do fole ou do diafragma permitirá que o ar entre no combustível, no lado de entrada da bomba, se a pressão da entrada do combustível for menor do que a atmosférica. Inversamente, se a pressão de entrada da bomba for maior que a pressão atmosférica, o combustível será descarregado pelo suspiro.

Para uma apropriada compensação de altitude, o suspiro deverá estar aberto. Caso ele seja obstruído por gelo ou material estranho, enquanto estiver em altitude, a pressão de combustível diminuirá durante a descida. Se o suspiro for obstruído durante a subida, a pressão de combustível aumentará com o aumento de altitude.

Além da válvula de alívio, a bomba de combustível possui uma válvula de derivação (by-pass), que permite ao combustível fluir ao redor do rotor da bomba, sempre que a bomba estiver inoperante.

A válvula mostrada na figura 4-14, consiste de um disco que está levemente mantido por uma tensão de mola, contra uma série de portas na cabeça da válvula de alívio.

Quando o combustível é necessário para a partida do motor, ou no caso de falha da bomba acionada pelo motor, o combustível sob pressão da bomba de recalque é entregue na entrada da bomba de combustível. Quando a pressão for suficientemente alta para deslocar o disco de derivação de sua sede, o combustível será admitido no carburador para escorva ou medição.

Quando a bomba acionada pelo motor está em operação, a pressão eleva-se na saída da bomba, juntamente com a pressão da mola de derivação, mantendo o disco em sua sede, e evitando que o combustível flua através das portas.

Válvulas

As válvulas seletoras são instaladas no sistema de combustível, para prover um meio de cortar o fluxo de combustível na seleção do tanque e motor, na alimentação cruzada, e na transferência de combustível.

O tamanho e número de portas (aberturas) varia com o tipo de instalação. Por exemplo, uma aeronave monomotora com dois tanques de combustível e uma reserva de alimentação de combustível, requer uma válvula com quatro portas, três entradas dos tanques e uma saída comum. A válvula deverá acomodar a capacidade total de fluxo da linha de combustível, não deverá vazar e deverá operar livremente com um definido encaixe, quando na posição correta.

As válvulas seletoras poderão ser operadas manual ou eletricamente. Um tubo, haste ou cabo é ligado à válvula operada manualmente, de forma que possa ser operada da cabine de comando.

As válvulas, operadas eletricamente, possui um atuador ou motor. Os três tipos principais de válvulas seletoras são: corrediça, cônica e disco. A válvula seletora do tipo gatilho ("poppet") possuem uma válvula ("poppet") individual em cada porta de entrada.

Um ressalto e uma articulação no mesmo eixo agem para abrir a válvula selecionada, à medida que a articulação é girada.

A figura 4-15 mostra como o ressalto levanta a válvula gatilho superior de sua sede quando a alavanca de controle é selecionada para a posição de tanque nº 2, abrindo assim a passagem do tanque nº 2 para o motor.

Ao mesmo tempo, a parte elevada da placa de índice cai em uma ranhura no lado do ressalto (ver o detalhe do mecanismo do índice). Isto produz a sensibilidade que indica que a válvula está na posição totalmente aberta.A alavanca de controle deverá ser sempre comandada pelo "sentir", ao invés das marcas no dial indicador.

O mecanismo de índice também mantém a válvula na posição desejada e evita seu deslocamento causado pela vibração.

Algumas válvulas têm mais de uma parte elevada no ressalto, para permitir que duas ou mais portas sejam abertas ao mesmo tempo.

A válvula seletora tipo cone é metálica ou de carcaça de alumínio, com face de cortiça. O cone, que se ajusta dentro do alojamento, é girado por meio de um controle da cabine de comando.

Para um suprimento de combustível do tanque desejado, o controle na cabine de comando é girado até que as passagens dentro do cone estejam alinhadas com as portas correspondentes da carcaça.

Um mecanismo de indicação auxilia a obtenção do ajuste desejado e também segura o cone na posição selecionada.

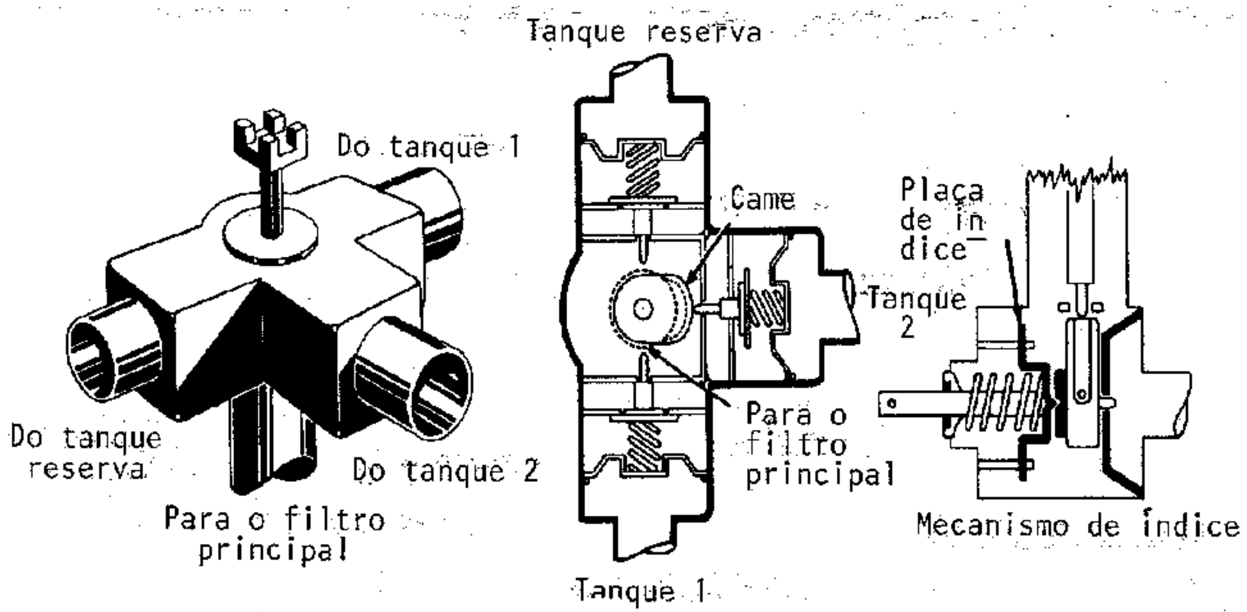


Figura 4-15 Válvula seletora tipo gatilho (poppet).

Algumas válvulas tipo cone possuem um mecanismo para aliviar a fricção, que reduz a quantidade de torque requerida para girar e fazer a seleção de tanque e, que pode ser ajustado para prevenir vazamentos.

O rotor da válvula seletora tipo disco, ajusta-se dentro de um furo cilíndrico no corpo da válvula.

A válvula tipo disco é mostrada na figura 4-16. Podemos notar que o rotor tem uma porta aberta e diversos discos de vedação, um para cada porta da carcaça.

Para selecionar um tanque, o rotor é girado até que a porta aberta alinhe com a porta de onde flui o combustível desejado. Ao mesmo tempo todas as outras portas estarão fechadas pelos discos de vedação. Nesta posição o combustível fluirá, vindo do tanque desejado para a válvula seletora, e sairá pela porta de saída para o motor, na parte de baixo da válvula.

Para assegurar um alinhamento positivo, a fim de se ter um total fluxo de combustível, um mecanismo de indicação, (mostrado no centro da figura 4-16) força uma esfera sob carga de mola dentro de um anel de catraca.

Quando a válvula seletora é comandada para a posição fechada, a porta aberta no motor fica coincidindo com a parede fechada do corpo da válvula, enquanto cada disco de vedação cobre uma porta do tanque.

As válvulas de corte dos tanques de combustível têm duas posições: aberta e fechada. Elas são instaladas no sistema para prevenir perda de combustível, quando um componente do sistema está sendo removido, ou quando uma parte do sistema está danificada.

Em algumas instalações, elas são usadas para controlar o fluxo de combustível durante a operação de transferência.

As válvulas de corte são operadas manual ou eletricamente. Uma válvula de corte de combustível operada eletricamente, inclui um motor elétrico reversível, articulado a um conjunto de válvula deslizante.

O motor move o portão da válvula para dentro e para fora da passagem, onde o combustível flui cortando ou abrindo o fluxo de combustível.

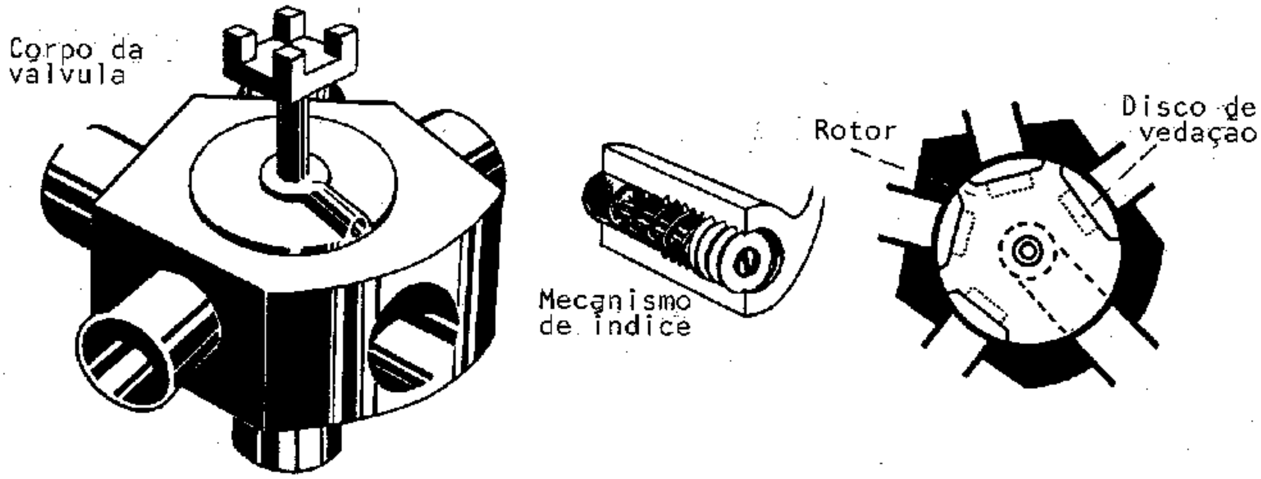


Figura 4-16 Válvula seletora tipo disco.

INDICADORES DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Indicadores de quantidade de combustível

Os indicadores de quantidade de combustível são necessários, para que o operador possa saber a quantidade de combustível remanescente nos tanques durante a operação da aeronave.

Os quatro tipos gerais de indicadores de combustível são: (1) visor de vidro; (2) mecânico; (3) elétrico; e (4) eletrônico. O tipo da instalação de indicação de combustível depende do tamanho da aeronave, do número e da localização dos tanques de combustível.

Uma vez que os indicadores de combustível, "visores de vidro" e "mecânicos" , não são adequados para as aeronaves em que os tanques estão localizados, em uma distância apreciável da cabine de comando, as aeronaves maiores usam indicadores de quantidade de combustível elétricos ou eletrônicos.

Em algumas aeronaves, um indicador de combustível, chamado totalizador, indica a soma das quantidades totais de combustível remanescente em todos os tanques.

O visor de vidro é a forma mais simples de indicação de quantidade de combustível. O indicador é um tubo de vidro ou plástico, posicionado no mesmo nível com o tanque. Ele opera pelo pricípio dos líquidos, de procurarem seu próprio nível. O tubo é calibrado em galões ou possui uma escala metálica perto dele.

O visor de vidro pode ter uma válvula de corte, de forma que o combustível possa ser cortado para limpeza e para prevenir perda de combustível se o tubo estiver quebrado.

O indicador de quantidade de combustível do tipo mecânico, é usualmente localizado no tanque, e é conhecido como um indicador de leitura direta. Ele possui um indicador conectado a uma bóia flutuando na superfície do combustível.

Com as trocas de nível de combustível, a bóia mecanicamente opera o indicador, mostrando assim, o nível de combustível no tanque. Um tipo de indicador de combustível mecânico é ilustrado na figura 4-17.

O indicador de quantidade tipo elétrico, consiste de um indicador na cabine de comando e um transmissor operando por bóia, instalado no tanque. Com as trocas de nível de combustível, o transmissor envia um sinal elétrico para o indicador, que mostra as trocas do nível de combustível. Duas vantagens deste indicador de quantidade de combustível (e também do tipo eletrônico discutido no próximo parágrafo), são de que o indicador pode estar localizado em qualquer distância do tanque, e os níveis de combustível de vários tanques podem ser lidos em um único indicador.

O indicador de quantidade de combustível do tipo eletrônico (capacitância) difere do outro tipo por não possuir dispositivos móveis no tanque de combustível.

Ao invés de bóia e unidades mecânicas para o desempenho, as qualidades dielétricas do combustível e do ar fornecem uma medição da quantidade de combustível. Essencialmente, o transmissor do tanque é um simples condensador elétrico. O dielétrico (ou material não condutor) do condensador, é o combustível e o ar (vapor) acima do combustível.

A capacitância da unidade do tanque, a qualquer momento, dependerá da proporção de combustível existente e vapor no tanque. A capacitância do transmissor é comparada com um capacitor de referência com um circuito de rebalanceamento tipo ponte.

O sinal de desbalanceamento é amplificado pelos amplificadores de voltagem, que acionam a fase discriminativa do estágio de potência. O estágio de saída supre força para uma das fases do motor A.C. de duas fases que, mecanicamente, aciona um potenciômetro de rebalanceamento e o ponteiro indicador.

O sistema de medição de quantidade de combustível do tipo eletrônico, é mais preciso na medição do nível pelo fato de medir o combustível em peso, em vez de galões.

O volume de combustível variará com a temperatura (a gasolina pesa mais quando está fria do que quando está quente), desse modo, se a gasolina for medida em libras, em vez de galões, a medição será mais precisa.

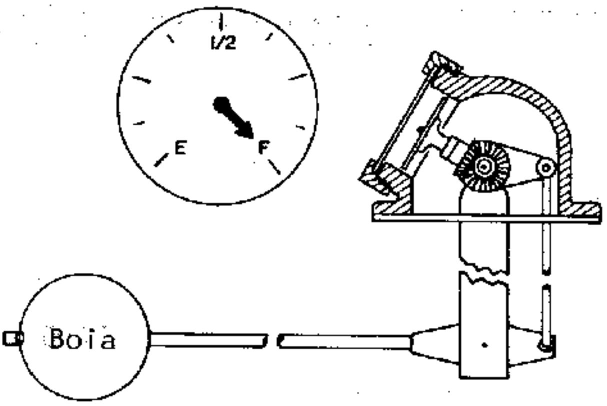


Figura 4-17 Indicador de nível do combustível tipo bóia.

Em adição ao sistema de indicação para a cabine de comando, algumas aeronaves são providas de um meio para determinar a quantidade de combustível em cada tanque quando ela está no solo. Isto é conseguido por vários métodos diferentes. Alguns fabricantes usam indicadores operados por bóia, de leitura direta, montados na superfície inferior da asa.

Outros meios de indicação são por uso de baioneta (vareta) pela parte inferior da asa. Existem dois (2) tipos em uso, o de indicação por tubo ou vareta com escoamento (DRIP) e o de indicação por visor.

Quando é usada a indicação por tubo com escoamento (DRIP) é necessário proceder lentamente, usando o método por tentativa, para achar o nível exato de combustível.

Em tanques de áreas grandes, uma quantidade proporcional de combustível é representada por uma variação de fração de polegada no nível de combustível.

Uma vareta de tubo longo requer algum tempo para drenar, uma vez que elas estão cheias de combustível.

Um substancial erro na leitura pode ser feito se a drenagem do tubo for diminuindo, o que é errado em comparação com uma drenagem constante, que significa que o tubo está na posição correta.

Quando a tampa e o tubo de drenagem são projetados para serem distendidos na parte inferior da superfície da asa, o combustível entra pelo topo aberto do tubo, quando ele atinge o nível.

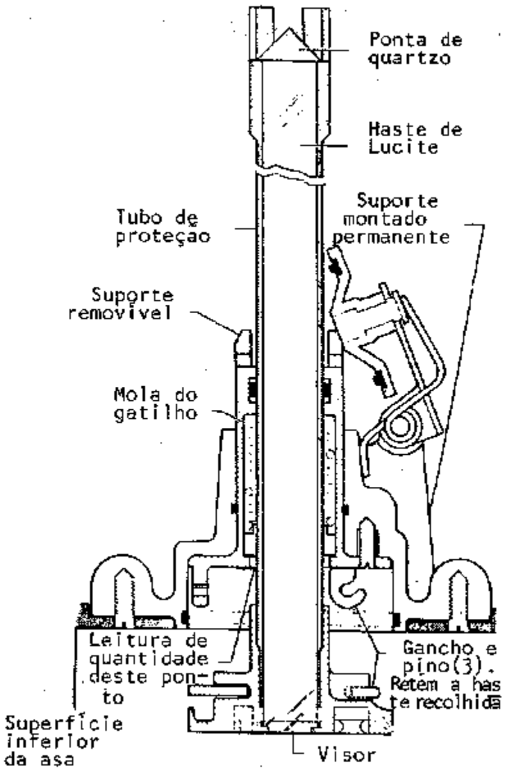

Ponta de quartzo
Haste de Lucite
Suporte montado permanente
Tubo de proteção
Suporte removível
Mola do gatilho
Leitura de quantidade deste ponto
Gancho e pino(3). Retém a haste recolhida
Superfície inferior da asa
Visor

Figura 4-18 Visor sob a asa.

Como mencionado anteriormente, se a drenagem proveniente do furo do tubo for constante, significa que o tubo está corretamente posicionado com o nível de combustível numa porção insignificante acima da abertura do tubo.

O tubo medidor, do tipo escoamento, pode ser calibrado em libras ou polegadas.

Quando calibrado em polegadas, a leitura é comparada com uma carta especial, que dá a leitura da quantidade de combustível em galões.

O indicador do tipo visor é de algum modo mais simples em construção do que o tipo tubo de escoamento, e oferece uma evidente leitura visual quando estiver corretamente posicionado.

Como mostra a figura 4-18, o indicador do tipo é basicamente uma haste longa de plástico "LUCITE" , protegida por um tubo calibrado, o qual termina em seu topo com uma ponta de quartzo exposta. Quando a ponta estiver acima do combustível, ela atua como um refletor.

A transmissão de raios de luz para a parte de cima da haste de "LUCITE" são deflexionados em ângulos retos por uma superfície de 45º em um lado da ponta, e deflexionado 90º novamente pela superfície de 45º no lado oposto, retornando para baixo da haste de "LUCITE".

Qualquer porção da ponta, submergida no combustível, não atuará como refletor. Consequentemente, quando uma parte do nível de combustível estiver acima do cone, um facho de luz é criado, sendo visível na extremidade inferior da haste de "LUCITE", e que tem as dimensões e a forma produzidas pela interseção da ponta e o combustível.

Quando a luz refletida é reduzida ao menor ponto perceptível, no caso dos indicadores tipo cone ou de fio capilar com ponta cônica esculpida, a haste estará devidamente posicionada. A quantidade de combustível no tanque pode ser lida no tubo, onde ele sai da guia de seu alojamento. As leituras dos indicadores do tipo de escoamento são feitas, também, nesta localização.

Medidores de fluxo de combustível

Os medidores de fluxo de combustível são, normalmente, usados somente em aeronaves multimotoras.

O sistema consiste de um transmissor e um indicador. O transmissor é instalado na linha de entrada de combustível para o motor, onde é medida a razão do fluxo de combustível. O transmissor é elétricamente conectado ao indicador, localizado na cabine de comando.

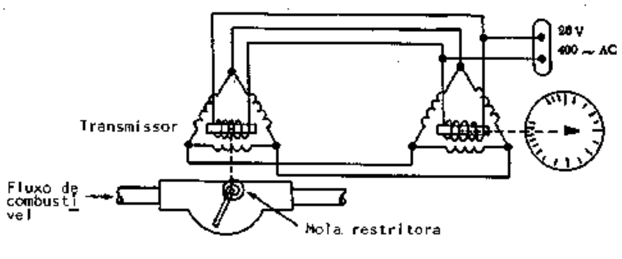


Figura 4-19 Sistema medidor de fluxo tipo palheta.

Este instrumento mostra a razão de consumo de combustível, em libras por hora.

O sinal do transmissor, pode ser produzido por uma aleta móvel, montada na linha de fluxo do combustível. O impacto do combustível faz a aleta mover-se contra a força de restrição de uma mola calibrada.

A posição final assumida pela aleta representa a medida da razão, na qual o combustível está passando através do medidor de fluxo e o sinal correspondente que será enviado ao indicador. Um sistema medidor de fluxo do tipo aleta é ilustrado na figura 4-19.

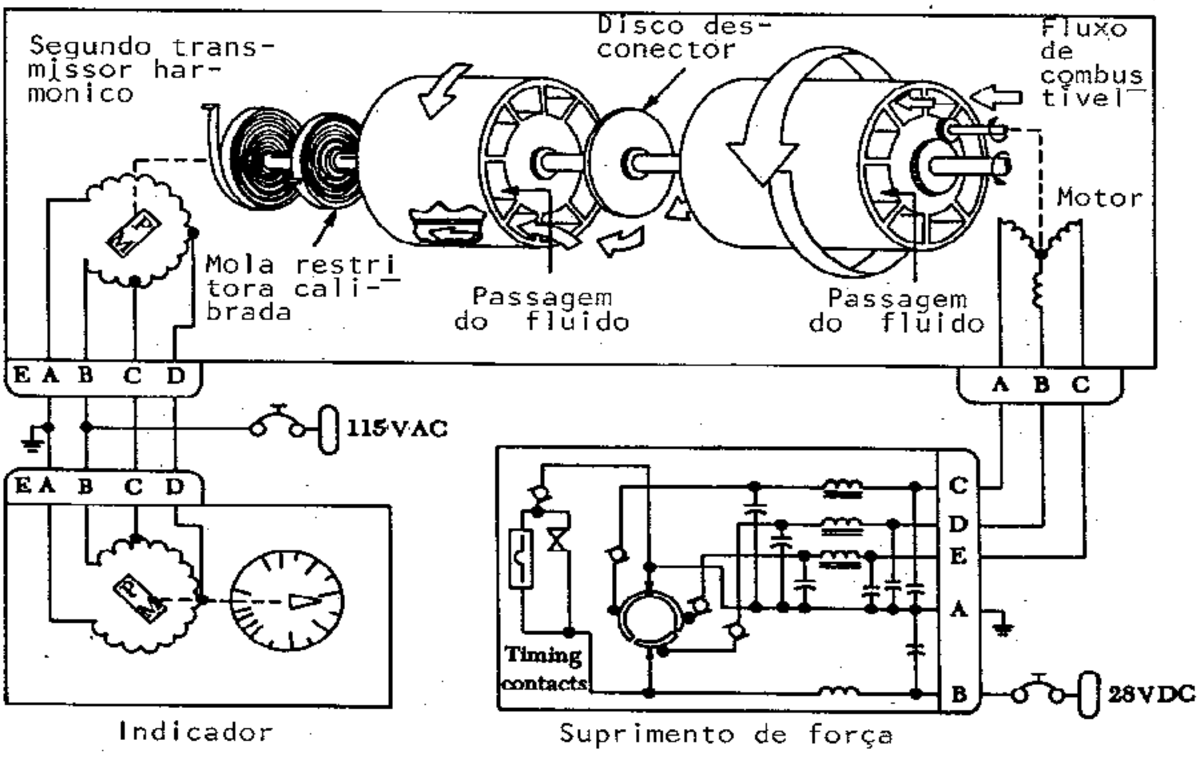

Segundo transmissor harmonico
Disco desconector
Fluxo de combustivel
Motor
Mola restritora calibrada
Passagem do fluido
Passagem do fluido
E A B C D
A B C
115VAC
E A B C D
C
D
E
A
B
Timing contacts
28VDC
Indicador
Suprimento de força

Figura 4-20 Esquema de um sistema indicador de fluxo de motor a turbina.

O transmissor usado nos motores à turbina é do tipo fluxo de massa, tendo uma faixa de 500 a 2500 libras por hora. Ele consiste de dois (2) cilindros colocados na corrente de combustível, de maneira que a direção do fluxo de combustível fique paralela aos eixos dos cilindros (ver figura 4-20). Os cilindros possuem pequenas aletas na periferia externa.

O cilindro contra a corrente chamado de "impelidor", é comandado a uma velocidade angular constante, pelo suprimento de força. Esta velocidade impõe um momento angular ao combustível.

O combustível, por sua vez, transmite esta velocidade angular para a turbina (cilindro a favor da corrente), ocasionando a rotação da turbina até que a força da mola de restrição balanceie a força, devido o movimento angular do combustível. A deflexão da turbina posiciona um magneto no segundo transmissor harmônico, para a posição correspondente ao fluxo de combustível. A posição da turbina é transmitida para o indicador na estação de vôo, por meio de um sistema "selsyn".

Indicador de pressão do combustível

É um instrumento que indica a pressão do combustível que entra no carburador. Este indicador pode ser incluído com o indicador de pressão de óleo e o indicador de temperatura de óleo, em uma caixa chamada de unidade indicadora do motor.

A maioria das aeronaves, atualmente, possuem indicadores separados para estas funções. Uma unidade de indicação do motor, é mostrada na figura 4-21.

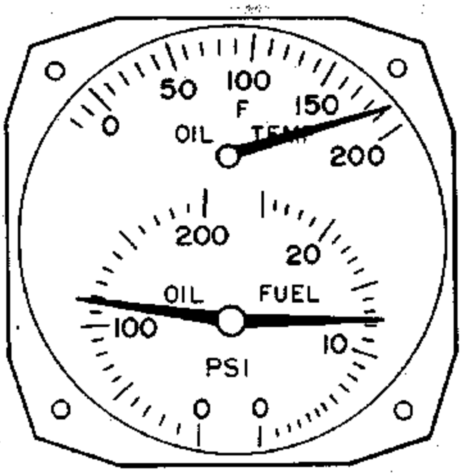

0
50
100
F
150
200
OIL
TEMP
200
20
OIL
FUEL
100
10
PSI
0
0

Figura 4-21 Indicador do motor.

O indicador de pressão do combustível, é um indicador de pressão diferencial, com duas (2) conexões na parte traseira do alojamento do indicador.

A conexão de ar, (ver figura 4-22) é ventilada para a entrada de ar do carburador, e a conexão de combustível é acoplada à câmara de entrada de combustível do carburador. Desta forma o indicador indica a diferença entre a pressão do combustível na entrada do carburador e a pressão de ar na entrada de ar do carburador.

Em algumas instalações, o acoplamento de ar no indicador é deixado aberto para comunicar-se com a pressão da cabine de comando, a qual geralmente é a mesma que a pressão atmosférica.

Quando este arranjo de ventilação é usado, a válvula de alívio da bomba de combustível do motor também é ventilada para a atmosfera, e o indicador indica a pressão de combustível, resultante somente da pressão ajustada de uma mola.

No interesse de amortecer as pulsações da pressão que causam a flutuação do ponteiro, é instalado um restritor (A) no carburador, na extremidade da linha do indicador de combustível (ver a conexão Y mostrada da figura 4-22). O segundo restritor (B) mede o combustível para o sistema de óleo, durante a diluição de óleo.

A disposição destes restritores fornece a indicação da queda na pressão de combustível, quando é usado o sistema de diluição de óleo.

O sistema de diluição de óleo será discutido detalhadamente no manual do grupo motopropulsor, e, é mencionado neste capítulo somente por causa do indicador de pressão de combustível, que fornece um meio para a verificação da operação das outras unidades do sistema de combustível.

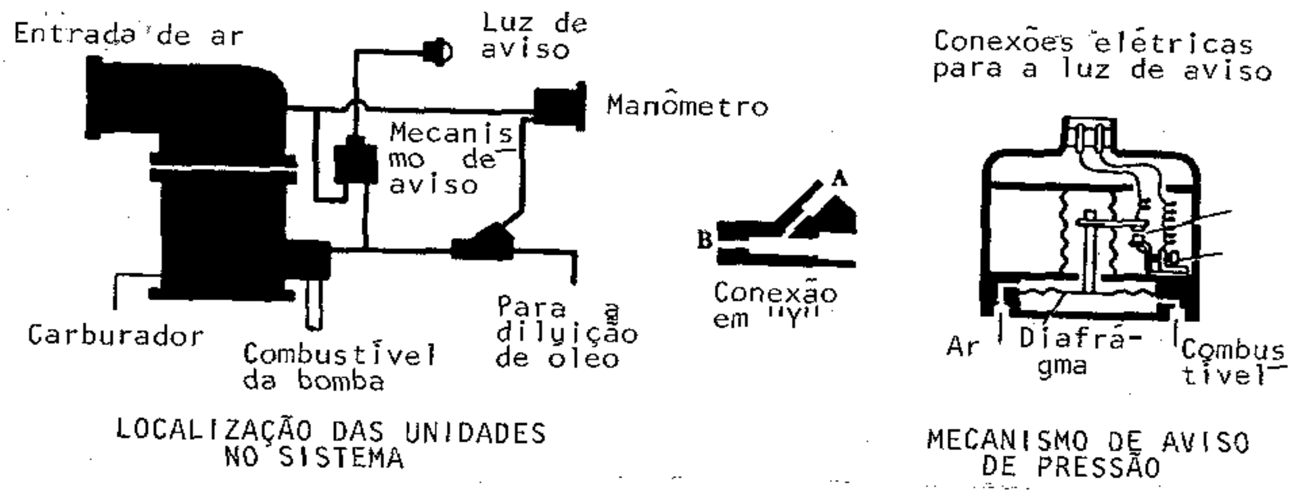


Figura 4-22 Sistema de indicação de pressão de combustível.

Em aeronaves de pequeno porte, o indicador de pressão de combustível pode ser atuado por um tubo Bourdon (um instrumento que converte as mudanças da pressão em movimento mecânico), ou um aneróide do tipo fole, instalado com uma linha de pressão, orientada diretamente, do carburador ao indicador.

Em aeronaves de grande porte, onde um instrumento de pressão de combustível está localizado a alguma distância do carburador, um transmissor é usualmente instalado.

O transmissor de pressão pode ser uma célula simples de metal fundido que é dividida em duas câmaras por um diafragma flexível. A pressão aplicada pela fonte de pressão de combustível à entrada do transmissor, desloca para cima o diafragma, elevando-o à uma pressão igual a de um fluido fino (querosene altamente refinado), o qual transfere a pressão ao mecanismo indicador. Algumas instalações, contudo, usam transmissores elétricos para registrar pressão de combustível no indicador.

Nesta instalação elétrica, a unidade indicadora de pressão está contida no transmissor. A pressão de combustível, atuando sobre o aneróide e o fole da unidade, provoca o movimento de uma parte da unidade elétrica (o transmissor síncrono).

Quando a unidade gira, ele ocasiona um movimento similar em uma unidade correspondente (o motor síncrono).

Esta unidade receptora atua o indicador no painel de instrumentos. Esta pressão e a instalação elétrica tornam desnecessária a chegada do combustível até a cabine de comando, reduzindo, portanto, o risco de fogo.

Um indicador de pressão de combustível, usualmente utilizado com sistema de injeção de combustível em motores de aviões leves, é ilustrado na figura 4-23.

Um indicador deste tipo registra a pressão de combustível medida na válvula distribuidora da unidade de injeção de combustível, e é uma indicação direta da entrega de potência do motor, quando instalada no sistema de injeção de combustível para motores de aeronaves leves. O dial do indicador é graduado para indicar porcentagem de potência. O indicador não indica a pressão da bomba comandada pelo motor ou da bomba de reforço.

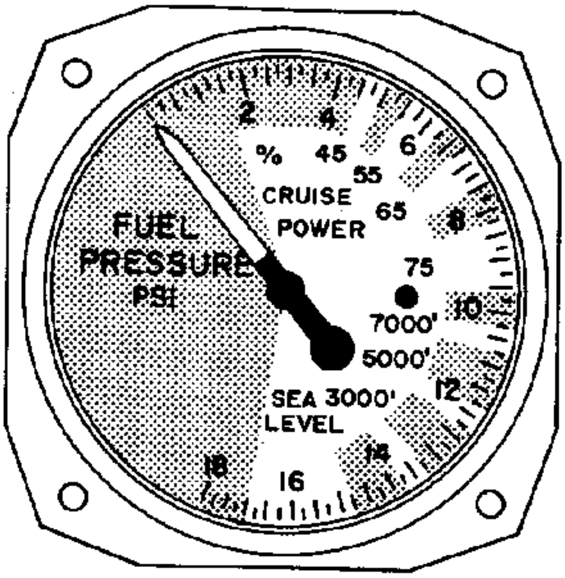


Figura 4-23 Indicador de pressão do combustível para o sistema de injeção.

Sinal de aviso de pressão

Em uma aeronave com vários tanques, existe sempre a possibilidade de perigo, de permitir que o suprimento de combustível de um tanque venha a esgotar-se antes da válvula seletora ser ligada para outro. Para prevenir isto, sinais de aviso de pressão são instalados em algumas aeronaves.

A instalação completa mostrada na figura 4-22, consiste de um mecanismo sensível à pressão e uma luz de aviso. O mecanismo de aviso possui ambas conexões, a do combustível e a do ar. A conexão marcada “FUEL” é conectada à linha de pressão de combustível do carburador, e a conexão “AIR” é ventilada para a pressão atmosférica ou para a pressão de entrada de ar do carburador. Esta disposição previne o mecanismo de aviso de atuar em resposta às mudanças da pressão absoluta do combustível.

Se, por exemplo, a pressão absoluta do combustível diminui por causa de uma mudança na pressão atmosférica ou na pressão da entrada de ar do carburador, a mudança é também refletida no mecanismo de aviso, que, depois, cancela os efeitos da mudança.

A pressão normal de combustível, atuando sobre a superfície de força do diafragma, mantém os contatos elétricos afastados. Quando a pressão do combustível cair abaixo dos limites especificados, os contatos fecham e a luz de aviso é iluminada. Isto alerta o operador a tomar a ação necessária para reforçar a pressão do combustível.

Luzes indicadoras de válvula em trânsito

Em aeronaves grandes, multimotoras, as válvulas de cada linha de combustível e de alimentação cruzada, podem ser providas com uma luz indicadora de válvula em trânsito. Esta luz estará acesa somente durante o tempo em que a válvula estiver em movimento, e apagará quando o movimento for completado.

Indicador de temperatura de combustível

Em algumas aeronaves movidas a turbina, é provido um meio para verificação da temperatura do combustível nos tanques e no motor.

Em condições de temperaturas baixas, especialmente em altitudes, o indicador pode ser checado para determinar quando a temperatura do combustível está se aproximando daquelas que podem ser perigosas, por causa da formação de cristais de gelo no combustível.

SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL PARA MULTIMOTORES

O projeto do sistema de combustível, para uma aeronave que tenha dois ou mais motores, apresenta problemas que não são normalmente encontrados em sistemas de combustível para monomotores.

Um grande número de tanques são comumente requeridos para transportar o combustível necessário. Estes tanques podem estar localizados em partes da aeronave, amplamente separadas, tais como a fuselagem e as seções interna e externa das asas.

Sistemas de combustível para um motor individual, poderá ser interconectado, de tal modo que o combustível possa ser alimentado de vários tanques à qualquer motor. Em caso de falha do motor, o combustível normalmente fornecido ao motor inoperante, poderá ficar disponível para os outros.

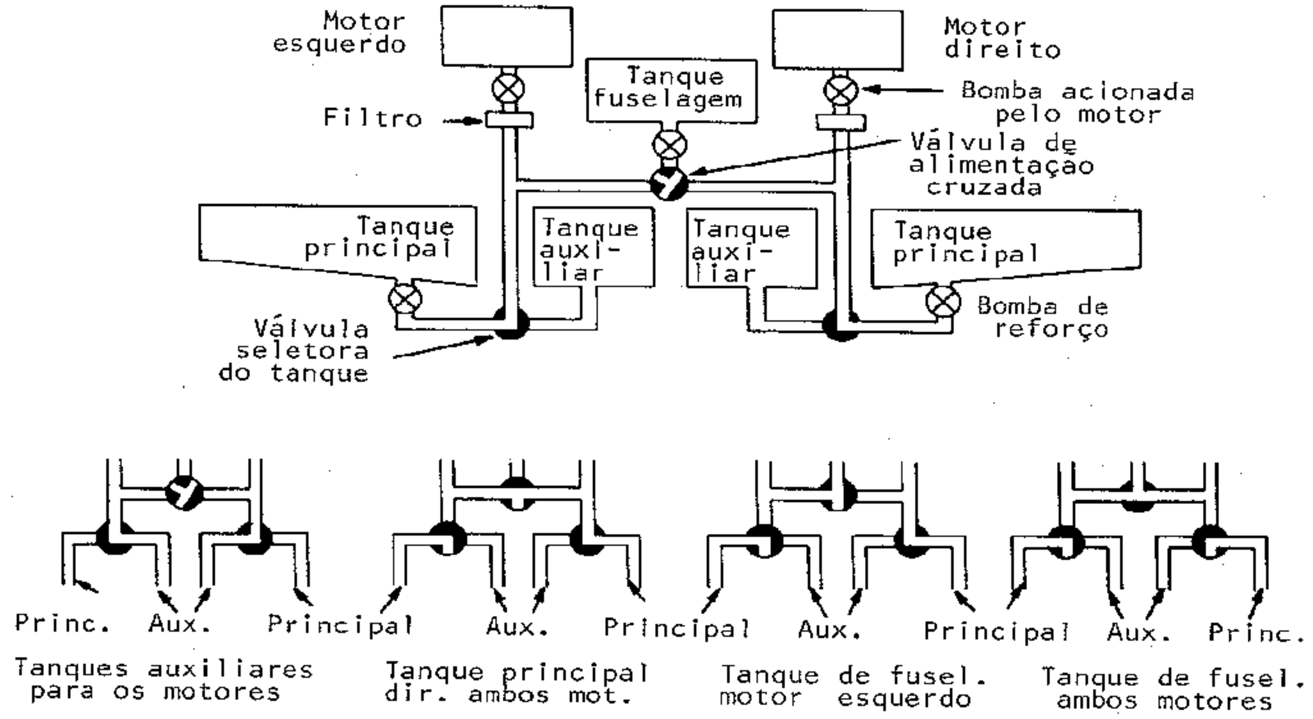

Motor esquerdo
Filtro
Tanque fuselagem
Motor direito
Bomba acionada pelo motor
Válvula de alimentação cruzada
Tanque principal
Tanque auxiliar
Tanque auxiliar
Tanque principal
Válvula seletora do tanque
Bomba de reforço
Princ.
Aux.
Principal
Aux.
Principal
Aux.
Principal
Aux.
Princ.
Tanques auxiliares para os motores
Tanque principal dir. ambos mot.
Tanque de fusel. motor esquerdo
Tanque de fusel. ambos motores

Figura 4-24 Sistema de alimentação cruzada de um bimotor.

Sistema de alimentação cruzada

O sistema de combustível para um bimotor ilustrado na figura 4-24 é do tipo simples de alimentação cruzada.

Como é mostrado, as válvulas seletoras do tanque são as que suprem alimentação do combustível dos tanques principais aos motores. Essas válvulas também podem ser posicionadas para alimentar combustível dos tanques auxiliares.

A válvula de alimentação cruzada (cross feed) é mostrada na posição fechada. Ela também pode ser ajustada para alimentar combustível do tanque da fuselagem a um ou outro, ou a ambos os motores em alimentação cruzada.

Um número pequeno de combinações, na qual as três (3) válvulas podem ser ajustadas, também está ilustrado.

Sistema de distribuição de combustível

A principal característica de um sistema para quadrimotor, mostrado na figura 4-25 é a distribuição de combustível. Este sistema de distribuição de combustível é uma variação do sistema de alimentação cruzada.

Como é mostrado na figura, o combustível está sendo alimentado dos tanques principais diretamente aos motores. As válvulas de distribuição também podem ser ajustadas, de modo que todos os tanques alimentem a linha distribuidora e cada motor receba o combustível desta linha.

A alimentação auxiliar de combustível pode ser entregue aos motores somente através da linha distribuidora. A principal vantagem deste sistema, é sua flexibilidade de seleção. Se um motor falhar, o combustível destinado a ele estará imediatamente disponível para os outros motores.

Um tanque, se é danificado, o motor correspondente pode ser alimentado com combustível proveniente da linha distribuidora.

Outra vantagem deste sistema, é que todos os tanques de combustível podem ser reabastecidos ao mesmo tempo, através de uma conexão simples da linha de distribuição. Este método de reabastecimento de combustível, tem reduzido grandemente o tempo de reabastecimento em aeronaves de grande porte, porque o combustível pode ser introduzido na linha distribuidora, sob alta pressão.

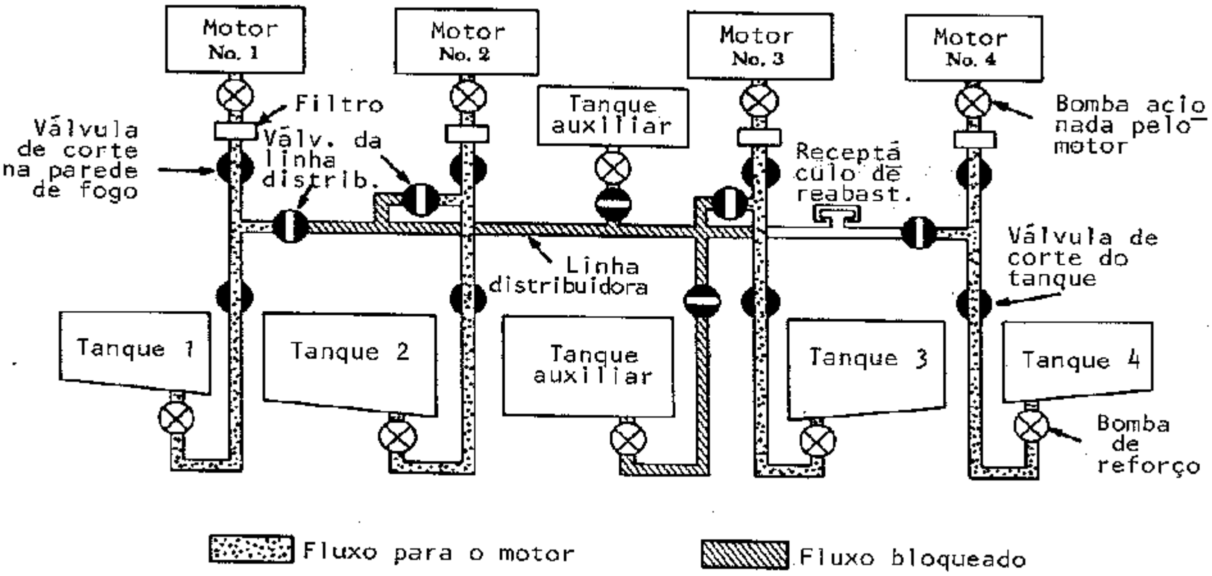

Motor No. 1
Motor No. 2
Motor No. 3
Motor No. 4
Filtro
Válvula de corte na parede de fogo
Válv. da linha distrib.
Tanque auxiliar
Receptáculo de reabast.
Bomba acionada pelo motor
Válvula de corte do tanque
Linha distribuidora
Tanque 1
Tanque 2
Tanque auxiliar
Tanque 3
Tanque 4
Bomba de reforço
Fluxo para o motor
Fluxo bloqueado

Figura 4-25 Sistema típico de alimentação cruzada.

Sistemas de alijamento de combustível

Um sistema de alijamento de combustível, é necessário para aviões da categoria de transporte, quando o peso máximo de decolagem for maior do que o peso máximo de pouso.

Esse sistema é de emergência, permitindo que a tripulação de vôo reduza rapidamente o peso do avião ao peso máximo de pouso. O sistema de alijamento de combustível é usualmente dividido em dois sistemas separados e independentes, um para cada asa, para que a estabilidade lateral possa ser mantida pelo alijamento de combustível da asa pesada, se for necessário fazê-lo.

Normalmente, se uma carga desbalanceada de combustível existir, o combustível será usado da asa pesada para alimentar os motores na asa oposta.

O sistema consiste de linhas, válvulas, bocal de alijamento, e mecanismo de operação dos bocais.

Cada asa contém um bocal de alijamento, fixa ou extensível, dependendo do sistema projetado. Em um ou outro caso, o combustível deverá ser descarregado livremente da aeronave.

ANÁLISES E PESQUISA DE FALHAS DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

No sentido de nos tornar-mos eficiente na arte de analisar e pesquisarmos devemos estar familiarizados com o sistema completo.

Para fazê-lo nos familiarizamos com os esquemas das várias partes do sistema, a nomenclatura das unidades e sua particular função dentro do sistema, estudando os manuais de manutenção da aeronave e motor.

Localização de vazamentos e defeitos

A localização de vazamentos e defeitos das partes internas do sistema de combustível, usualmente, depende da observação do indicador de pressão e operação de válvulas seletoras para determinar onde a pane existe. Análises e pesquisas de falhas internas do sistema de combustível podem ser auxiliados pela visualização das vias de fluxo de combustível, do tanque ao dispositivo medidor de quantidade notando a localização da(s) bomba(s), válvulas seletoras, válvulas de corte de emergência, etc.

A localização de vazamentos ou defeitos nas partes externas do sistema de combustível, requer muito pouco tempo em comparação com a localização de vazamentos internos do sistema. Usualmente vazamentos de combustível são evidenciados por manchas ou pontos molhados (se eles forem recentemente desenvolvidos) e pela presença do odor de combustível.

As tubulações, braçadeiras, juntas, suportes, etc., deverão ser examinados cuidadosamente em cada período de inspeção. Qualquer vazamento ou defeito interno ou externo do sistema de combustível é um potencial de perigo.

Reposição de juntas, selos e gaxetas

No sentido de prevenir vazamentos de combustível, é da maior importância que todas as juntas, selos e gaxetas sejam apropriadamente instaladas.

Os itens a seguir são algumas das precauções gerais que deverão ser sempre observadas.

Quando substituindo unidades do sistema de combustível, é necessário verificar cada parte, quanto a limpeza, assegurar-se que todo o material da junta velha seja removido, e assegurar-se de que nada do selo velho permaneça na cavidade adequada. Substituímos sempre as juntas e selos velhos por outros novos, e verificamos as juntas e selos novos quanto a limpeza e estado, assegurando uma área em ordem para o trabalho.

As superfícies de contato deverão estar perfeitamente planas, para que a junta possa cumprir a função para qual foi projetada. Parafusos, porcas e prisioneiros que mantêm as unidades juntas, deverão estar plenamente apertados ou ajustados para prevenir vazamentos através das juntas ou selos.

REPAROS NOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL

Existem três tipos básicos de tanques de combustível: de chapa de metal soldada, o integral e a célula de borracha.

A inspeção do alojamento dos tanques de combustível, ou a estrutura da aeronave quanto a evidência de vazamentos de combustível, é uma das mais importantes partes da inspeção antes do vôo.

Tanques de aço soldado

Os tanques soldados são mais comuns nas pequenas aeronaves monomotoras ou bimotoras. Se os painéis de acesso ao compartimento do tanque estiverem descoloridos, o tanque deverá ser inspecionado quanto a vazamentos. Quando os vazamentos fore encontrados, o tanque deverá ser drenado e neutralizado. O combustível deve ser drenado de acordo com as instruções locais e as recomendações do fabricante.

A neutralização do tanque pode ser executada pela descarga lenta de uma garrafa de extintor de fogo de CO^2 (no mínimo, 5 lbs de tamanho) dentro do tanque.

Nitrogênio seco pode ser usado se estiver disponível. Caso o tanque tenha que ser soldado, é necessário removê-lo.

Antes da soldagem, o tanque deverá ser ventilado por um mínimo de oito horas. Isto é para remover todos os vestígios de combustível. A pressão de ar para detectar a área do vazamento, não deve ser superior a ½ libra por polegada quadrada.

Sabão líquido ou uma solução de espuma pincelada sobre a área suspeita, poderá identificar o vazamento.

Os tanques de alumínio são fabricados de ligas soldáveis. Após a rebitagem dos remendos, os rebites podem ser soldados para nos assegurarmos de que não haverá vazamento naquela área.

Uma checagem de pressão deverá ser executada após feito o reparo, para nos certificarmos de que todos os vazamentos foram corrigidos.

Tanques de células de borracha

Os vazamentos nas células de combustível, normalmente aparecem na parte inferior do revestimento das aeronaves. Uma mancha de combustível em qualquer área deverá ser imediatamente investigada.

As células suspeitas de vazamentos devem ser drenadas, removidas da aeronave e checadas por pressão. Quando executando uma checagem de pressão, ¼ ou ½ p.s.i será o mais adequado.

Toda a manutenção das células deve ser executada, de acordo com as especificações do fabricante.

Tanques integrais

O tanque integral é uma parte fixa da aeronave. Devido a natureza do tanque integral, alguns vazamentos permitem que o combustível escape diretamente para a atmosfera. Isto torna possível considerar desprezível um pequeno vazamento que não represente perigo de fogo nem uma grande perda de combustível.

Para padronizar os procedimentos na manutenção dos tanques integrais, são classificados vários tipos de vazamentos de combustível.

Classificação dos vazamentos de combustível

A medida da área, que um vazamento de combustível umedece em um período de 30 minutos, é usada como classificação padrão.

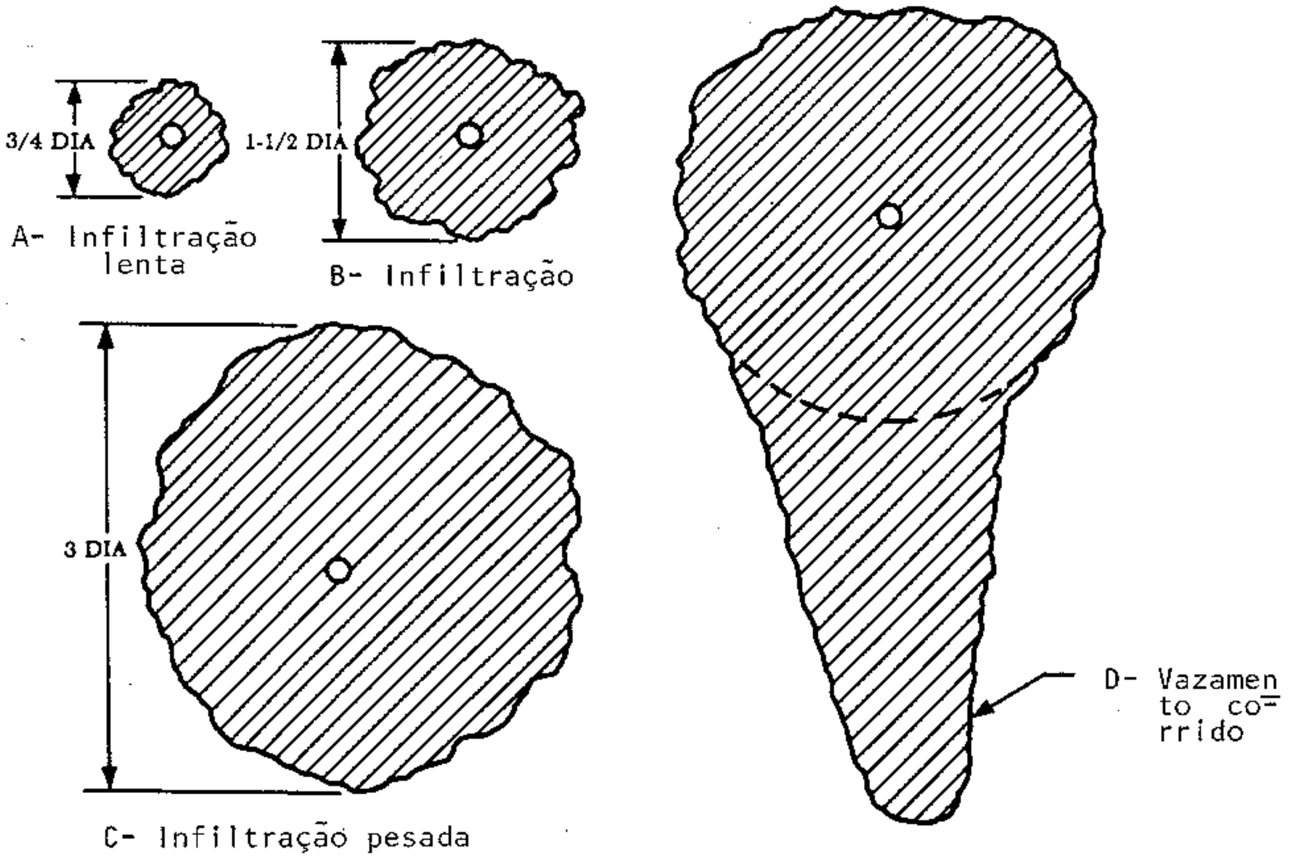


Figura 4-26 Classificação de vazamentos de combustível.

Limpamos a área do vazamento com um pano de algodão limpo, até a secagem total. Ar comprimido pode também ser usado para secar áreas difíceis. Devemos usar óculos de proteção quando utilizarmos ar comprimido na secagem. Pulverizamos a área com talco vermelho para tornar a mancha mais visível.

Após 30 minutos, cada vazamento será classificado dentro de uma das quatro classes: infiltração lenta, infiltração, infiltração pesada, ou vazamento corrido. As quatro classes de vazamento estão mostradas na figura 4-26. Uma infiltração lenta (slow seep) é um vazamento que molha uma área em torno da fonte do vazamento, menor do que ¾ de uma polegada, em diâmetro.

Uma infiltração (seep) é um vazamento que molha uma área de ¾ da polegada a 1 ½ polegada em diâmetro. Uma infiltração pesada (heavy seep) é um vazamento de combustível, que molha uma área em torno de uma fonte de vazamento, de 1 ½ polegada a 3 polegadas de diâmetro. Em nenhuma dessas três classificações o combustível escorre, flui, pinga ou se assemelha a qualquer uma dessas condições após um período de 30 minutos.

A última classificação, o vazamento corrido (running leak), é o mais severo e o mais perigoso. Ele pode pingar da superfície da aeronave, escorrer nas superfícies verticais, ou pode até escorrer o no dedo quando toca na área molhada. A aeronave está indisponível para o vôo e deverá permanecer no solo para reparo.

Quando possível, o combustível do tanque com vazamento deve ser removido, após a marca da localização do vazamento. Se for impossível remover o combustível imediatamente, a aeronave deverá ser isolada em uma área pré-determinada. Colocamos os sinais de aviso apropriados em torno da aeronave, até que o pessoal qualificado remova o combustível do tanque avariado.

A indisponibilidade da aeronave por infiltração lenta, infiltração e infiltração pesada, é determinada pelo manual da aeronave. Esta determinação pode depender da localização do vazamento. Por exemplo, pode o vazamento progredir para uma potencial fonte de fogo? O número de vazamentos em uma determinada área é também um fator contribuinte. Não há uma regra exata para determinar que a aeronave fique indisponível. O vazamento corrido torna a aeronave indisponível, independente da localização.

Podemos ter que lançar no relatório da aeronave, e periodicamente observarmos o progresso do vazamento para determinar se a aeronave estará disponível ou se deverá ser reparada. Quando for necessário o reparo, devemos descobrir a causa do vazamento e efetuar um reparo eficaz.

Reparos de vazamentos

Os reparos de vazamentos, em tanques integrais, devem ser executados de acordo com as determinações do fabricante da aeronave, não sendo, por isso, discutidos neste Manual.

Seguranças contra fogo

O primeiro e mais difícil item na execução da segurança contra fogo, é corrigir o errado conceito sobre a segurança do combustível para turbinas. Logo que esse combustível foi introduzido, muita gente dizia que: " os problemas de fogo em aeronaves estão ultrapassados, o combustível para turbinas é completamente seguro". Isto obviamente é uma tolice, uma tolice persistente.

O pessoal da linha de vôo está de acordo que a gasolina queima, e, portanto, eles têm exercido razoável cuidado e cautela no seu manuseio. No entanto, eles têm tido dificuldade de serem convencidos de que, sob certas circunstâncias, o combustível para turbinas é exatamente tão perigoso sob o ponto de vista de fogo.

As caracerísticas do combustível para turbinas são diferentes daquelas da gasolina.

O querosene, por exemplo, tem uma baixa propagação de chama e da razão de queima, que o torna menos perigoso no caso de um derramamento ou de um acidente no solo. Entretanto, ele se inflama rapidamente quando vaporizado, ou quando pulverizado através de um pequeno vazamento em uma tubulação.

Uma desvantagem dos combustíveis de baixa volatilidade é que eles não evaporam rápida e completamente se derramados na pista, quando um tratamento especial da área é requerido. Pequenas poças de querosene deverão ser removidas com agentes de limpeza absorventes. Nos grandes derramamentos, o melhor é aplicar um emulsificador aprovado e em seguida lavar a mistura resultante com um grande volume de água. Isto evitará ou reduzirá apreciavelmente qualquer resíduo de óleo.

Exatamente como com a gasolina, uma carga eletrostática pode ser formada no bombeamento do combustível através de uma tubulação do sistema.

De fato, a quantidade de carga é maior no querosene por causa do maior peso específico e da extensa gama do ponto de ebulição. A quantidade de carga também aumenta com a alta razão linear do fluxo de combustível, semelhante ao requerido para o reabastecimento de uma aeronave com motor a turbina.

Em conseqüência, todas as precauções de segurança contra fogo, observadas durante o manuseio da gasolina, devem ser seguidas com igual cuidado quando manuseando com o combustível para turbinas.

Essas precauções são bastante conhecidas e estão detalhadas no boletim nº 47 da National Fire Protection Association. É recomendado que este boletim seja do conhecimento de todo pessoal que manuseia com combustível para turbinas.

CAPÍTULO 5

TUBULAÇÕES E CONEXÕES

INTRODUÇÃO

O termo "tubulações de aeronaves" , não se refere somente a mangueiras, tubos e conexões usados em aeronave; mas, também, aos processos de formação e instalação deles.

Ocasionalmente, pode ser necessário reparar ou substituir as tubulações que estejam danificadas nas aeronaves. Na maioria das vezes, o reparo pode ser feito pela simples substituição do tubo. Mas se a substituição não for possível, a fabricação daquela peça torna-se necessária.

A substituição de uma tubulação deverá ser feita por outra do mesmo material e do mesmo formato.

Todas as tubulações são testadas, quanto a pressão, antes da instalação inicial; e são designadas para resistir muitas vezes a pressão normal de operação, para a qual elas serão submetidas.

Se um tubo estourar ou rachar, isto geralmente é o resultado de uma severa vibração, instalação imprópria, ou dano causado pela colisão ou atrito com outro objeto.

Todas as falhas de tubulações deverão ser cuidadosamente estudadas, até que a causa da falha seja determinada.

TUBULAÇÕES

As linhas de tubulações de aeronaves, usualmente são feitas de tubos de metal e ou conexões; ou de tubos flexíveis (mangueiras).

As tubulações de metal são amplamente usadas em aeronaves, para as linhas de combustível, óleo, fluido refrigerante, oxigênio, instrumentos e sistemas hidráulicos.

As tubulações flexíveis são, geralmente, usadas com partes móveis, ou onde a tubulação esteja sujeita a vibração considerável.

Geralmente, as tubulações de liga de alumínio ou de aço resistente à corrosão, têm substituído as tubulações de cobre.

O alto fator de fadiga, das tubulações de cobre, é a razão principal para esta substituição. A vibração o torna endurecido e frágil, e sujeito à rachaduras; porém ele pode ser restaurado pelo recozimento, aquecido ao rubro e mergulhado em água fria.

A refrigeração pelo ar resultará em um certo grau de amolecimento, mas nunca igual ao obtido com a água fria. Este processo de recozimento deve ser executado, se o tubo de cobre for removido por qualquer razão.

A inspeção do tubo de cobre por rachaduras, endurecimento, fragilidade e condições gerais, deverá ser executada em intervalos regulares para impedir falhas.

A maneabilidade, a resistência à corrosão, e o baixo peso do alumínio e suas ligações; são os principais fatores nesta adoção para as tubulações das aeronaves.

Em algumas instalações hidráulicas especiais de alta pressão (3.000 p.s.i.), são usadas as tubulações de aço resistente à corrosão; as recozidas ou as de 1/4 de dureza.

As tubulações de aço, resistente à corrosão, não devem ser recozidas para "flangear"ou dar a forma necessária. De fato, a seção flangeada é um tanto endurecida pelo trabalho à frio e pelo esforço, durante o processo de flangeamento.

Este aumento da resistência à tensão permite o uso de tubulações com paredes finas; em consequência, o peso final da instalação não é muito maior do que àquela, com tubulações de liga de alumínio e paredes mais grossas.

IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Antes de efetuar reparos em qualquer tubulação de aeronave, é importante efetuar uma acurada identificação do material que são feitas.

As tubulações de liga de alumínio ou aço, podem ser identificadas imediatamente, pela observação do local, onde está sendo usada como material básico. Porém é difícil determinar se o material é aço carbono, aço inoxidável, ou se é liga de alumínio 1100, 3030, 5052-0, ou 2024-T.

Pode ser necessário testar amostras do material quanto à dureza pelo uso da lima, e quanto a arranhões usando um riscador. O teste do imã é o método mais simples para distinguir entre o aço inoxidável recozido austenítico e o ferrítico. Os tipos austeníticos não são magnéticos, a menos que excessivamente trabalhados à frio; considerando que o carbono cromado puro e as baixas ligas dos aços são fortemente magnéticos. A figura 5-1, fornece os métodos de identificação dos cinco materiais metálicos, usando os testes do imã e do ácido nítrico concentrado.

Material	Teste do imã	Teste do ácido nítrico
Aço carbono	Fortemente magnético	Ação química lenta, marron
18-8	Não magnético	Nenhuma ação
Níquel puro	Fortemente magnético	Ação lenta, verde claro
Monel	Ligeiramente magnético	Ação rápida, azul esverdeado
Aço níquel	Não magnético	Ação rápida, azul esverdeado

Figura 5-1. Identificação dos materiais metálicos

Comparando as marcações em código da tubulação substituta com a marcação original da tubulação que está sendo substituída, é possível identificar definitivamente o material usado na instalação original. A designação da liga é estampada na superfície das grandes tubulações de liga de alumínio; enquanto que nas pequenas, a designação pode ser estampada na superfície - mas muitas vezes ela é mostrada por um código de cores.

Faixas com o código de cor e com a largura máxima de quatro polegadas são pintadas nas duas extremidades e aproximadamente, no meio de algumas tubulações. Quando a faixa é composta de duas cores, a metade é usada com cada uma. Os códigos de cores usados para identificar a liga de alumínio das tubulações são:

Número de liga de alumínio	Cor da faixa
1100	Branca
3003	Verde
2014	Cinza
2024	Vermelha
2052	Púrpura
6053	Preta
6061	Azul e Amarelo
7075	Marron e Amarelo

As tubulações de liga de alumínio, 1100 (1/2 duro) ou 3003 (1/2 duro), são usadas em linhas de uso geral com fluidos, sob pressão baixa ou desprezível, como as linhas dos instrumentos e condutos de ventilação.

O 2024-T e o 5052-O são materiais usados em tubulações de sistemas de uso geral, com pressão baixa ou média, como sistema hidráulico ou pneumático, com pressões entre 1.000 e 1.500 p.s.i.; e linhas de combustível e óleo. Ocasionalmente esses materiais são usados em sistemas de alta pressão (3.000 p.s.i.).

Tubulações feitas com as ligas de alumínio, 2024-T e 5052-O, resistirão uma moderada alta pressão antes de um rompimento. Estes materiais são facilmente flangeados e, são macios o bastante, para serem formados com ferramentas manuais.

Eles devem ser manuseados com cuidado para evitar arranhões, mossas e cortes.

A tubulação de aço resistente à corrosão, tanto a recozida como a de 1/4 de dureza, é usada extensivamente em sistemas hidráulicos de alta pressão, para a operação do trem de pouso, flapes, freios e semelhantes.

As linhas de freio externas devem ser sempre de aço resistente à corrosão, para diminuir o risco de danos causados por pedras, atiradas pelos pneus durante a decolagem e o pouso, e pelo manuseio descuidado no solo.

Embora as marcas de identificação das tubulações de aço sejam diferentes; cada uma, normalmente, inclui o nome do fabricante ou marca registrada, o número SAE, e a condição física do metal.

As tubulações de metal são medidas pelo diâmetro externo, sendo indicadas em 16 avos de polegada. Então, o tubo número 6 mede 6/16 de polegada (ou 3/8"), e o tubo número 8 mede 8/16 de polegada (ou 1/2"), etc.

Como acréscimo para outra classificação ou meio de identificação, as tubulações são fabricadas com várias espessuras de parede.

Assim, quando um tubo está sendo instalado, é importante conhecer não somente o material e o diâmetro externo, mas também a espessura da parede do tubo.

TUBULAÇÕES FLEXÍVEIS (Mangueiras)

As tubulações flexíveis são usadas nos sistemas de tubos, para conectar partes móveis com partes estacionárias, em locais sujeitos a vibração, ou onde uma grande flexibilidade for necessária.

Elas podem, também, atuar como um conector em sistemas de tubulações metálicas.

Mangueiras sintéticas

Os materiais sintéticos mais usados na fabricação de tubos flexíveis são: Buna-N, Neoprene, Butyl e Teflon (marca registrada da Du Pont).

O Buna-N é um composto de borracha sintética, que tem excelente resistência aos produtos do petróleo. Não deve ser confundido com Buna-S. Não usar para fluidos hidráulicos com base fosfato éster (Skydrol).

Neoprene é um composto de borracha sintética, que tem uma base de acetileno. Sua resistência aos derivados do petróleo não é tão boa como a Buna-N, mas tem melhor resistência abrasiva. Não usar para fluidos hidráulicos com base fostato éster (Skydrol).

Butyl é um composto de borracha sintética, feito de materiais do petroleo bruto. Ele é um material excelente para uso com fluidos hidráulicos, com base fosfato éster (Skydrol). Não usar com derivados do petróleo.

Teflon é a marca registrada Du Pont, para a resina de tetrafluoroetileno. Ele tem uma extensa gama de temperaturas de operação (-54ºC a +230ºC ou -65ºF a +450ºF), é compatível com quase todas as substâncias ou agentes usados e oferece pequena resistência ao fluxo. Materiais viscosos e pegajosos, não aderem ao Teflon, que tem menos expansão volumétrica do que a borracha e o período de estocagem e o de serviço, que são praticamente ilimitada.

Mangueiras de borracha

A mangueira de borracha flexível, consiste de um tubo interno de borracha sintetica, sem costura, coberto com camadas de algodão trançado e malha de arame, e uma outra camada de borracha, impregnada com malha de algodão.

Este tipo de tubulação é adequado para o uso com combustível, óleo, refrigerante do motor e sistemas hidráulicos. Os tipos de mangueiras, são, normalmente, classificados pela quantidade de pressão que elas são destinadas a resistir, sob as condições normais de operação.

1. Baixa pressão: qualquer pressão abaixo de 250 p.s.i. Reforço de tecido trançado.
2. Média pressão: pressões até 3.000 p.s.i. Reforço de uma malha de arame. Menores medidas suportam pressão até 1.500 p.s.i.
3. Alta pressão: todas as medidas até 3.000 p.s.i. de pressões de operação.

As marcas de identificação, consistindo de linhas, letras e números, são impressas nas mangueiras flexíveis (ver a figura 5-2). Essas marcações, em código, fornecem informações como: medida da mangueira, fabricante, data da fabricação e limites de pressão e de temperatura.

As marcações em código auxiliam na substituição de uma mangueira flexível por outra da mesma especificação, ou uma substituta recomendada.

A mangueira adequada, para o uso com fluido hidráulico de base fosfato éster, é marcada com "Skydrol use".

Em algumas ocasiões, vários tipos de mangueiras podem ser adequados para um uso idêntico. Portanto, para uma perfeita seleção de mangueiras, consultar sempre o manual de manutenção, ou o de peças, para uma aeronave em particular.

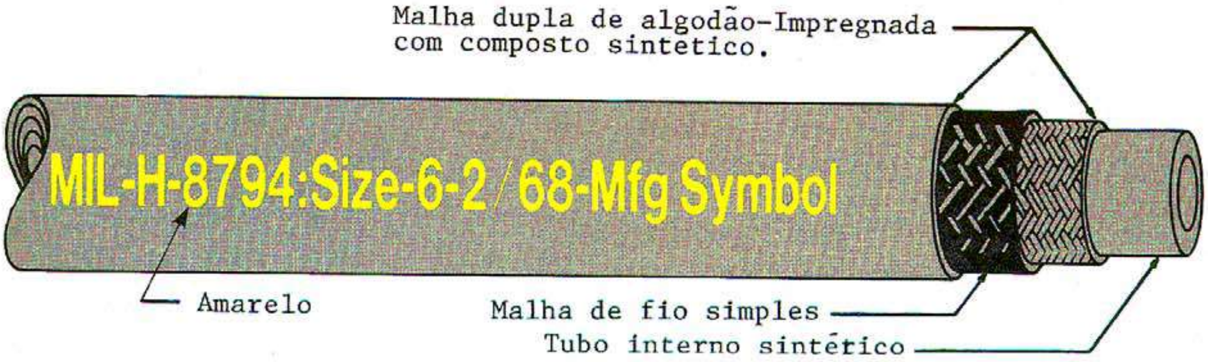
Mangueiras de Teflon

A mangueira flexível de Teflon é projetada para satisfazer às condições de altas temperaturas e pressões, encontradas nos sistemas das aeronaves. Ela pode ser usada da mesma maneira que as mangueiras de borracha. As mangueiras de Teflon são processadas e extrudadas, no formato de tubo, para um determinado tamanho. Elas são cobertas com fios de aço inoxidável, os quais são trançados sobre o tubo, para resistência e proteção.

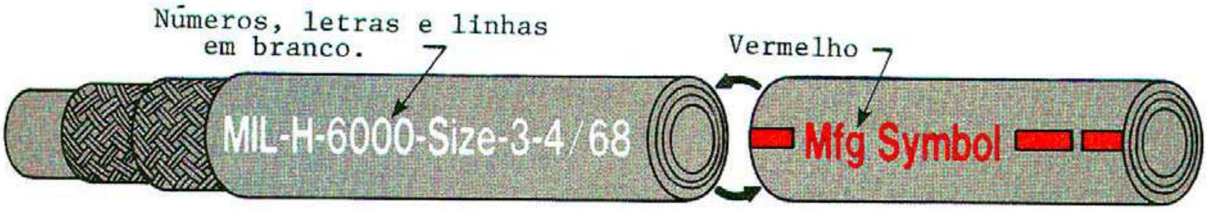
A mangueira de Teflon não é afetada por qualquer combustível conhecido, petróleo ou óleos de base sintética, alcools, líquidos de refrigeração ou os solventes normalmente usados em aeronaves. Embora tenha uma alta resistência à vibração e fadiga, a principal vantagem dessa mangueira é a sua resistência de operação.

Designação do Tamanho

A medida das mangueiras flexíveis é determinada pelo seu diâmetro interno. As variações de tamanho são em incrementos de 1/16 de polegada, e são idênticos aos tamanhos correspondentes das tubulações, com as quais elas podem ser usadas.

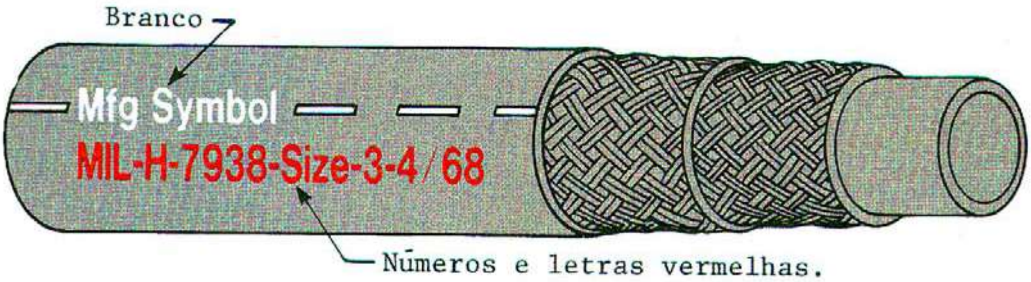

Malha dupla de algodão-Impregnada com composto sintético.
MIL-H-8794:Size-6-2/68-Mfg Symbol
Amarelo
Malha de fio simples
Tubo interno sintético

A - Resistente a fogo e combustíveis aromáticos.

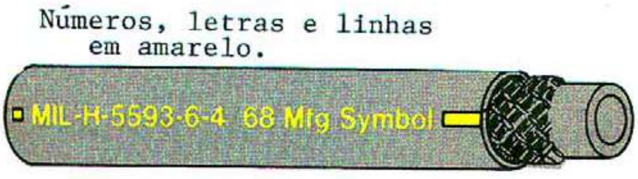

Números, letras e linhas em branco.
Vermelho
MIL-H-6000-Size-3-4/68
Mfg Symbol

(Vistas mostrando os lados opostos)

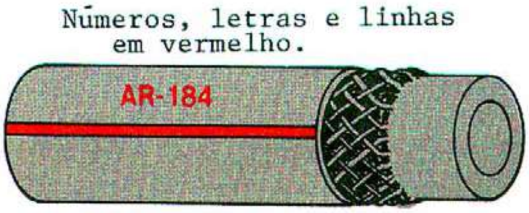
B - Mangueira resistente a fogo e combustíveis aromáticos.


Branco
Mfg Symbol
MIL-H-7938-Size-3-4/68
Números e letras vermelhas.

C - Mangueira resistente ao óleo, fogo e aromáticos.


Números, letras e linhas em amarelo.
MIL-H-5593-6-4 68 Mfg Symbol

D - Resistente a aromáticos e
não é auto-selante.


Números, letras e linhas em vermelho.
AR-184

E - Resistente a aromáticos e
não é auto-selante.

Figura 5-2 Identificação de tubulações flexíveis.

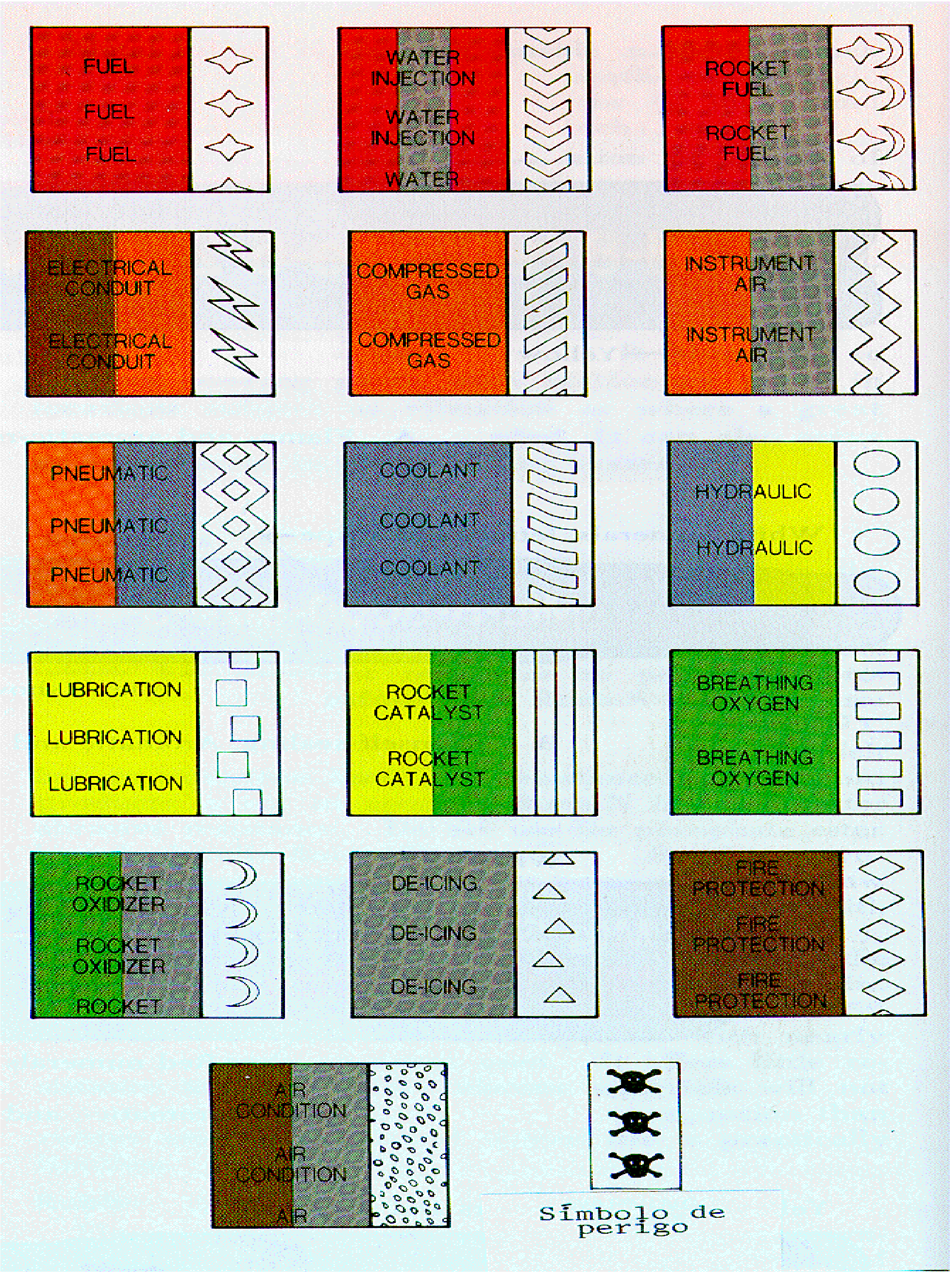

FUEL
WATER INJECTION
ROCKET FUEL
ELECTRICAL CONDUIT
COMPRESSED GAS
INSTRUMENT AIR
PNEUMATIC
COOLANT
HYDRAULIC
LUBRICATION
ROCKET CATALYST
BREATHING OXYGEN
ROCKET OXIDIZER
DE-ICING
FIRE PROTECTION
AIR CONDITION
Símbolo de perigo

Figura 5-3 Identificação das linhas de fluídos de aeronaves.

Identificação das Linhas de Fluido

As linhas de fluido das aeronaves, são muitas vezes, identificadas por marcações em código de cores, palavras e símbolos geométricos. Essas marcações identificam a função, o conteúdo e o principal perigo de cada linha, tão bem quanto a direção do fluido. A figura 5-3 ilustra os vários códigos de cores e os símbolos usados para designar o tipo de sistema e seu conteúdo.

Na maioria das vezes, as linhas de fluido são marcadas com decalques ou tiras de uma polegada de largura, como mostra a figura 5-4 (A). Em linhas de 4 polegadas de diâmetro (ou maiores), linhas em ambientes gordurosos, linhas quentes e em algumas linhas frias, etiquetas de aço podem ser usadas no lugar de fitas adesivas ou decalques, como é mostrado na figura 5-4 (B). A pintura deve ser usada em tubulações, nos compartimentos do motor onde poderá haver a possibilidade dos decalques, fitas adesivas ou etiquetas a serem sugadas pelo sistema de indução do motor.

Além das marcações mencionadas, certas linhas podem ser identificadas com marcações adicionais, como a função específica de um sistema; por exemplo, DRENO (DRAIN), VENTILAÇÃO (VENT), PRESSÃO (PRESSURE), ou RETORNO (RETURN).

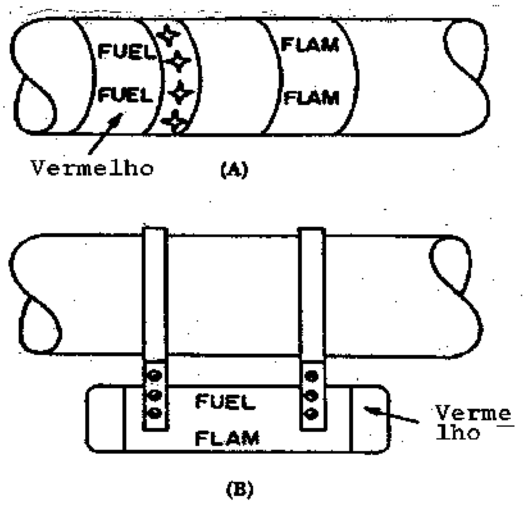


Figura 5-4 Identificação das linhas de fluído usando: (A) fitas e decalques e (B) etiquetas metálicas.

As linhas transportando combustível podem ser marcadas INFLAMÁVEL (FLAM), e as linhas contendo material tóxico são marcadas TÓXICO (TOXIC) no lugar de INFLAMÁVEL (FLAM). As linhas contendo materiais que possam causar danos físicos, tais como oxigênio, nitrogênio ou freon, são marcadas PHDAN (*physically dangerous*).

Os fabricantes do motor da aeronave são responsáveis pela instalação original das marcas de identificação, mas o mecânico de aviação é responsável pela sua substituição, quando se tornar necessário.

Geralmente, fitas adesivas e decalques, são colocados em ambos os finais de uma linha, e pelo menos um a mais em cada compartimento, por onde a linha passa. Além disso, marcas de identificação são colocadas próximas de cada válvula, regulador, filtro, ou outro acessório, que faça parte de uma linha.

Onde pintura ou etiqueta é usada, as exigências de localização são as mesmas, para as fitas adesivas e os decalques.

CONEXÕES

Os conectores de tubulações ou conexões unem um pedaço de tubo ao outro, ou a uma unidade do sistema. Eles são de quatro tipos: (1) conexões flangeadas, (2) conexões sem flange, (3) friso e braçadeira, e (4) estampadas. A quantidade de pressão que o sistema utiliza é normalmente o fator de decisão na seleção de um conector. O tipo de junta frisada, que necessita de friso, uma seção de tubo flexível (durite) e braçadeiras, é usado somente em sistemas de baixa ou média pressão, como os sistemas de vácuo ou refrigeração do motor. Os tipos flangeados, sem flange e estampados, podem ser usados como conectores em todos os sistemas, independente da pressão.

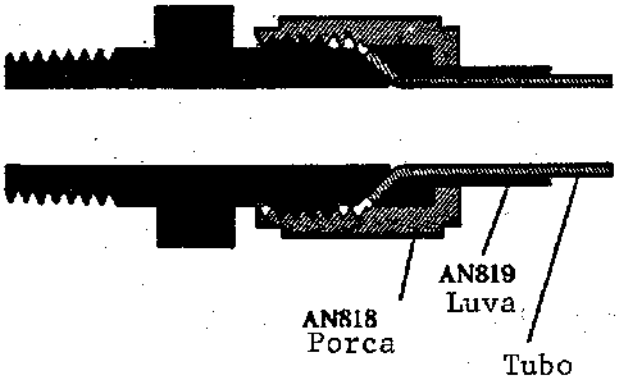


Figura 5-5 Conexão em tubo flangeado.

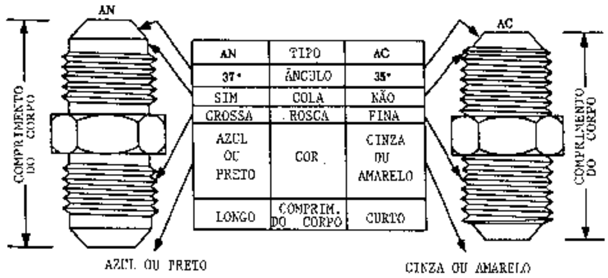


Figura 5-6 Diferenças entre conexões AN e AC.

Conexões Flangeadas

Uma conexão flangeada consiste de uma luva e uma porca, como é apresentado na figura 5-5. A porca é ajustada sobre a luva e, quando apertada, puxa a luva e o tubo, ajustando-os de encontro a conexão, formando um selo.

A tubulação usada com este tipo de conexão deverá ser flangeada antes da instalação.

A conexão "macho", tem a superfície em forma de cone, com o mesmo ângulo da parte interna do flange. A luva apoia o tubo, para que a vibração não se concentre na borda da flange e distribua a ação de cisalhamento sobre uma extensa área, para aumentar a resistência. O flangeamento do tubo e a instalação da conexão adequada, serão discutidos em detalhes mais adiante, neste capítulo.

As conexões flangeadas do tipo AC (Air Corps), vêm sendo substituídas pelas do tipo AN (Army Navy) padrão e MS (Military Standard). Mas, como as conexões AC são usadas em algumas antigas aeronaves, é conveniente saber identificá-las. A conexão AN tem uma gola entre o final da rosca e o cone do flange (ver a figura 5-6). A conexão AC não possue essa gola.

Outras diferenças, entre as conexões AC e AN, incluem o formato da luva, que nas conexões AC são bem mais compridas do que as luvas das conexões AN do mesmo diâmetro. Embora certas conexões flangeadas sejam intercambiáveis, o passo da rosca é diferente na maioria dos casos.

A figura 5-7 apresenta as conexões AN e as AC 811, que podem ser seguramente permutáveis.

As combinações das extremidades das conexões, porcas, luvas e flanges dos tubos, são permitidas para confeccionar um conjunto de conexão completo. O uso de metais diferentes deve ser evitado, uma vez que os seus contatos causarão corrosão.

Diâmetro esterno do tubo	Tipo de rosca da conexão (Mancho)	Tipo da porca (Femea)	Tipo da luva	Flange do tubo
Todas as medidas[1]	AN[1]	AN[1]	AN[1]	AN[1]
Todas as medidas[2]	811[2]	811[2]	811[2]	811[2]
Todas as medidas	AN	AN	AN	811
Todas as medidas	AN	AN	811	811
Todas as medidas	AN	AN	811	AN
Todas as medidas	811	811	811	AN
Todas as medidas	811	811	AN	AN
Todas as medidas	811	811	AN	811
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	AN	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	AN	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	811	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	811	AN

---

[1] Conjunto normal de conexão AN.

[2] Conjunto normal de conexão AC 811.

Figura 5-7a Intercâmbio de conexões AN e AC 811.

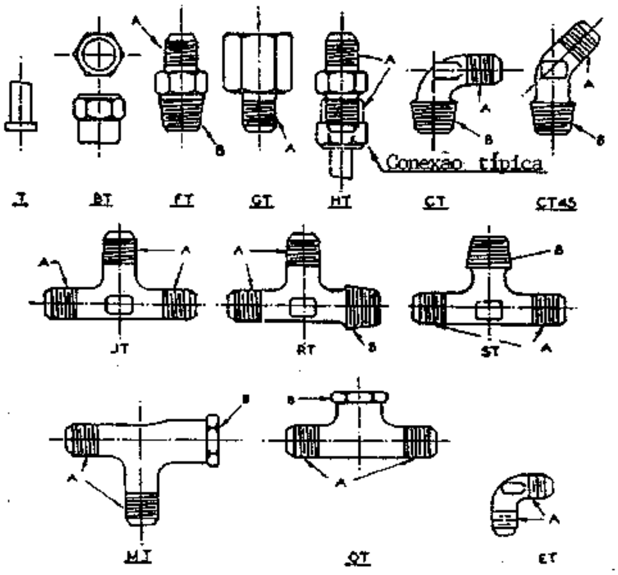


Figura 5-7b Conexões sem solda AC 811.

AN774 a AN932

Material:

Liga de alumínio .... (código D)

Aço............................... (código isento de letra)

Latão ....(código B)

Bronze alumínio..(código Z para a luva AN 819)

Medidas:

O número após o traço seguindo o número AN, indica a medida do tubo (ou mangueira) para a qual a conexão foi feita, em 16 avos da polegada. Esse é a medida do diâmetroexterno (O.D.) do tubo e o diâmetro interno (I.D.) da mangueira. Conexões com tubo rosqueado são codificados por números após o traço, indicando a medida em oitavos da polegada. A letra de código do material, como indicado acima, vem a seguir do traço.

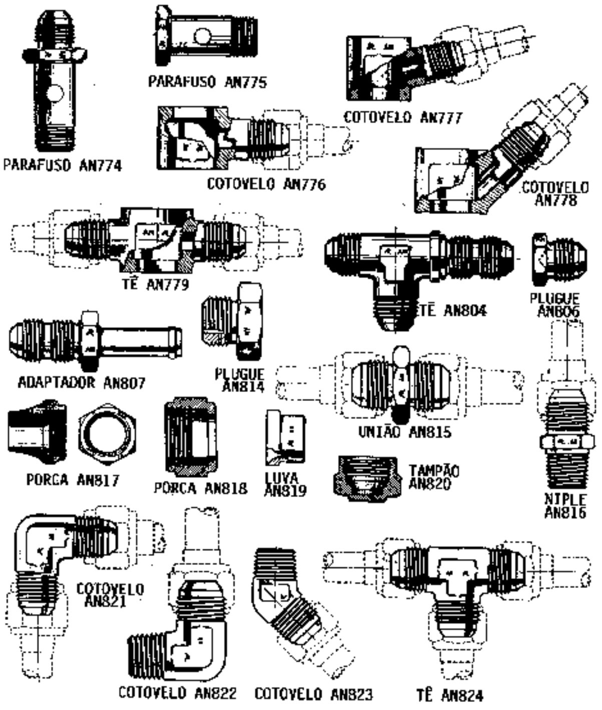

PARAFUSO AN775
COTOVELO AN777
PARAFUSO AN774
COTOVELO AN776
COTOVELO AN778
TÊ AN779
TÊ AN804
PLUGUE AN806
ADAPTADOR AN807
PLUGUE AN814
UNIÃO AN815
PORCA AN817
PORCA AN818
LUVA AN819
TAMPÃO AN820
NIPLE AN816
COTOVELO AN821
COTOVELO AN822
COTOVELO AN823
TÊ AN824

Figura 5-8a Conexões AN.

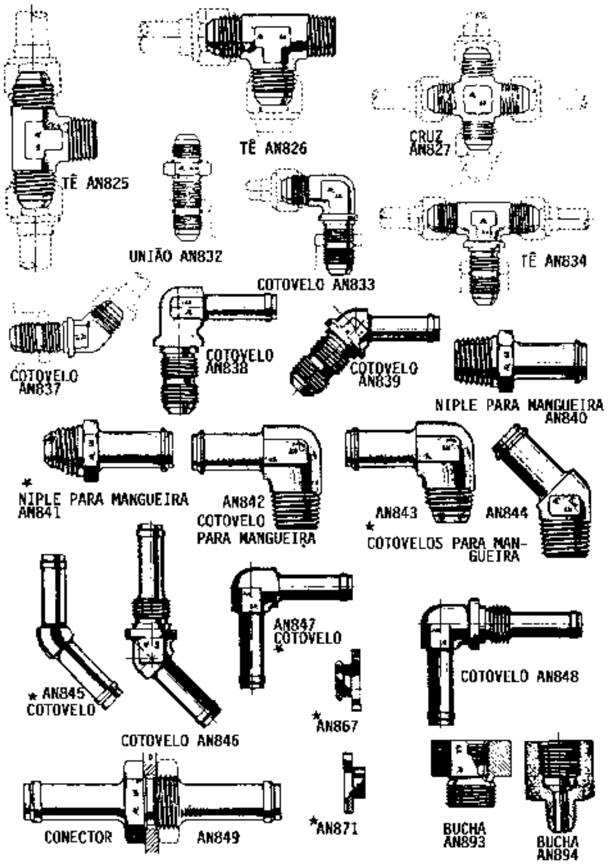
A conexão padrão AN, é a mais comum, no uso de tubos flangeados, para unir tubulações para as várias conexões, nos sistemas das aeronaves. A conexão padrão AN inclui a porca AN 818 e a luva AN 819 (ver figura 5-8). A luva AN 819 é usada com a porca de acoplamento AN 818.

Todas estas conexões têm roscas retas, mas com passos diferentes para os vários tipos.

As conexões flangeadas são feitas de liga de alumínio, aço ou ligas à base de cobre.

Com a finalidade de identificação, todas as conexões AN de aço são coloridas de preto e, todas as co nexões AN de liga de alumínio são azuis.

As luvas AN, de alumínio e bronze, são banhadas de cádmio e não são coloridas. A medida dessas conexões é dada em números após um traço, os quais se igualam ao diâmetro externo nominal do tubo (O.D.) em dezesseis avos de uma polegada.


TÊ AN825
TÊ AN826
CRUZ AN827
UNIÃO AN832
COTOVELO AN833
TÊ AN834
COTOVELO AN837
COTOVELO AN838
COTOVELO AN839
NIPLE PARA MANGUEIRA AN840
* NIPLE PARA MANGUEIRA AN841
AN842 COTOVELO PARA MANGUEIRA
AN843 *
AN844
COTOVELOS PARA MANGUEIRA
* AN845 COTOVELO
COTOVELO AN846
AN847 COTOVELO *
*AN867
COTOVELO AN848
CONECTOR AN849
*AN871
BUCHA AN893
BUCHA AN894

★ Inativos para novos projetos.

Figura 5-8b Conexões AN

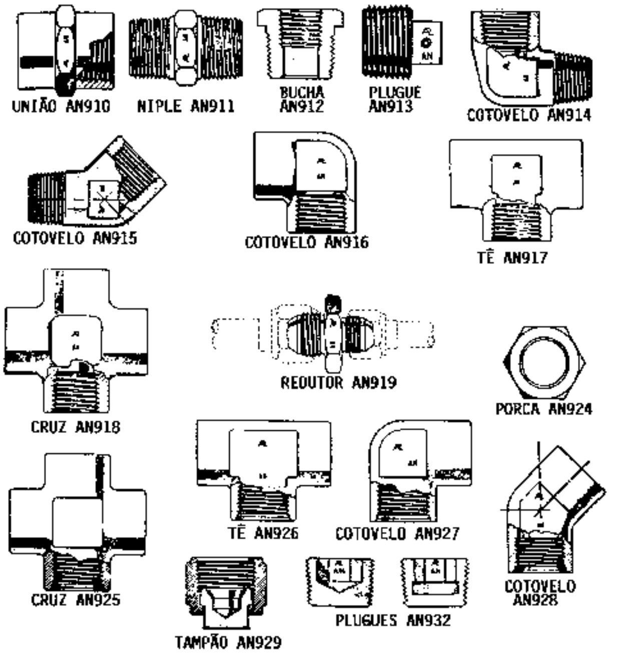

UNIÃO AN910
NIPLE AN911
BUCHA AN912
PLUGUE AN913
COTOVELO AN914
COTOVELO AN915
COTOVELO AN916
TÊ AN917
CRUZ AN918
REDUTOR AN919
PORCA AN924
TÊ AN926
COTOVELO AN927
CRUZ AN925
COTOVELO AN928
PLUGUES AN932
TAMPÃO AN929

Figura 5-8c Conexões AN.

As conexões flangeadas têm dois tipos de extremidade, chamadas de "macho"e "fêmea". A extremidade macho de uma conexão é rosqueada externamente, enquanto que, a extremidade fêmea de uma conexão é internamente.

Conexões sem Flange

As conexões sem flange MS (*Military Standard*), têm obtido ampla aplicação nos sistemas de tubulações de aeronaves. Usando este tipo de conexão, elimina-se todo o flangeamento de tubos, e ainda proporciona-se uma conexão de tubo segura, forte e digna de confiança. A conexão consiste de três partes: um corpo, uma luva e uma porca. O corpo tem um ressalto contra o qual a extremidade do tubo apóia-se (ver figura 5-9).

O ângulo do ressalto força o bordo cortante da luva a penetrar na parte externa do tubo, quando o conjunto é unido. A instalação, das conexões sem flange, será discutida em outra parte deste capítulo.

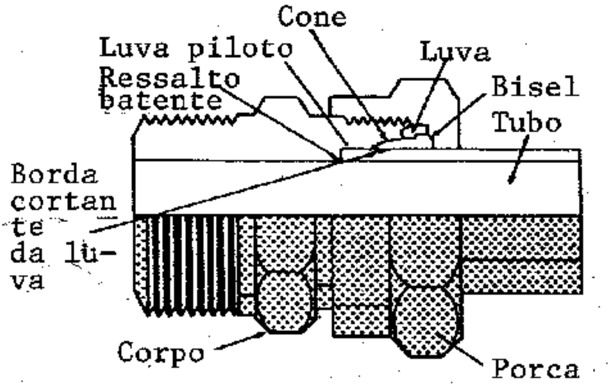


Figura 5-9 Conexão para tubo sem flange.

Acoplamento de desconexão rápida

Os acoplamentos de desconexão rápida do tipo auto-selante são usados em várias pontas de muitos sistemas de fluidos. Os acoplamentos são instalados em locais onde são freqüentes os desacoplamentos de linhas, para inspeção e manutenção.

Os acoplamentos de desconexão rápida permitem que uma linha seja desconectada rapidamente, sem que haja perda de fluido ou entrada de ar no sistema.

Cada conjunto de acoplamento consiste de duas metades, mantidas unidas por uma porca de união.

Cada metade contém uma válvula, que é mantida aberta quando o acoplamento está conectado, permitindo que o fluido saia através do acoplamento em qualquer direção. Quando o acoplamento é desconectado, uma mola em cada metade fecha a válvula, evitando a perda do fluido e a entrada de ar.

A porca de união tem uma rosca de avanço rápido, que permite o acoplamento e o desacoplamento do conjunto pelo giro da porca. A quantidade de vezes que a porca tem que girar, varia com os diferentes estilos de acoplamentos. Um estilo requer um quarto de volta da porca de união para travar ou destravar o acoplamento, enquanto um outro estilo requer uma volta completa.

Alguns acoplamentos requerem uma chave para o aperto final; outros são conectados e desconectados apenas com a mão.

O tipo de alguns acoplamentos, é tal, que eles devem ser frenados com arame; outros não necessitam frenagem, porque uma trava positiva é assegurada por um dente da mola de travamento, que engraza em um entalhe na porca de união quando o acoplamento estiver totalmente engrazado.

A mola de trava automaticamente desengraza quando a porca de união é desapertada. Devido a diferenças individuais, todos os acoplamentos de desconexão rápida deverão ser instalados de acordo com as instruções do manual de manutenção da aeronave.

Conectores flexíveis

Os conectores flexíveis podem ser equipados, tanto com terminais estampados como destacáveis, ou eles podem ainda ser usados com tubos frisados e braçadeiras. Aqueles equipados com terminais estampados são requisitados pelo comprimento correto ao fabricante e, normalmente, não podem ser montados pelo mecânico. Eles são estampados e testados na fábrica, e equipados com terminais padronizados.

Os terminais dos conectores destacáveis podem ser separados e reaproveitados enquanto não estiverem danificados; quando estiverem, novos terminais deverão ser usados.

O conector formado por tubos frisados, durites e braçadeiras são muitas vezes usados para conectar tubulações de óleo, refrigerante e sistemas de combustível de baixa pressão.

O friso, uma pequena elevação ao redor do tubo ou da conexão, dá uma boa retenção na borda do tubo que auxilia a manter a durite e a braçadeira em seus lugares.

O friso pode estar próximo ao final de um tubo de metal, ou na extremidade de um terminal.

Processos de Formação de Tubulações

Tubulações danificadas e linhas de fluido devem ser substituídas por novas sempre que possível. Algumas vezes a substituição é impraticável, sendo necessário um reparo. Arranhões, desgastes e pequena corrosão na parte externa de linhas, podem ser considerados desprezíveis e, podem ser removidos com uma politriz ou esponja de alumínio.

As limitações de quantidade da parte danificada que podem ser reparadas desta maneira serão discutidas mais adiante neste capítulo, sob o título "Reparos de linhas de tubos metálicos".

Se um conjunto de linhas de fluido tiver que ser substituído, os terminais podem muitas vezes ser aproveitados; então, o reparo envolverá somente a formação dos tubos e a substituição.

A formação de tubos consiste de quatro processos: (1) corte, (2) dobragem, (3) flangeamento; e (4) confecção de frisos. Se uma tubulação for pequena e de um material mole, o conjunto pode ser formado com a mão, dobrando durante a instalação. Se a tubulação tiver 1/4 de polegada de diâmetro, ou mais, o dobramento com a mão, sem o auxílio de ferramentas é impraticável.

Corte de Tubos

Quando as tubulações estão sendo cortadas, é importante produzir uma extremidade em esquadro, e livre de rebarbas.

As tubulações podem ser cortadas com o cortador de tubos ou um arco de serra. O cortador pode ser usado com qualquer tubo de metal macio, tal como o cobre, alumínio ou liga de alumínio.

O uso correto do cortador de tubo é mostrado na figura 5-10.

Uma peça de tubulação deverá ser cortada, aproximadamente, dez por cento a mais do tubo a ser substituído, para evitar uma variação a menos durante as dobras.

Coloque o tubo na ferramenta de cortar, com a roda cortante no ponto onde o corte deve ser feito. Gire o cortador em torno da tubulação, aplicando uma leve pressão na roda cortante, pelo intermitente giro do parafuso de regulagem.

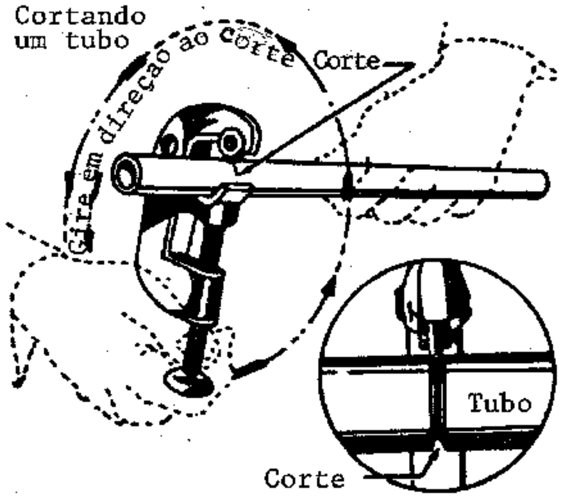


Figura 5-10 Cortando um tubo.

Uma pressão exagerada na roda cortante de uma só vez deformará o tubo ou causará excessivas rebarbas. Após o corte do tubo, remova cuidadosamente todas as rebarbas das partes interna e externa. Use uma faca ou o removedor de rebarbas, fixado ao cortador de tubos.

Quando executando a operação de remover as rebarbas, use de extremo cuidado para que a espessura do final do tubo não seja reduzida ou fraturada. Pequenos danos deste tipo poderão ocasionar flanges fraturados ou defeituosos, que não vedarão perfeitamente.

Uma lima de dentes finos pode ser usada para deixar a extremidade do tubo em esquadro e perfeitamente lisa. Se não houver um cortador de tubo disponível, ou se a tubulação for de material duro, ela pode ser cortada usando-se uma serra de dentes finos, de preferência que tenha 32 dentes por polegada.

O uso de uma serra diminuirá a quantidade de trabalho de endurecimento do tubo durante a operação de corte. Após o corte, lime a extremidade do tubo em esquadro e remova todas as rebarbas.

Um meio fácil de prender um tubo de pequeno diâmetro, quando for cortado, é colocando o tubo em uma combinação de ferramenta de flangear e prendendo a ferramenta em uma morsa.

Faça o corte a aproximadamente meia polegada da ferramenta de flangear. Este procedimento, mantém as vibrações reduzidas a um mínimo e evita danos ao tubo, se ele, acidentalmente, golpear o arco de serra ou o cabo da lima durante o corte. Assegure-se de que todas as limalhas foram removidas do tubo.

Dobragem do Tubo

O objetivo da dobragem de um tubo é obter uma curva suave, sem achatamento do tubo. Uma tubulação com um diâmetro inferior a um quarto de polegada, normalmente pode ser dobrada sem o uso de ferramentas.

Para tamanhos maiores, um dobrador de tubo manual, semelhante ao mostrado na figura 5-11, é o normalmente usado.

Para dobrar uma tubulação com um dobrador manual de tubos, introduza o tubo pelo levantamento do cabo da barra corrediça, tanto quanto possível. Comanda-se a trava sobre o tubo e ajusta-se o cabo, para que o total comprimento da luva na barra corrediça esteja em contato com a tubulação.

O zero marcado no bloco radial e a marca na barra corrediça deverão estar alinhados. A curvatura do tubo, deve ser feita girando o cabo da barra até que o desejado ângulo de curvatura seja obtido, como indicado no bloco radial.

Dobramos o tubo, cuidadosamente, para evitar achatamento, pregas ou enrugamento.

Um pequeno achatamento em uma curvatura é aceitável, mas o menor diâmetro de uma porção achatada, não pode ser menor do que 75 por cento do diâmetro externo original. Tubulações com curvas achatadas, pregueadas ou irregulares não deverão ser instaladas. Curvas enrugadas, normalmente resultam de uma dobradura forçada, em um tubo de parede fina, sem utilizar a ferramenta adequada. Exemplos de curvaturas corretas e incorretas são mostrados na figura 5-12.

As máquinas dobradoras de tubos, para todos os tipo de tubulações, são geralmente usadas em oficinas de reparos e em grandes parques de manutenção.

Com este equipamento, curvaturas adequadas podem ser feitas em tubulações de grandes diâmetros e em tubos feitos de materiais mais duros. A dobradora de tubos por produção é um exemplo desse tipo de máquina.

A dobradora de tubos por produção mais comum pode acomodar tubulações com o diâmetro externo de 1/2 polegada a 1 1/2 de polegada. Existem dobradoras para medidas maiores, e o princípio de operação é semelhante ao da dobradora de tubos manual. Os blocos radiais são construídos de modo que o raio da curva varie com o diâmetro do tubo. O raio da curva é, normalmente, estampado no bloco.

Quando uma dobradora de tubos manual, ou uma dobradora de tubos por produção não estiverem disponíveis para uma particular operação de dobragem, um material de enchimento de composição metálica ou areia seca pode ser usado, para facilitar a dobragem. Quando usando este método, cortamos o tubo ligeiramente maior do que o necessário. A medida a mais é para fazer uma vedação (pode ser com um pedaço de madeira), em cada extremidade.

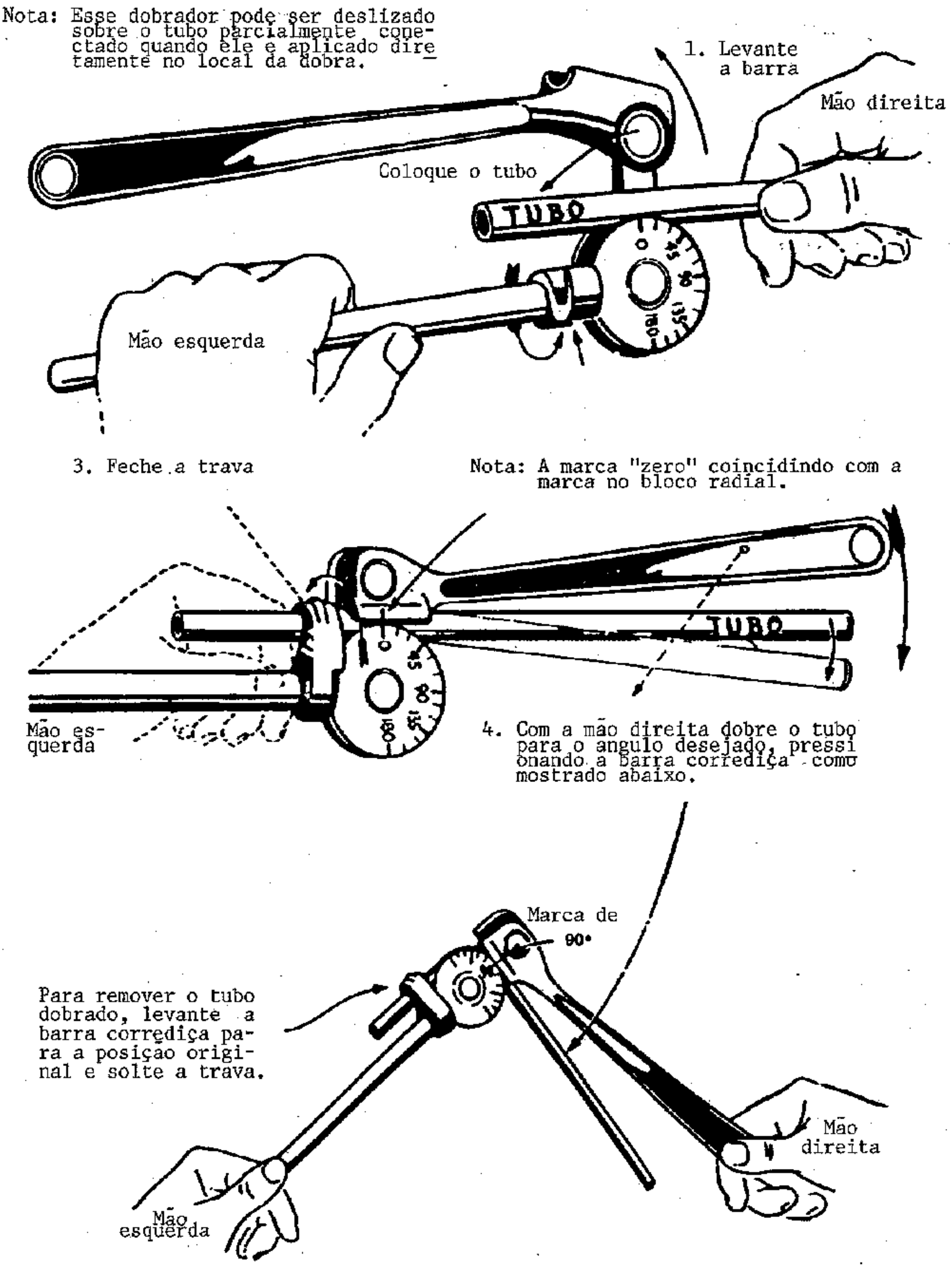
Após vedarmos uma extremidade, enchemos o tubo com areia fina e seca e vedamos a outra ponta. Ambos os plugues devem estar firmes para que não sejam expelidos quando o tubo for dobrado. O tubo pode também ser vedado amassando as pontas, ou soldando discos de metal nas extremidades. Após o tubo cheio e as extremidades fechadas, dobramos o tubo sobre um bloco com o formato do raio desejado.

Em outra versão do processo de enchimento, uma liga fusível é usada no lugar da areia. Neste método, o tubo é enchido sob água quente com uma liga fusível que derrete a 70º C (160º F).

Após o enchimento do tubo com a liga, ele é retirado da água e, após esfriar, é dobrado lentamente com a mão em torno de um bloco-fôrma ou com a ferramenta dobradora de tubos. Após a curva ser feita, a liga é novamente derretida sob a água quente e removida do tubo.

Quando usando qualquer um dos métodos de enchimento, nos certificamos de que todas as partículas do enchedor foram removidas, para que nenhuma delas seja transportada para o sistema no qual o tubo será instalado.

Guarda-se a liga fusível de enchimento quando estiver livre de pó ou detritos. Ela poderá ser derretida e reaproveitada tantas vezes sejam desejadas.



Nota: Esse dobrador pode ser deslizado sobre o tubo parcialmente conectado quando ele é aplicado diretamente no local da dobra.

1. Levante a barra

Coloque o tubo

3. Feche a trava

Nota: A marca "zero" coincidindo com a marca no bloco radial.

4. Com a mão direita dobre o tubo para o angulo desejado, pressionando a barra corrediça como mostrado abaixo.

Para remover o tubo dobrado, levante a barra corrediça para a posição original e solte a trava.

Mão direita
TUBO
0
45
90
135
180
Mão esquerda
Mão esquerda
TUBO
0
45
90
135
180
Marca de 90°
Mão direita
Mão esquerda

Figura 5-11 Dobragem de tubos.

Nunca devemos aqueçer esta liga por qualquer outro método que não seja o prescrito, porque a liga poderá grudar-se no interior do tubo, tornando ambos imprestáveis.

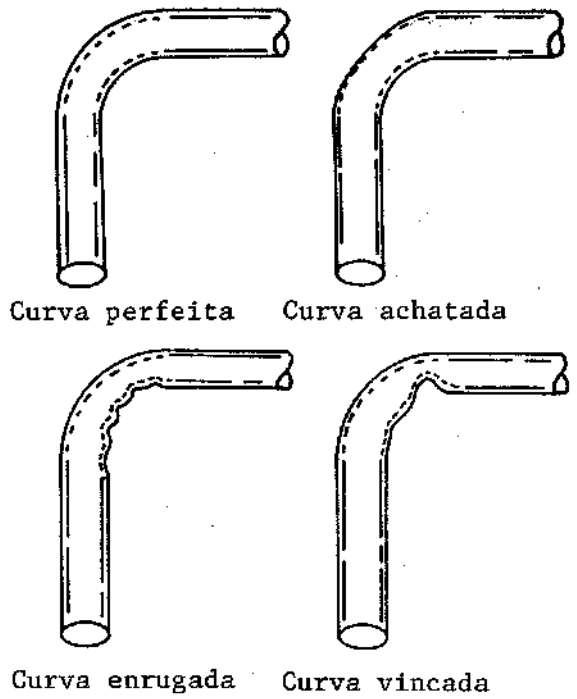


Figura 5-12 Curvas de tubos corretas e incorretas.

Flangeamento de Tubos

Duas espécies de flanges são geralmente usadas nos sistemas de tubulações de aeronaves, o simples e o duplo flange. Os flanges são frequentemente expostos a pressões extremamente altas; portanto o flange na tubulação deve ser corretamente formado, ou a conexão vazará ou apresentará falhas.

Um flange muito curto produzirá uma junta deficiente, a qual poderá vazar ou desligar-se; se for muito longo ele irá interferir com a devida ligação da rosca da conexão e causará vazamento. Um flange torto ou inclinado é o resultado de um tubo que não foi cortado no esquadro. Se um flange não for feito corretamente, as imperfeições não podem ser corrigidas pela aplicação de um torque adicional ao aperto da conexão. O flange e a tubulação devem estar livres de rachaduras, mossas, cortes, arranhões ou quaisquer outros defeitos.

A ferramenta de flangear usada nas tubulações de aeronaves, possue matrizes macho e fêmea, para produzir flanges de 35° a 37°. Sob nenhuma circunstância é permitido o uso de uma ferramenta de flangear do tipo automotiva, a qual produz um flange de 45°.

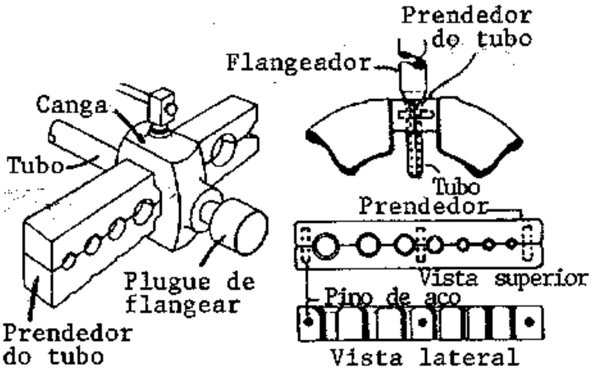


Figura 5-13 Ferramenta manual de flangear (flange simples).

Flange Simples

Uma ferramenta manual de flangear, semelhante a que foi mostrada na figura 5-13 é usada para flangear tubulações.

A ferramenta consiste em um bloco flangeador ou matriz de aperto, uma forquilha e um pino flangeador. O bloco é formado por duas barras unidas, como dobradiça, contendo orifícios para vários tamanhos de tubulações. Esses orifícios são escareados (alargados) em uma das extremidades, formando o suporte externo, contra o qual o flange é formado. A forquilha é usada para centralizar o pino flangeador sobre a extremidade do tubo, que será flangeado, e unir as duas barras fixando a tubulação.

A preparação de um tubo para flangear consiste em cortar o tubo em esquadro, remover as rebarbas, instalar a porca de fixação e a luva, e em seguida, colocar o tubo na ferramenta de flangear, usando o orifício adequado ao diâmetro do tubo.

O plugue ou o pino de flangear é centralizado na abertura do tubo. Empurramos o tubo para que a extremidade se projete acima da superfície das duas barras, na espessura aproximada de uma moeda e, apertamos o parafuso de fixação da forquilha, a fim de evitar que o tubo deslize.

O flange, é feito aplicando várias batidas no plugue ou pino, usando um martelo ou um macete de pouco peso. Gira-se o plugue um quarto de volta após cada batida, é preciso assegurar seu assentamento correto no flange, antes de remover o tubo da ferramenta de flangear. Há um teste do flange, colocando a luva na posição de encontro a ele.

O diâmetro externo do flange deverá estender-se aproximadamente a um dezesseis de polegada além da luva, mas não poderá ultrapassar em largura ao maior diâmetro externo da luva.

Flange duplo

O flange duplo deverá ser usado nas tubulações de liga de alumínio 5052-0 e 6061-T, para todos os tamanhos de 1/8 a 3/8 de polegada de diâmetro externo. Isto é necessário para evitar o corte do flange e a falha do conjunto do tubo sob as pressões de operação.

O duplo flange não é necessário em tubulações de aço. Veja na figura 5-14, a ilustração de um tubo com flange simples e outro com flange duplo.

O flange duplo é mais liso e mais concêntrico do que o simples e, portanto, veda melhor. Ele é também mais resistente ao cisalhamento causado pelo torque.

Para fazer o flange duplo; separamos os blocos da ferramenta de duplo flange, introduzimos o tubo e apertamos a braçadeira, prendendo o tubo com o final, faceando a parte superior da braçadeira.

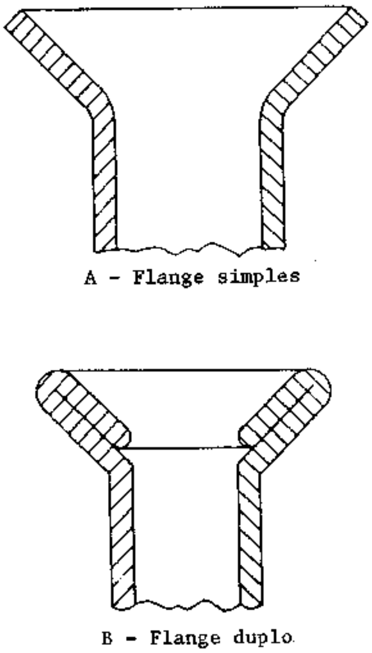


Figura 5-14 Vista em corte de flange simples e duplo.

Introduzimos o pino de partida dentro do pino guia de flangeamento e batemos com um martelo, até que o ressalto do pino encoste nos blocos da braçadeira. O pino de partida é removido e o pino de acabamento encaixado; martelamos o pino até que o seu ressalto encoste no bloco da braçadeira.

Frisamento

As tubulações podem ser frisadas com uma ferramenta frisadora manual, com máquina frisadora de rolos ou com "*grip-dies*". O método a ser usado depende do diâmetro e da espessura do tubo, e do material de que ele é feito.

A ferramenta frisadora manual é usada com tubulações que têm de 1/4 a 1 polegada de diâmetro externo. O friso é formado usando a forma de frisar com o rolo apropriado fixado. A parte interna e a externa do tubo devem ser lubrificadas com óleo fino para reduzir a fricção entre os rolos durante o frisamento. Os tamanhos marcados em dezesseis avos de uma polegada nos rolos, são para os diâmetros externos dos tubos que podem ser frisados com os rolos.

Os rolos são fornecidos separados para cada medida interna de tubo, e muito cuidado deve ser tomado com o uso correto das partes quando fazendo o friso. A ferramenta manual de frisar, trabalha de modo semelhante ao da cortadora de tubo, em que o rolo é aparafusado intermitentemente, enquanto a ferramenta de frisar vai sendo girada ao redor do tubo. Além disso, uma pequena morsa (para manter o tubo), é fornecida com o conjunto. Exemplos do uso do friso são mostrados na figura 5-16.

Outros métodos e tipos de ferramentas de frisar e máquinas são encontrados, mas a ferramenta frisadora manual é utilizada com muito mais frequência. Como se fosse uma regra, as máquinas de frisar tem o seu uso limitado com tubulações de grandes diâmetros, acima de 1 15/16 de polegada, a menos que sejam fornecidos rolos especiais. O método "grip-die" de frisamento é relativo apenas aos pequenos tubos.

Conjunto de tubo sem flange

Embora o uso de tubos sem flange em algumas conexões, elimine todos os flangeamentos de tubos; uma outra operação, chamada pré-colocação, é necessária antes da colocação de uma nova conexão de tubo sem flange.

A figura 5-15 (itens 1, 2 e 3), ilustra a operação de pré-colocação, a qual consiste do seguinte:

a - Cortar o tubo no comprimento correto e com as extremidades perfeitamente em esquadro. Remover as rebarbas da parte interna e da externa do tubo. Colocar a porca e a luva sobre o tubo (item 1);

b - Lubrificar os fios de rosca da conexão e da porca, com fluido hidráulico. Colocar a conexão em uma morsa (item 2), e manter a tubulação assentada firmemente e em esquadro na conexão. O tubo deve apoiar-se firmemente na conexão. Apertar a porca até que a aresta cortante da luva prenda o tubo.

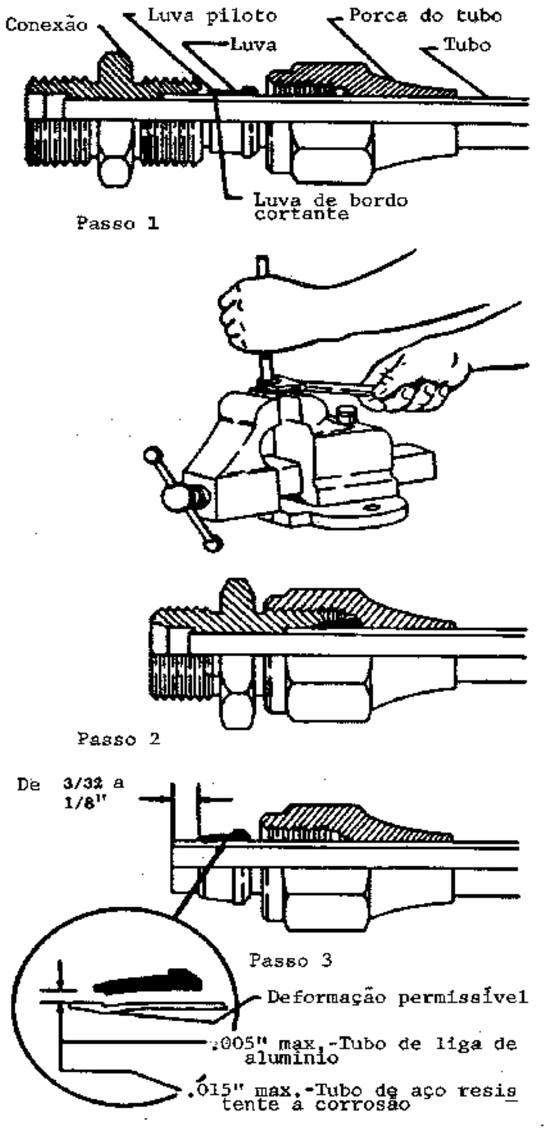


Figura 5-15 Pré-montagem de um conjunto de tubo sem flange.

Este ponto é determinado por uma leve girada do tubo para trás e para adiante, enquanto a porca estiver sendo apertada. Quando o tubo não mais girar, a porca está pronta para o aperto final;

c - O aperto final depende da tubulação. Para a liga de alumínio acima e, incluindo, 1/2 polegada de diâmetro externo, apertar a porca em giros de 1/6 de volta (uma face) de cada vez. Para as tubulações de aço e de liga de alumínio superiores a 1/2 polegada de diâmetro externo, apertar a porca em giros de 1/6 de volta a 1/2 de volta, de cada vez.

Após a pré-colocação da luva, desconectamos a tubulação da conexão e checamos os seguintes pontos, ilustrados no item 3:

a - O tubo deverá estender-se de 3/32 a 1/8 de polegada, além da luva piloto; de outro modo o tubo poderá escapar;

b - A luva piloto deverá estar em contato com o tubo, ou ter uma folga máxima de 0.005 de polegada nos tubos de liga de alumínio, ou 0.015 de polegada para os tubos de aço;

c - Uma pequena deformação causada pela luva piloto é admissível. Nenhum movimento da luva piloto é aceitável, exceto o de rotação.

REPAROS NAS LINHAS COM TUBOS DE METAL

Arranhões ou cortes, com menos de 10 por cento da espessura da parede dos tubos de liga de alumínio, podem ser reparados se eles não estiverem na curva de uma dobradura.

As tubulações são substituídas com marcas profundas, rugas ou cortes. Qualquer rachadura ou deformação no flange também é inaceitável, além de ser uma causa para rejeição. Uma mossa menor do que 20 por cento do diâmetro do tubo, não causa problema, a não ser que esteja na curva de uma dobradura. Mossas podem ser removidas, puxando-se uma peça com a medida do tubo e, através dele, por meio de um cabo.

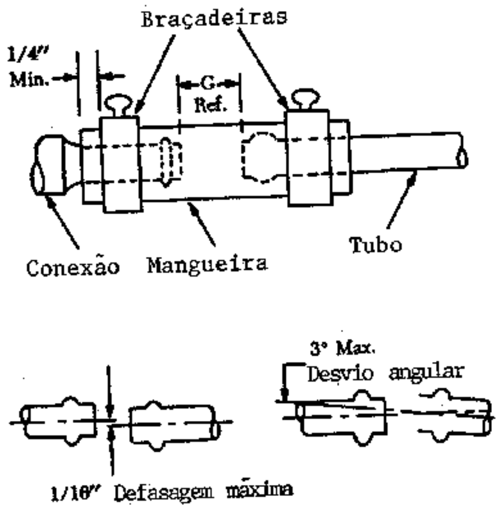
Uma linha severamente danificada deverá ser substituída. Contudo, a linha pode ser reparada, cortando-se a seção danificada e inserindo-se uma seção de tubo do mesmo tamanho e mesmo material. Flanges nas extremidades das seções de tubo, são feitos em perfeitas condições; e preparamos as conexões, usamos uniões padronizadas, luvas e porcas de tubos. Se a porção danificada for curta demais, descartamos o tubo e fazemos o reparo, usando uma união e dois conjuntos de conexões.

Quando reparando linhas danificadas, seja cuidadoso ao remover todas as rebarbas e limalhas. Qualquer linha aberta que for permanecer por algum tempo sem utilização, deverá ser selada com plugues de metal, madeira, borracha ou plástico; ou então, com tampões.

Quando reparando tubulações de baixa pressão, usando um conjunto de conexão flexível, deixamos posicionadas cuidadosamente as braçadeiras para evitar que escapem das durites ou provoquem desgaste; com os parafusos de aperto nas partes adjacentes. Se houver a possibilidade de desgaste, as braçadeiras devem ser mudadas de posição na durite. A figura 5-16, ilustra uma conexão flexível e fornece as admissíveis variações angulares e dimensionais.

Formato das linhas

Remove-se a linha do conjunto que estiver danificada ou desgastada, tomando o cuidado de não aumentar o defeito, ou torcer a tubulação, para poder usá-la como modelo na fabricação da nova peça.



A folga"G" mínima é de 1/2" ou 1/4 do diâmetro externo do tubo, o que for maior.
A folga máxima não tem limite, a não ser para linhas de sucção sem auto-selagem. Nas linhas de sucção, a folga"G" máxima deve ser de 1 1/2" ou um diâmetro do tubo, o que for maior.

Figura 5-16 Conexão de tubos flexíveis.

Se o total comprimento da tubulação não puder ser aproveitado como um gabarito, preparamos um modelo de arame, dobrando-o com a mão como necessário para o novo conjunto. Dobramos, então, a tubulação, seguindo o modelo de arame.

Nunca se escolhe um formato que não tem curvas nas tubulações. Um tubo não pode ser cortado ou flangeado corretamente, para que possa ser instalado sem dobras e livre de esforços mecânicos. As dobras são também necessárias para permitir a expansão ou contração da tubulação, quando exposta a variações de temperatura e, para absorver vibração. Se o tubo for muito fino (abaixo de 1/4 de polegada de diâmetro externo), e puder ser formado com as mãos, curvas ocasionais podem ser feitas para permitir isto. Se o tubo pode ser formado à máquina, curvas exatas devem ser feitas para permitir um conjunto perfeito.

Começamos todas as curvas a uma razoável distância das conexões, porque as luvas e porcas necessitam ser afastadas durante a fabricação dos flanges e durante as inspeções.

Em todos os casos, um novo conjunto de tubos deve ser formado antes da instalação para que não seja necessário puxar ou torcer o conjunto para conseguir o alinhamento por meio de esforço nas porcas de conexão.

FABRICAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE TUBOS FLEXÍVEIS

Mangueiras ou conjunto de tubos flexíveis deverão ser checados a cada período de inspeção. Vazamento, separação da camada externa ou da malha da camada interna do tubo, rachaduras, endurecimento, perda da flexibilidade, excessivas e profundas marcas deixadas pela braçadeira, ou pelos suportes são sinais de deterioração e razões para a substituição.

Quando ocorrem falhas nas tubulações flexíveis (mangueiras), equipadas com terminais estampados, o conjunto todo deverá ser substituído.

O melhor é obter um conjunto novo, de comprimento e diâmetro corretos e com terminais instalados na fábrica.

Quando ocorrem falhas em mangueiras equipadas com terminais reaproveitados, uma linha para substituição pode ser fabricada com o uso daquele ferramental, que pode ser necessário para cumprir as instruções de montagem feitas pelo fabricante.

Montagem de terminais tipo luva

Os terminais do tipo luva para tubulações flexíveis são removíveis, sendo reaproveitados se forem considerados em boas condições de serviço. O diâmetro interno do terminal é igual ao diâmetro interno da mangueira, na qual será instalada. Terminais comuns do tipo luva são mostrados na figura 5-17.

Para montarmos um conjunto de mangueira, selecionamos o tamanho adequado da tubulação flexível e do terminal. Não devemos deixar de cortar a mangueira no comprimento correto, usando um arco de serra, equipado com uma lâmina de serra de dentes finos.

A seguir prende-se a soquete em uma morsa, e a atarraxamos a mangueira no sentido contrário aos ponteiros do relógio, até que a extremidade da mangueira atinja o ressalto batente da soquete (figura 5-18); então, voltamos um quarto de volta.

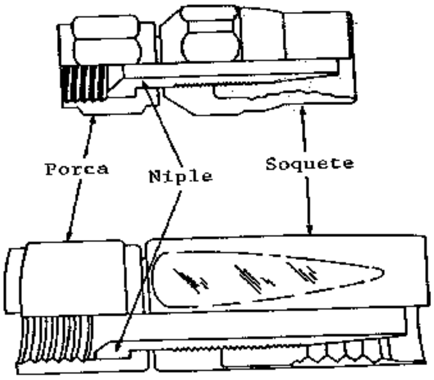


Figura 5-17 Conexão tipo luva.

Iniciamos a lubrificação da rosca interna da soquete e a externa do bocal (*niple*) com bastante óleo; a posição da mangueira é marcada em torno da parte traseira da soquete, com um lápis de cera, ou uma linha pintada.

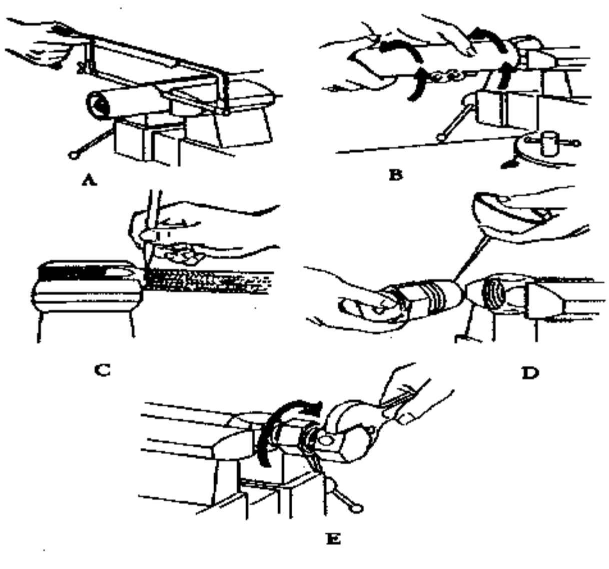


Figura 5-18 Conjunto de conexão MS para tubos flexíveis.

Introduzimos o bocal na porca e apertamos o conjunto (porca e bocal) na ferramenta de montagem. Se uma ferramenta de montagem não estiver disponível, um adaptador conjugado, AN 815, pode ser usado.

Utilizando uma chave na ferramenta de montagem, o bocal é atarrachado, dentro da soquete e da mangueira.

Um espaço de 1/32 a 1/16 de polegada entre a porca e a soquete, é necessário para permitir que a porca gire livremente quando a ferramenta de montagem for removida.

Após a montagem, certifique-se de que todo corpo estranho foi removido da parte interna da mangueira, após um jato de ar comprimido.

Teste após a montagem

Todas as tubulações flexíveis devem ser testadas após a montagem, bloqueando uma das extremidades da mangueira e, aplicando pressão no seu interior. O teste pode ser feito com um líquido ou um gás.

Por exemplo, linhas de sistema hidráulico, combustível e óleo são, geralmente, testados usando fluido hidráulico ou água, ao passo que as linhas de ar ou de instrumentos são testadas a seco, livre de óleo ou nitrogênio.

Quando o teste é realizado com líquido, todo o ar aprisionado deve ser liberado do conjunto, antes do aperto final dos plugues ou tampas.

Os testes das mangueiras, usando-se gás, são executados sob a água. Em todos o casos devem ser seguidas as instruções do fabricante das mangueiras, para os testes de pressão e líquido a serem usados quando testando um conjunto específico de mangueiras.

Ao colocarmos o conjunto de mangueiras em uma posição horizontal, observamos se há vazamento no instante em que o teste de pressão é realizado. Este deverá ser mantido por 30 segundos, no mínimo.

Instalação de conjuntos de tubos flexíveis

Os tubos flexíveis não devem estar torcidos na instalação, porque isto o reduz consideravelmente, e pode, também, concorrer com o afrouxamento das conexões.

A torção do tubo flexível pode ser reconhecida pela posição da linha de identificação existente ao longo do seu comprimento. Essa linha não deve formar uma espiral ao longo da mangueira.

As tubulações flexíveis devem ser protegidas contra o desgaste por meio de um invólucro de material protetor, mas somente onde ne comendável são suportes de fixação mais próximos.

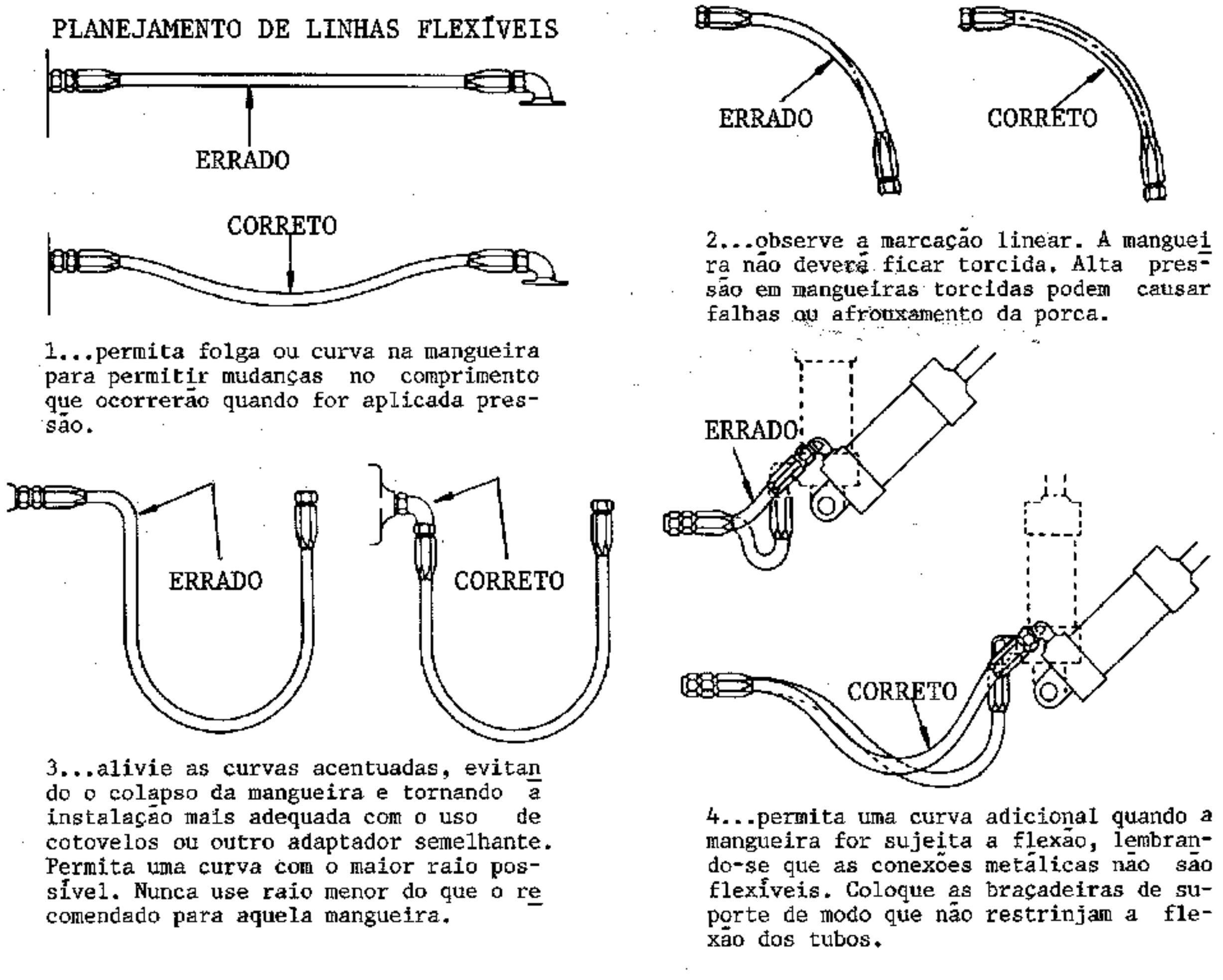
Uma mangueira nunca deve estar esticada entre duas conexões. De 5 a 8 por cento do seu total comprimento, deve ser permitido ter cessário.

O raio mínimo de curva, para tubulações flexíveis, varia de acordo com as medidas e construção do tubo, bem como a pressão sob a qual deve operar.

Curvas que são muito agudas reduzirão, consideravelmente, a pressão de ruptura das tubulações flexíveis abaixo do valor previsto (figura 5-19).

As tubulações flexíveis deverão ser instaladas, de tal maneira, que sofram um mínimo de flexão durante a operação. Ainda que as mangueiras tenham que ser fixadas pelo menos a cada 24 polegadas, o recomendável são suportes de fixação mais próximos.

Uma mangueira nunca deve estar esticada entre duas conexões. De 5 a 8 por cento do seu total comprimento, deve ser permitido ter liberdade de movimento, quando sob pressão.



1...permita folga ou curva na mangueira para permitir mudanças no comprimento que ocorrerão quando for aplicada pressão.

2...observe a marcação linear. A mangueira não deverá ficar torcida. Alta pressão em mangueiras torcidas podem causar falhas ou afrouxamento da porca.

3...alivie as curvas acentuadas, evitando o colapso da mangueira e tornando a instalação mais adequada com o uso de cotovelos ou outro adaptador semelhante. Permita uma curva com o maior raio possível. Nunca use raio menor do que o recomendado para aquela mangueira.

4...permita uma curva adicional quando a mangueira for sujeita a flexão, lembrando-se que as conexões metálicas não são flexíveis. Coloque as braçadeiras de suporte de modo que não restrinjam a flexão dos tubos.

Figura 5-19 Instalação de tubos flexíveis.

Quando uma mangueira se encontra sob pressão ela se contrai no comprimento e dilata-se no diâmetro. Todas as tubulações flexíveis devem estar protegidas da excessiva temperatura tanto pela localização das linhas, como pela instalação protetora ao seu redor.

INSTALAÇÃO DE TUBULAÇÕES RÍGIDAS

Antes da instalação de um conjunto de linhas em uma aeronave, se inspecionam cuidadosamente todas as tubulações.

Remove-se as mossas e arranhões para nos assegurarmos de que todas as porcas e luvas estão unidas e, seguramente fixadas pelo flange da tubulação.

O conjunto de linhas deverá estar limpo e livre de matérias estranhas.

Conexão e torque

Selantes ou outros compostos nunca são aplicados nas faces de uma conexão ou flange, pois destruiriam o contato de metal com metal, entre a conexão e o flange; o qual é necessário para produzir a vedação.

.O conjunto de linhas deve estar adequadamente alinhado, antes que o aperto nas conexões seja dado.

A instalação de uma tubulação não deve ser forçada para o seu lugar com o torque na porca. Os métodos corretos e incorretos de instalação de conjuntos de tubos flangeados estão ilustrados na figura 5-20.

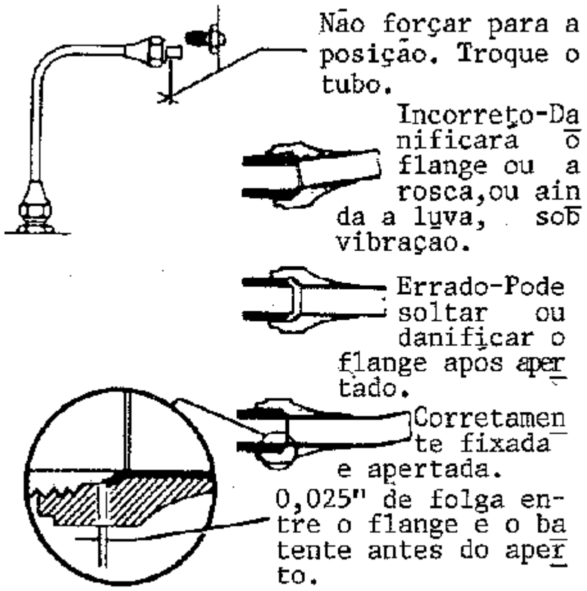

Não forçar para a posição. Troque o tubo.
Incorreto-Danificará o flange ou a rosca,ou ainda a luva, sob vibraçao.
Errado-Pode soltar ou danificar o flange apos apertado.
Corretamente fixada e apertada.
0,025" de folga entre o flange e o batente antes do aperto.

Figura 5-20 Métodos corretos e errados de instalar conexões flangeadas.

Os valores adequados de torque são dados na figura 5-21. Esses valores de torque são aplicáveis apenas à conexões flangeadas.

Diâmetro externo do tubo	Conexão tipo parafuso ou porca	Tubo, parafuso, conexão ou porca de liga de Alumínio.Torque em lbs / pol	Tubo, parafuso, conexão ou porca de liga de aço.Torque em Lbs / pol	Conexão p/ mangueira e conjuntos		Mínimo raio de dobras (polegadas)	
				Conexão MS 28740 ou equivalente		Liga de Alumínio 1100-H14 5052-0	Aço
				Mínimo	Máximo		
1/8	—2	20—30				3/8	
3/16	—3	30—40	90—100	70	120	7/16	21/32
1 /4	—4	40—65	135—150	100	250	9/16	7/8
5/16	—5	60—85	180—200	210	420	3/4	1 1/8
3/8	—6	75—125	270—300	300	480	15/16	1 5/16
5/8	—8	150—250	450—500	500	850	1 1/4	1 3/4
1 /2	—10	200—350	650—700	700	1150	1 1/2	2 3/16
3 /4	—12	300—500	900—1000			1 3/4	2 5/8
7/8	—14	500—600	1000—1100				
1	—16	500—700	1200—1400			3	3 1/2
1—1/4	—20	600—900	1200—1400			3 3/4	4 3/8
1—1/2	—24	600—900	1500—1800			5	5 1/4
1—3/4	—28	850—1050				7	6 1/8
2	—32	950—1150				8	7

Figura 5-21 Dados de conexões flangeadas.

Instalação de tubos sem flange

A porca deve ser apertada com a mão, até que seja encontrada uma resistência ao aperto. Sendo impossível girar a porca com a mão até o final, usamos uma chave, e ficamos alertas ao primeiro sinal de chegada ao fim da rosca.

É importante que o aperto final comece no ponto em que a porca for atingir o batente.

Com uma chave, giramos a porca 1/6 de volta (uma face da porca hexagonal). Usa-se uma outra chave na conexão para se evitar um giro, enquanto aperta-se a porca.

Depois que o conjunto de tubos estiver instalado, o sistema deverá ser testado sob pressão. Em uma conexão com vazamento é permitido apertar a porca 1/6 de volta a mais (perfazendo um total de 1/3 de volta).

Se depois de ter apertado 1/3 de volta da porca, o vazamento persistir, o conjunto deverá ser removido e, os componentes inspecionados quanto às incisões, rachaduras, presença de materiais estranhos, ou danos causados por aperto demasiado.

Nota: O aperto acima do previsto em uma porca de um tubo sem flange, gira o bordo cortante da luva, aprofundando-o no tubo, causando o enfraquecimento naquele ponto, onde a vibração normal de vôo causará o cisalhamento do tubo. Após a inspeção (se não forem encontradas discrepâncias), reinstale as conexões e repita os procedimentos de teste sob pressão.

Cuidado: Em nenhuma condição a porca deverá ser apertada além de 1/3 de volta (duas faces da porca hexagonal); isto é o máximo de aperto para uma conexão sem que haja a possibilidade de danos permanentes para a luva e para a porca.

As falhas mais comuns são:

1. Flange deformado pelos fios de rosca da porca.
2. Luva quebrada.
3. Flange quebrado ou cortado.
4. Flange mal feito.
5. Flange com a parte interna arranhada ou áspera
6. Cone da conexão arranhado ou áspero.
7. Rosca da porca ou da união suja, danificada ou quebrada.

Algumas instruções de serviço dos fabricantes especificam os valores para o torquímetro e para as instalações de tubulações sem flange (para exemplos, veja a figura 5-22).

TORQUE PARA TUBOS DE AÇO 304 1/8H

DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO	EXPESSURA DA PAREDE	TORQUE EM LBS / POL
3/16	0.016	90—110
3/16	0.020	90 —110
1 /4	0.016	110—140
1 /4	0.020	110—140
5/16	0.020	100—120
3/8	0.020	170—230
3/8	0.028	200—250
1 /2	0.020	300—400
1 /2	0.028	400—500
1 /2	0.035	500—600
5/8	0.020	300—400
5/8	0.035	600—700
5/8	0.042	700—850
3 /4	0.028	650—800
3 /4	0.049	800—960
1	0.020	800—950
1	0.065	1600—1750
TORQUE PARA TUBOS DE AÇO 304-1A OU 347 1A		
3/8	0.042	145—175
1 /2	0.028	300—400
1 /2	0.049	500—600
1	0.035	750—900
TORQUE PARA TUBOS 6061-T6 OU T4		
1 /4	0.035	110—140
3/8	0.035	145—175
1 /2	0.035	270—330
1 /2	0.049	320—380
5/8	0.035	360—440
5/8	0.049	425—525
3 /4	0.035	380—470
1	0.035	700—900
1 1 /4	0.035	900—1100

Figura 5-22 Valores de torque para conexões sem flange.

Precauções na montagem de tubulações

Para nos certificarmos de que o material da conexão que está sendo usada é semelhante ao da tubulação, por exemplo, usamos conexões de aço, com tubos de aço e conexões de liga de alumínio com tubos de liga de alumínio.

Conexões de latão banhadas com cádmio podem ser usadas com tubulações de liga de alumínio.

Como prevenção da corrosão, as linhas e conexões de liga de alumínio, usualmente são anodizadas.

As linhas e conexões de aço, se não forem de aço inoxidável, são banhadas para evitar ferrugem e corrosão.

Conexões de aço e de latão são, usualmente, banhadas com cádmio, ainda que algumas possam ser encontradas com banho de níquel, cromo ou estanhadas.

Para nos assegurarmos de uma vedação perfeita das conexões flexíveis, e para evitar que as braçadeiras se quebrem ou danifiquem as mangueiras ou durites, seguimos cuidadosamente as instruções de aperto das braçadeiras.

Quando possível, usamos a chave limitadora de torque para as braçadeiras. Essas chaves são encontradas nas calibrações de 15 e de 25 polegadas por libras.

Na falta das chaves limitadoras de torque, o método seguido é o de "aperto com a mão mais voltas".

Devido as variações de formato das braçadeiras e da estrutura das tubulações flexíveis, os valores dados na figura 5-23 são aproximados.

Um bom julgamento é feito quando se aperta braçadeiras por esse método.

Levando-se em consideração que as conexões flexíveis estão sujeitas a cederem ao aperto das braçadeiras ou a um processo de assentamento, um cheque de verificação do aperto deverá ser feito durante alguns dias após a instalação.

SUPORTES DE FIXAÇÃO

Braçadeiras de fixação são usadas para suportar as diversas linhas dos sistemas da célula e do conjunto do motor. Vários tipos de suportes são usados para esta finalidade. A protegida com borracha e a plana são as braçadeiras mais utilizadas.

A protegida com borracha é usada para fixar linhas em áreas sujeitas a vibração, evitando o desgaste do tubo pelo atrito.

A braçadeira plana é usada para fixar linhas em áreas não sujeitas a vibração.

Uma braçadeira, protegida com Teflon, é usada em áreas sujeitas aos efeitos da deterioração causada pelo Skydrol 500, fluido hidráulico (MIL-0-5606), ou combustível.

Mas devido a sua pouca flexibilidade, ele não evita de modo satisfatório o efeito da vibração, como os outros materiais.

Método de aperto de braçadeiras manualmente		
Apenas instalação inicial.	Parafuso de rosca sem fim de braçadeiras 10 fios de rosca por polegada.	Braçadeira radial de outros tipos 28 fios por polegada.
Mangueira de auto-vedação aproximadam. 15 pol./lbs.	Aperto com a mão. 2 voltas completas.	Aperto com a mão. 2 voltas e meia, completas.
Todas as outras mangueiras aproximad- 25 pol.-lbs.	Aperto com a mão. Mais 1 volta e 1/4.	Aperto com a mão. Mais 2 voltas completas.

REAPERTO DE BRAÇADEIRAS
DE MANGUEIRAS

- Se as braçadeiras não vedarem com o aperto especificado, examine as conexões e substitua as partes como necessário.
- As instruções acima, são para instalações iniciais e não deverão ser usadas para braçadeiras frouxas.
- Para o reaperto de braçadeiras que afrouxaram em serviços, proceda como se segue:
  1-Mangueiras sem autovedação - Se a braçadeira não pode ser apertada com os dedos não há problema, desde que sem vazamento evidente. Se existe vazamento, aperte ¼ de volta.
  2-Mangueiras auto-vedantes - Se mais frouxas que o aperto manual, aperte e adicione mais ¼ de volta.

Figura 5-23 Aperto de braçadeiras de mangueiras.

Para a fixação de tubulações metálicas de linhas de sistema hidráulico, de combustível e de óleo, usamos braçadeiras sem isolamento para o efeito de continuidade da "massa". Usaremos as braçadeiras isoladas apenas para a fixação de fios. Toda a pintura ou anodização do tubo na parte de contato é removida com a braçadeira. Logo após, verificamos se as braçadeiras são do tamanho correto.

Braçadeiras e suportes, menores do que o diâmetro externo dos tubos flexíveis podem restringir o fluxo do fluido através dele.

Todas as tubulações devem estar fixadas em intervalos especificados. As distâncias máximas entre suportes, para tubulações rígidas, são apresentadas na figura 5-24.

Diâmetro externo O.D (pol.)	Distância entre suportes (pol.)	
	Liga de Alumínio	Aço
1/8	9 1/2	11 1/2
3/16	12	14
¼	13 ½	16
5/16	15	18
3/8	16 ½	20
½	19	23
5/8	22	25 ½
¾	24	27 ½
1	26 ½	30

Figura 5-24 Distância máxima entre suportes para tubulações de fluidos.

CAPÍTULO 6

MATERIAIS DE AVIAÇÃO E PROCESSOS

INTRODUÇÃO

Este título incorpora as diversas partes utilizadas na fabricação e no reparo de aeronaves, como os vários tipos de prendedores e uma miscelânea de pequenos itens e os tratamentos a que estão sujeitos durante sua fabricação ou utilização.

A importância do material de aviação é muitas vezes desprezada devido ao seu pequeno tamanho; entretanto, a segurança e a eficiência da operação de uma aeronave depende de uma correta seleção e, uso adequado do material de aviação, assim como o conhecimento e a utilização dos processos adequados a esse material.

IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE AVIAÇÃO-

A maioria dos itens são identificados por números de especificação ou nome do fabricante. Peças com fios de rosca e rebites são usualmente identificados pelas letras AN (*Air Force - Navy*), NAS (*National Aircraft Standard*), ou MS (*Military Standard*) seguidas de números.

Os prendedores de desconexão rápida são usualmente identificados por nomes dados pelo fabricante e pela designação dos tamanhos.

Prendedores rosqueados

Os vários tipos de dispositivos de fixação, ou de fechamento, permitem uma rápida desmontagem e recolocação de partes de aeronaves, que devem ser separadas e conectadas em intervalos freqüentes.

Rebitando ou soldando estas partes, cada vez que forem manuseadas, a junção enfraquecerá, tornando-se deficiente. Algumas juntas, muitas vezes, requerem uma resistência à tensão e rigidez superiores a que um rebite pode oferecer.

Entende-se por parafusos, dispositivos de fixação, que permitem segurança e rigidez na união de peças. Existem dois tipos de parafusos: os utilizados em mecânica (bolts), geralmente quando se necessita grande firmeza; e os de rosca soberba (screws), quando a firmeza não é um fator importante. Ambos têm algumas semelhanças são usados para prender e possuem em uma de suas extremidades uma cabeça; e, na outra, fios de rosca. Também há diferenças distintas: a ponta com fios de roscas de um parafuso para mecânica é sempre rombuda (faces paralelas), enquanto que o de rosca soberba pode ter a ponta com rosca rombuda ou pontuda.

O parafuso para mecânica (bolt), geralmente tem uma porca atarrachada para completar o conjunto, enquanto que o de rosca soberba pode ser introduzido em um orifício próprio para ele; ou, diretamente no material a ser fixado.

Um parafuso para mecânica tem a parte rosqueada relativamente curta, com relação ao comprimento; enquanto isso, o de rosca soberba tem a parte rosqueada relativamente longa, e não tem a parte lisa (gola), claramente definida.

Um conjunto, parafuso/porca é geralmente apertado pela porca; e a cabeça do parafuso poderá ser ou não utilizada para fixar o conjunto. Um parafuso de rosca soberba é sempre apertado pela cabeça.

Quando um dispositivo de fixação tiver que ser substituído, deverá sê-lo por uma duplicata do original, sempre que possível. Se não houver uma duplicata, muito cuidado deverá ser tomado na seleção do substituto.

Classificação dos fios de rosca

Para os parafusos para aeronaves (*bolts*); ou os de rosca soberba (*screws*); e porcas, são fabricados em um dos seguintes tipos de fios de rosca: NC (*American National* Coarse), série de filetes grossos destinados ao uso em metais; NF (*American National Fine*), séries de filetes finos destinado ao uso geral em aeronaves e motores; UNC (*American Standard Unified Coarse*) ou UNF (*American Standard Unified Fine*).

A diferença entre os tipos de rosca da série *American National* (NC e NF) e os do tipo *American Standard Unified* (UNC e UNF) pode ser notada, por exemplo, no parafuso de uma polegada (1") de diâmetro do tipo NF, que será especificado como 1-14NF, indicando possuir 14 fios de rosca em cada polegada da parte rosqueada, enquanto que, o parafuso de uma polegada (1") de diâmetro do tipo UNF será especificado como 1-12UNF, indicando possuir 12 fios de rosca em cada polegada da parte rosqueada.

Em ambos, é considerado o número de vezes que o fio de rosca completa uma volta no espaço de uma polegada, da parte rosqueada de um parafuso de determinado diâmetro.

Por exemplo, a especificação 4-28 indica que um parafuso de 1/4" de diâmetro tem 28 fios de rosca em cada polegada da parte rosqueada.

As roscas são também especificadas em classes de acabamento, que indicam a tolerância permitida pelo fabricante, com referência a sua instalação nos furos do material a ser preso ou fixado.

Classe 1 - "*Loose fit*" - ajuste com folga ou encaixe deslizante - usado onde o espaço entre as partes conjugadas é essencial para uma rápida montagem, podendo ser girado com os dedos;

Classe 2 - "*Free fit*" - ajuste livre - destinado a partes que são unidas com parafusos e porcas, tipo comerciais onde um pequeno jogo tem uma relativa margem de tolerância;

Classe 3 - "*Medium fit*" - ajuste médio - destinado a partes onde é desejado um valor mínimo de folga ou de jogo entre as partes rosqueadas. Esse tipo de ajuste é geralmente empregado na construção aeronáutica.

Classe 4 - "*Close fit*" - forte ajuste ou ajuste sob pressão - destinado a requisitos especiais. Os parafusos de ajuste sob pressão são instalados com ferramentas ou máquinas.

Os parafusos e as porcas são também produzidos com a rosca-esquerda.

O parafuso de rosca-direita é o que tem o seu aperto no sentido dos ponteiros de um relógio, o de rosca-esquerda quando tem que ser girado no sentido inverso para conseguir o aperto.

As roscas, direita e esquerda são, designadas respectivamente por RH e LH.

PARAFUSOS DE AVIAÇÃO

Os parafusos empregados em aviação são fabricados em aço resistente à corrosão, com banho de cádmio ou de zinco; de aço resistente a corrosão, sem banho, ou ainda de liga de alumínio anodizado.

A maioria dos parafusos, utilizados em estruturas de aeronaves, tanto pode ser do tipo padrão como AN, NAS com encaixe na cabeça para ferramentas, de tolerância mínima, ou do tipo MS.

Em certos casos, os fabricantes de aeronaves fazem parafusos de diferentes dimensões ou maior resistência do que o tipo padrão.

Do mesmo modo, os parafusos são fabricados para aplicações especiais, e é de extrema importância utilizar parafusos iguais como substituto.

Os parafusos especiais são normalmente identificados por uma letra "S" estampada na cabeça.

Os parafusos AN são encontrados em três estilos de cabeça: hexagonal, Clevis e com olhal (Figura 6-1).

Os parafusos NAS são encontrados com a cabeça hexagonal, com encaixe na cabeça para ferramentas e com a cabeça escariada. Os parafusos MS têm a cabeça hexagonal ou com encaixe para ferramentas.

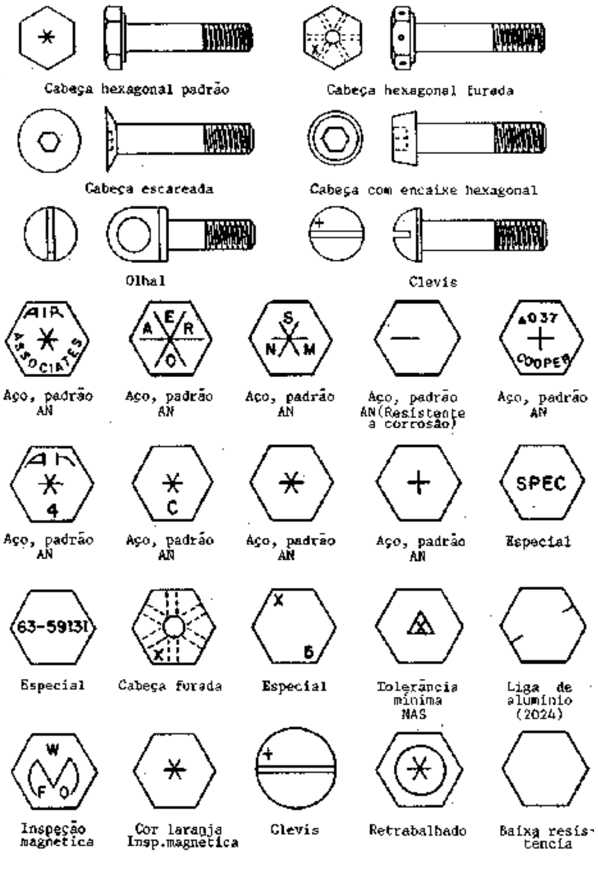

Cabeça hexagonal padrão
Cabeça hexagonal furada
Cabeça escareada
Cabeça com encaixe hexagonal
Olhal
Clevis
AIR ASSOCIATES
COOPER
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN(Resistente a corrosão)
Aço, padrão AN
SPEC
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN
Aço, padrão AN
Especial
63-59131
Especial
Cabeça furada
Especial
Tolerância mínima NAS
Liga de alumínio (2024)
Inspeção magnética
Cor laranja Insp.magnética
Clevis
Retrabalhado
Baixa resistência

Figura 6-1 Identificação de parafusos de aeronaves.

Parafusos de uso geral

Os parafusos de cabeça hexagonal (AN-3 até AN-20), são usados em estruturas, e em aplicações gerais, que envolvam cargas de tensão e de cizalhamento.

Os parafusos de ligas de aço, menores do que o nº 10-32; e os de liga de alumínio, menores do que 1/4" de diâmetro, nunca devem ser usados em peças estruturais.

Os parafusos e as porcas de liga de alumínio não são usados quando tiverem que ser removidos, repetidamente, para serviços de manutenção e inspeção. As porcas de liga de alumínio podem ser usadas com os parafusos de aço banhados de cádmio, que sofram cargas de cizalhamento, em aeronaves terrestres; mas, não poderão ser usadas em aeronaves marítimas, devido a possibilidade de corrosão entre metais diferentes.

O parafuso AN-73 é semelhante ao cabeça hexagonal padrão, porém, possue uma depressão na cabeça e um furo para passagem de arame de freno. O AN-3 e o AN-73 são intercambiáveis para todas as aplicações práticas, do ponto de vista de tensão e resistência ao cizalhamento.

Parafusos de tolerância mínima

Esse tipo de parafuso é fabricado com mais cuidado do que o de uso geral. Os parafusos de tolerância mínima podem ser de cabeça hexagonal (AN-173 até AN-186) ou ser de cabeça chanfrada a 100º (NAS-80 até NAS-86).

Eles são usados em aplicações onde uma ajustagem forte é requerida (o parafuso somente será movido de sua posição quando for aplicada uma pancada com um martelo de 12 a 14 onças).

Parafusos com encaixe na cabeça para adaptação de chave

Estes parafusos (MS-20004 até MS-20024 ou NAS-495), são fabricados de um aço de alta resistência, e são adequados para o uso em locais onde são exigidos esforços de tensão e cizalhamento.

Quando forem usados em partes de aço, os furos para os parafusos devem ser escariados para assentar o grande raio do ângulo formado entre o corpo e a cabeça. Quando usados em partes de liga de alumínio, uma arruela especial, tratada à quente deve ser usada para permitir um adequado ponto de apoio para a cabeça. O encaixe na cabeça é para inserir uma chave para a instalação e remoção do parafuso. Porcas especiais de alta resistência são utilizadas nestes parafusos. Parafusos com encaixe na cabeça, só podem ser substituídos por outros exatamente iguais. Os de cabeça hexagonal AN, não possuem a requerida resistência.

Identificação e códigos

Os parafusos são fabricados em uma grande variedade de formatos, não existindo, portanto, um método direto de classificação. Os parafusos podem ser identificados pelo formato da cabeça, método de fixação, material usado na fabricação ou emprego determinado.

Os parafusos de aviação do tipo AN podem ser identificados pelo código marcado nas cabeças. A marca geralmente indica o fabricante, o material de que é feito, se é um tipo AN padrão ou um parafuso para fim especial.

Um parafuso AN padrão é marcado na cabeça, com riscos em relevo, ou um asterisco; o de aço resistente a corrosão é indicado por um simples risco; e o de liga de alumínio AN é marcado com dois riscos opostos. Informações adicionais, como o diâmetro do parafuso, comprimento ou aperto adequado, são obtidos pelo número de parte (Part number).

Por exemplo, um parafuso cujo número de parte seja AN3DD5A, as letras "AN", indicam ser um parafuso padrão *Air Force-Navy*; o "3" indica o diâmetro em dezesseis avos da polegada (3/16"); o "DD", indica que o material é liga de alumínio 2024. A letra "C", no lugar de "D", indicaria aço resistente à corrosão e, a ausência das letras, indicaria aço com banho de cádmio. O "5" indica o comprimento em oitavos da polegada (5/8"); e o "A", indica não possuir furo para contrapino.

Os parafusos NAS, de tolerância mínima, são marcados com um triângulo riscado ou rebaixado.

As marcas do tipo de material dos parafusos NAS são as mesmas para os AN, exceto quando elas são riscadas ou rebaixadas.

Os parafusos que receberam inspeção magnética (*Magnaflux*) ou por meios fluorescentes (*Zyglo*), são identificados por uma tinta colorida ou uma marca tipo distintivo na cabeça.

Parafusos para fins especiais

São os fabricados para uma particular aplicação, por exemplo: parafuso *Clevis*, parafuso de Olhal, *Jobolts* e *Lockbolts*.

Parafusos Clevis

A cabeça de um parafuso Clevis é redonda e possue ranhuras, para receber uma chave de fenda comum ou para receber uma chave em cruz.

Este tipo de parafuso é usado somente onde ocorrem cargas de cizalhamento e nunca de tensão. Ele é muitas vezes colocado como um pino mecânico em um sistema de controle.

Parafusos de Olhal

Este tipo de parafuso especial é usado onde cargas de tensão são aplicadas.

O Olhal tem por finalidade permitir a fixação de peças, como o garfo de um esticador, um pino Clevis ou um terminal de cabo. A parte com rosca pode ou não ter o orifício para contrapino.

"*Jobolts*"

"*JOBOLT*" é a marca registrada de um rebite com rosca interna e composto de três partes: um parafuso de liga de aço, uma porca de aço com rosca e uma luva expansível de aço inoxidável. As partes são pré-montadas na fábrica. é instalado, o para

Quando o *JOBOLT* fuso é girado, enquanto a porca é mantida. Isto causa a expansão da luva sobre a porca, formando uma cabeça que irá empurrar uma chapa de encontro à outra. Quando a rotação do parafuso se completa, uma porção dele se quebra.

A alta resistência ao cizalhamento à tensão, tornam o *JOBOLT* adequado ao uso em casos de grandes esforços, onde os outros tipos de prendedores são impraticáveis.

JOBOLTS são muitas vezes utilizados em partes permanentes da estrutura de aeronaves mais antigas.

Eles são usados em áreas que não são sujeitas à constantes substituições ou serviços. Como ele é formado por três partes, não deverá ser utilizado em locais, caso uma parte se solte, ou seja sugada pela entrada de ar do motor.

Outras vantagens do uso do *JOBOLT* são sua excelente resistência à vibração, pouco peso e rápida instalação por apenas uma pessoa.

Atualmente os JOBOLTS são encontrados em quatro diâmetros: Séries 200, 260, 312 e 375, com aproximadamente 3/16", 1/4", 5/16" e 3/8" de diâmetro respectivamente. Os JOBOLTS são encontrados com três diferentes tipos de cabeça: F (flush), P (hexagonal) e FA (millable).

Parafusos de retenção (*Lokbolts*)

Estes combinam as características de um parafuso e de um rebite de grande resistência, mas possuem vantagens sobre ambos.

O parafuso de retenção é geralmente usado na junção de asas, ferragens do trem de pouso, ferragens de células de combustível, longarinas, vigas, união do revestimento e outras uniões importantes da estrutura. Ele é mais rapidamente e facilmente instalado do que um rebite ou parafuso convencionais e elimina o uso de arruelas-freno, contrapinos e porcas especiais.

Do mesmo modo que um rebite, o parafuso de retenção (*lockbolt*), requer uma ferramenta pneumática para sua instalação. Quando instalado, ele permanecerá rígido e permanentemente fixo no local.

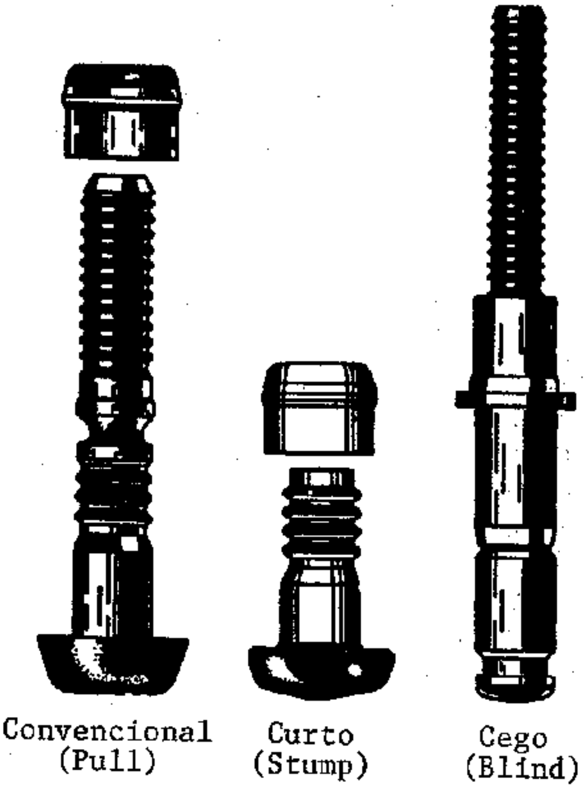


Figura 6-2 Parafusos de retenção (*Lokbolts*).
Tipo Convencional (Pull)

Os três tipos de parafusos de retenção *lockbolts* mais usados são: o convencional (*pull*), o curto (*stump*) e cego (*blind*), mostrados na figura 6-2.

São usados principalmente em estruturas primárias e secundárias de aeronaves. Eles são instalados muito rapidamente e têm aproximadamente a metade do peso dos parafusos e porcas AN equivalentes. Uma ferramenta pneumática especial ("*pull gun*") é necessária para instalar este tipo de lockbolt. A instalação pode ser executada por apenas uma pessoa por não ser necessário o uso de barra encontradora.

Tipo Curto (Stump)

Embora o tipo curto não tenha a haste tão comprida quanto o convencional, ele é considerado semelhante na utilização. Eles são usados principalmente quando o espaço não permite a instalação do tipo convencional.

Uma rebitadora pneumática padrão (com um martelete para estampar o colar na ranhura do pino) e uma barra encontradora são as ferramentas necessárias para a instalação de um lockbolt do tipo curto (*stump*).

Tipo Cego (Blind)

São fornecidos como unidades completas, ou seja, conjuntos montados. Eles têm excepcional resistência, e a característica de forçar a união das chapas.

Os parafusos de retenção cegos são usados onde somente um lado do trabalho é acessível e, geralmente, onde for difícil a cravação de um rebite convencional.

Este tipo de prendedor é instalado da mesma maneira que o tipo convencional.

Características Comuns

Os três tipos de parafusos de retenção *lockbolt*, têm em comum, as ranhuras de travamento no pino e o colar de travamento, o qual é estampado dentro das ranhuras de trava do pino, travando-o sob tensão.

Os pinos dos tipos convencional e cego são compridos para a instalação por tração.

A extensão da haste é provida de ranhuras com a finalidade de permitir a tração e uma ranhura maior para a ruptura sob tensão da parte excedente da haste.

Composição

Os pinos dos parafusos de retenção do tipo convencional e do tipo curto, são feitos de liga de aço com tratamento térmico, ou então, de liga de alumínio de alta resistência. Os colares do conjunto são feitos de liga de alumínio ou de aço macio. O tipo cego (*blind*) consiste num (a): pino de liga de aço com tratamento térmico; luva cega (*lind sleeve*); luva cônica (*filler sleeve*); colar de aço macio; e arruela de aço carbono.

Substituição

Os parafusos de retenção de liga de aço podem ser usados como substitutos dos rebites de aço *HI-SHEAR*, rebites sólidos de aço ou parafusos AN do mesmo diâmetro e mesmo tipo de cabeça. Parafusos de retenção de aço e de liga de alumínio podem ser usados para substituir os parafusos de aço e os de liga de alumínio 2024 T, respectivamente, do mesmo diâmetro.

Sistema de Numeração

Para os diversos tipos de parafusos de retenção *lockbolts*, os sistemas de numeração são os seguintes:

GRIP Nº	Min	Max	GRIP Nº	Min	Max
1	.031	.094	**17**	1.031	1.094
2	.094	.156	**18**	1.094	1.156
3	.156	.219	**19**	1.156	1.219
4	.219	.281	**20**	1.219	1.281
5	.281	.344	**21**	1.281	1.344
6	..344	.406	**22**	1.344	1.406
7	.406	.469	**23**	1.406	1.469
8	.469	.531	**24**	1.469	1.531
9	.531	.594	**25**	1.531	1.594
10	.594	.656	**26**	1.594	1.656
11	.656	.718	**27**	1.656	1.718
12	.718	.781	**28**	1.718	1.781
13	.781	.843	**29**	1.781	1.843
14	.843	.906	**30**	1.843	1.906
15	.906	.968	**31**	1.906	1.968
16	.968	1.031	**32**	1.968	2.031
			33	2.031	2.094

Figura 6-3 Limites de “pega” (GRIP) dos parafusos de retenção tipos convencionais e curto.

Tipo Convencional (PULL)

```
ALPP   H        T        8        8
 |     |        |        |        |
 |     |        |        |        |___ Comprimento em
 |     |        |        |             16 avos da polegada
 |     |        |        |
 |     |        |        |___ Diâmetro do corpo em 32 avos
 |     |        |             da polegada
 |     |        |
 |     |        |___ Materiais do pino:
 |     |             E = Liga de alumínio 75S-T6
 |     |             T = Liga de aço com tratamento térmico
 |     |
 |     |___ Classe de ajuste:
 |          H = sem folga
 |          N = com folga
 |
 |___ Tipo de Cabeça:
      ACT 509 = Tolerância mínima AN-509 da cabeça escareada
      ALPP = Cabeça universal
      ALPB = Cabeça chata
      ALP509 = Padrão AN-509 cabeça escareada
      ALP426 = Padrão AN-426 cabeça escareada
```

TIPO CEGO (BLIND)

```
BL    8        4
 |    |        |
 |    |        |___ Comprimento em 16 avos da polegada
 |    |             ± 1/32"
 |    |
 |    |
 |    |___ Diâmetro em 32 avos da polegada
 |
 |
 |
 |___ BLIND LOCKBOLT
```

COLAR DO PARAFUSO DE RETENÇÃO

```
BL    C        8
 |    |        |
 |    |        |___ Diâmetro do pino em 32 avos da polegada
 |    |
 |    |
 |    |___ * Material:
 |          C = Liga de alumínio 24ST (verde)
 |          F = Liga de alumínio 61ST (não colorido)
 |          R = Aço macio (com banho de cádmio)
 |
 |
 |____ LOCKBOLT COLLAR
```

*

- Use em liga de alumínio 25 ST, somente parafusos de retenção de liga com tratamento térmico.

- Use em liga de alumínio 61 ST, somente parafusos de retenção de liga de alumínio75 ST.

- Uso aço macio com parafusos de retenção de aço com tratamento térmico somente para aplicações em alta temperatura.

TIPO CURTO (STUMP)

```
ALSF    E        8        8
 |      |        |        |
 |      |        |        |___ Comprimento em 16 avos da
 |      |        |             polegada
 |      |        |
 |      |        |___ Diâmetro do corpo em 32 avos da polegada
 |      |
 |      |___ Material de pino:
 |           E = Liga de alumínio 75S-T6
 |           T = Liga de aço com tratamento térmico
 |
 |___ Tipo de cabeça:
      ASCT 509 = Tolerância mínima AN-509 cabeça escareada
      ALSF = Tipo cabeça chata
      ALS 509 = Padrão AN-509 cabeça escareada
      ALS 426 = Padrão AN-426 cabeça escareada
```

Figura 6-4 Sistema de numeração dos parafusos de retenção (*Lockbolts*).

1/4" Diâmetro			5/16" Diâmetro		
PEGA Nº	**EXPESSURA Min**	**Max**	**PEGA Nº**	**EXPESSURA Min**	**Max**
1	.031	.094	2	.094	.156
2	.094	.156	3	.156	.219
3	.156	.219	4	.219	.281
4	.219	.281	5	.281	.344
5	.281	.344	6	.344	.406
6	.344	.406	7	.406	.469
7	.406	.469	8	.469	.531
8	.469	.531	9	.531	.594
9	.531	.594	10	.594	.656
10	.594	.656	11	.656	.718
11	.656	.718	12	.718	.781
12	.718	.781	13	.781	.843
13	.781	.843	14	.843	.906
14	.843	.906	15	.906	.968
15	.906	.968	16	.968	1.031
16	.968	1.031	17	1.031	1.094
17	1.031	1.094	18	1.094	1.156
18	1.094	1.156	19	1.156	1.219
19	1.156	1.219	20	1.219	1.281
20	1.219	1.281	21	1.281	1.343
21	1.281	1.343	22	1.343	1.406
22	1.343	1.406	23	1.406	1.469
23	1.406	1.469	24	1.460	1.531
24	1.469	1.531			
25	1.531	1.594			

Figura 6-5 Limites da pega (*GRIP*) dos parafusos de retenção tipo cego (*Blind*).

ESPESSURA DO MATERIAL

O tamanho do parafuso requerido para um determinado trabalho deve ser de acordo com a espessura do material, medida com uma régua em gancho, através do orifício onde ele será colocado. Após a medição poderão ser determinados os limites da pega (espessura do material a ser unido), através das tabelas fornecidas pelos fabricantes dos rebites.

Exemplos das tabelas de limites da pega (grip range) são apresentados nas Figuras 6-3 e 6-5.

Quando instalado, o colar do parafuso de retenção deverá ser estampado em toda a extensão do colar.

A tolerância da parte do pino a ser quebrada com relação à parte superior do colar deve estar dentro das seguintes dimensões:

Diâmetro	**Tolerância**		
do pino	**antes**		**após**
3/16	**.079**	**a**	**.032**
1/4	**.079**	**a**	**.050**
5/16	**.079**	**a**	**.050**
3/8	**.079**	**a**	**.060**

Quando for necessário remover um parafuso de retenção, corte o colar com uma pequena talhadeira bem afiada, evitando danificar ou deformar o orifício. É aconselhável o uso de uma barra de encontro no lado oposto ao que está sendo cortado. O pino poderá então ser retirado com um punção.

PORCAS DE AERONAVES

As porcas usadas em aviação são feitas em diversos formatos e tamanhos. São fabricadas com aço carbono banhado em cádmio, aço inoxidável, ou liga de alumínio 2024T anodizado; e pode ser obtida com rosca esquerda ou direita.

Não existem marcas de identificação ou letras nas porcas, elas podem ser identificadas pelas características metálicas, brilho ou cor de alumínio, bronze ou o encaixe, quando a porca for do tipo autofreno.

Elas podem, além disso, ser identificadas pela sua construção.

As porcas usadas em aviação podem ser divididas em dois grupos gerais: comuns e autofreno.

Comuns são aquelas que devem ser frenadas por um dispositivo externo como contrapino, arame de freno ou contra-porcas. Porcas autofreno são as que contém características de frenagem como parte integral.

Porcas comuns - É o mais comum tipo de porca, incluindo a lisa, a castelo, a castelada de cizalhamento, a sextavada lisa, a hexagonal leve e a lisa leve (ver Figura 6-6).

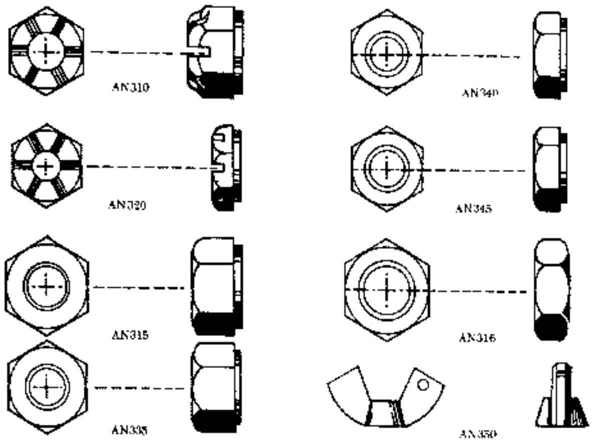


Figura 6-6 Porcas comuns de aeronaves.

A porca castelo AN310, é usada com os parafusos: AN de cabeça hexagonal, com furo para contrapino; Clevis de olhal, de cabeça com furo para freno, ou prisioneiros.

Ela é razoavelmente robusta e pode resistir a grandes cargas tensionais. Ranhuras (chamadas de castelo), na porca, são destinadas a acomodar um contrapino ou arame de freno para segurança.

A castelada de cisalhamento, AN 320, é designada para o uso com dispositivos (tais como parafusos Clevis com furo e pinos cônicos com rosca), os quais são, normalmente, sujeitos somente a esforços de cisalhamento.

Do mesmo modo que a porca castelo, ela é castelada para frenagem. Note, entretanto, que a porca não é tão profunda ou tão forte quanto a castelo; também que as ranhuras não são tão fundas quanto aquelas da porca castelo.

A porca sextavada lisa, AN315 e AN335 (rosca fina e rosca grossa), é de construção robusta.

Ela é adequada para suportar grandes cargas tensionais. Entretanto, ela requer um dispositivo auxiliar de travamento como uma contraporca ou arruela freno, e o seu uso em estruturas de aeronaves é um pouco limitado.

A porca sextavada leve, AN340 e AN345 (rosca fina e rosca grossa), é uma porca mais fina do que a plana hexagonal e deve ser frenada por um dispositivo auxiliar. Ela é usada em situações diversas em que haja pouca exigência de tensão.

A porca plana leve AN316, é usada como um dispositivo de frenagem (contra-porca), para as porcas planas, parafusos de retenção terminais com rosca e outros dispositivos.

A porca borboleta AN350 é aplicada onde a desejada firmeza pode ser obtida com os dedos, e em conjuntos, que são freqüentemente removidos.

Porcas autofreno

Conforme seu nome indica, as porcas autofreno não necessitam de meios auxiliares de frenagem, por já terem como característica de construção dispositivos de frenagem, como parte integral.

Muitos tipos de porcas autofreno têm sido fabricados e o seu uso está amplamente difundido.

Suas aplicações mais comuns são:

(1) Fixação de mancais antifricção e polias de controles;

(2) Fixação de acessórios, porcas fixas ao redor de janelas de inspeção e em aberturas para instalação de pequenos tanques; e

(3) Fixação das tampas das caixas de balancins e dos tubos de escapamento dos gases.

Porcas autofreno são aceitáveis para utilização em aeronaves, dependendo das restrições do fabricante.

As porcas autofreno são usadas em aeronaves para proporcionar ligações firmes, que não se soltem, quando sob severa vibração. Não usar porcas autofreno em juntas, quando fixando parafusos, ou porcas sujeitos a rotação.

Elas podem ser usadas com mancais antifricção e polias de controles, desde que a pista interna do rolamento esteja fixada à estrutura de suporte pela porca e o parafuso.

As porcas, quando fixadas à estrutura devem ser presas de maneira positiva, para eliminarem rotação ou desalinhamento, quando apertando os parafusos.

Os dois tipos de porcas autofreno, de uso mais comum, são as do tipo de metal e a do tipo de freno de fibra.

Com a intenção de facilitar o entendimento, somente três típicas espécies de porcas autofreno serão consideradas neste manual: a porca do tipo boot e a porca de aço inoxidável, representando o tipo totalmente de metal; e a porca de freno elástico, representando as do tipo de freno de fibra.

Porca autofreno *boot*

É uma porca construída de uma só peça, inteiramente metálica, destinada a manter a fixação mesmo sob severa vibração. Note, na Figura 6-7, que ela tem duas seções e é essencialmente como duas porcas em uma; a porca freno e a porca suportadora de carga. As duas seções são conectadas com uma mola, a qual faz parte integrante da porca. A mola mantém as seções de frenagem e de suporte de carga a uma certa distância, de modo que os dois setores de fios de rosca fiquem defazados; ou seja, tão espaçado, que um parafuso sendo atarrachado através da seção de suporte de carga deve empurrar a seção de frenagem, de encontro a força da mola, para engrazar propriamente na rosca da seção de frenagem.

Dessa forma, a mola, através da metade da seção de frenagem, exerce uma constante força, apertando a porca. Nesta porca, a seção de suporte de carga tem uma rosca; com a resistência de uma porca padrão das mesmas dimensões; enquanto a seção de frenagem exerce pressão contra a rosca do parafuso, travando a porca com firmeza em sua posição.

Somente com a aplicação de uma ferramenta a porca soltará o parafuso. A porca pode ser removida e reutilizada sem perder sua eficiência. As porcas autofreno tipo boot são fabricadas com três diferentes estilos de molas e em vários formatos e tamanhos. O tipo borboleta, o mais comum, varia do tamanho nº 6 até 1/4", o *rol-top*, de 1/4" até 9/16"; e o tipo *bellows*, do tamanho nº 8 até 3/8". As porcas, tipo borboleta, são fabricadas com ligas de alumínio anodizado, aço carbono banhado em cádmio ou, de aço inoxidável. As porcas, tipo *rol-top* são de aço com banhada em cádmio, e as do tipo belos são feitas somente de liga de alumínio.

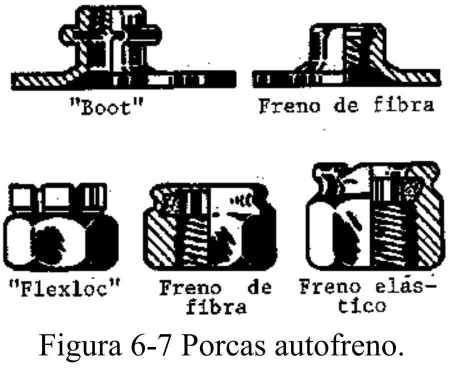


Figura 6-7 Porcas autofreno.

Porcas autofreno de aço inoxidável

São porcas que podem ser colocadas ou retiradas, girando-as com os dedos, porque sua ação de frenagem só é efetiva quando a porca estiver apertada, contra uma superfície sólida.

A porca consiste de duas partes; o corpo, com um ressalto chanfrado para frenagem com chaveta e uma peça com rosca; um ressalto de frenagem, e uma ranhura de encaixe para a chaveta.

A porca pode ser girada facilmente no parafuso, porque a rosca da peça interna é da mesma medida. No entanto, quando a porca encosta na superfície sólida e é apertada, o ressalto de frenagem da peça interna é puxado para baixo, e forçado, de encontro ao ressalto do corpo da porca. Esta ação comprime a peça com rosca e causa o aperto do parafuso.

A porca em corte é vista na fig. 6-8, mostrando como a chaveta do corpo da porca encaixa na ranhura da peça interna, no caso da porca ser girada, a peça interna gira com ela. Isso permite que a ranhura diminua e a peça interna seja comprimida quando a porca estiver apertada.

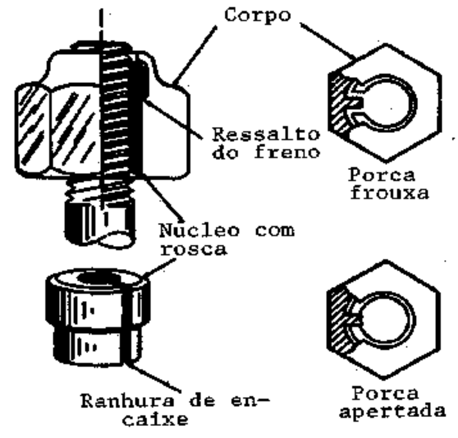


Figura 6-8 Porcas autofreno de aço inoxidável.

Porca *elastic stop*

É uma porca padrão, com a altura aumentada, para acomodar um colar de fibra para frenagem. Este colar de fibra é bastante duro e resistente, não sendo afetado quando imerso em água quente ou fria, ou em solventes comuns como éter, tetracloreto de carbono, óleos ou gasolina. O colar não causa danos à rosca ou à camada protetora do parafuso.

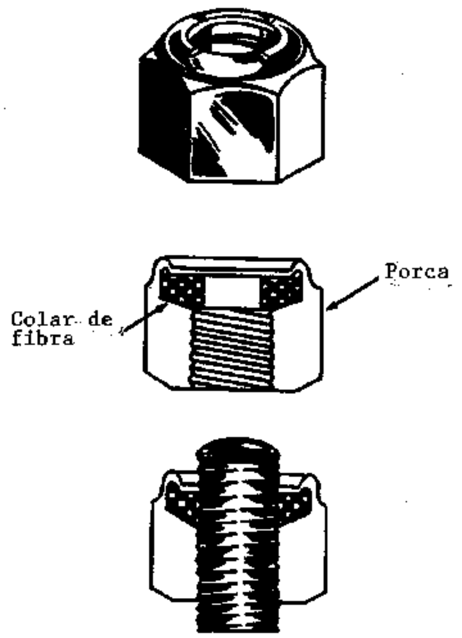


Figura 6-9 Porcas "*Elastic Stop*".

A Figura 6-9 mostra que o colar de fibra não tem fios de rosca, e que o seu diâmetro interno é menor do que o maior diâmetro da parte roscada, ou o diâmetro externo de um parafuso correspondente à porca. Quando a porca é atarrachada ao parafuso, ela atua como uma porca comum, até que o parafuso atinja o colar de fibra. Quando o parafuso é atarraxado no colar de fibra, a fricção (ou arrasto), empurra o colar para fora da porca, criando uma pressão para dentro da parte suportadora de carga e, automaticamente forçando a parte suportadora de carga da porca a entrar em um contato positivo com a rosca do parafuso. Após o parafuso ter sido forçado por toda espessura do colar de fibra, a pressão para baixo permanecerá constante, mantendo a porca seguramente frenada em sua posição, mesmo sob severa vibração.

Quase todas as porcas elastic stop são de aço ou liga de alumínio. Esse tipo de porca é encontrado em qualquer tipo de metal. As porcas *elastic stop* de liga de alumínio são fornecidas com um acabamento anodizado e as de aço, com banho de cádmio.

Normalmente, as porcas *elastic stop* podem ser usadas muitas vezes, em completa segurança, sem perderem sua eficiência de frenagem. Quando reutilizar uma porca elastic stop, certifique-se de que a fibra não perdeu sua capacidade de frenagem, nem se tornou quebradiça. Se uma porca desse tipo puder ser girada, até o fim com os dedos, deve ser substituída.

Depois que a porca tiver sido apertada, assegure-se de que a ponta do parafuso ou prisioneiro ultrapassou completamente a parte superior da porca no mínimo 1/32". Parafusos com o diâmetro de 1/16", ou mais, com orifício para contrapino, podem ser usados com porcas autofreno, mas somente se estiverem livres de limalhas ou arestas nas margens dos furos. Parafusos com fios de rosca danificados ou ponta áspera não são aceitáveis. Não se deve abrir rosca na fibra da porca autofreno.

A ação de frenagem da porca *elastic stop*, é o resultado do próprio parafuso ter aberto a rosca no colar de fibra.

Não instale a porca *elastic stop* em locais em que a temperatura ultrapasse 110º C (250ºF), porque a ação de frenagem da fibra perde a eficiência a partir desse ponto. Porcas autofreno podem ser usadas em motores de aeronaves e acessórios, quando o seu uso for especificado pelo fabricante do motor.

Porcas autofreno são fabricadas em diferentes formas e materiais, para serem rebitadas ou soldadas, na estrutura ou outras partes. Certas aplicações requerem a instalação das porcas autofreno, em canais ou trilhos que permitem a fixação de várias porcas com apenas um pequeno número de rebites (ver Figura 6-10). Nesses canais ou trilhos, as porcas são colocadas em intervalos regulares e, podem ser fixas ou removíveis.

As do tipo removíveis são flutuantes, resolvendo o problema de deslindamento, entre as peças que estão sendo unidas, e podem ser removidas ou instaladas nos trilhos, tornando possível a substituição de porcas danificadas. Porcas do tipo *clinck* e *spline*, que dependem de fricção para sua fixação, não são aceitáveis para o uso em estruturas de aeronaves.

Porcas de chapa

Do mesmo modo que as porcas rápidas, as porcas de chapa são usadas com parafusos de rosca soberba, em locais que não sejam estruturais. Elas são encontradas em várias utilizações, suportando braçadeiras de tubulações e conduítes, equipamento elétrico, portas de acesso; e são encontradas em vários tipos. Elas são fabricadas em aço de mola e são arqueadas antes do endurecimento. Esse arqueamento da mola, funciona como trava, impedindo a perda do aperto do parafuso. Essas porcas, somente devem ser usadas, quando tiverem sido instaladas durante a fabricação da aeronave.

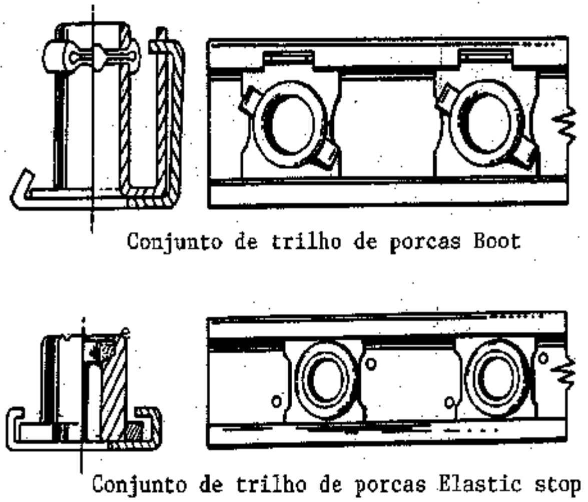

Conjunto de trilho de porcas Boot
Conjunto de trilho de porcas Elastic stop

Figura 6-10 Porcas autofreno em trilhos.

Porcas com encaixe interno e externo

São encontrados dois tipos comerciais de porcas de alta resistência, com encaixe interno ou externo para ferramentas; elas são porcas do tipo elastic stop e do tipo umbrako. Ambas são do tipo autofreno, com tratamento térmico, e capazes de oferecer uma alta resistência à carga de tensão do parafuso.

Identificação e códigos

As porcas são designadas por números de parte (PN). Os mais comuns e seus respectivos números de parte são: Lisa, AN 315 e AN 335; Castelo, AN 310; Castelada fina, AN 320; Hexagonal fina, AN 430. Os tipos patenteados de porcas autofreno têm como número de parte (PN) de MS 20363 até MS 20367. As porcas boots, a flexloc, a autofreno de fibra e a elastic stop pertencem a este grupo.

A porca tipo borboleta tem como número de parte AN 350.

Letras e números após o número de parte indicam itens como material, tamanho, fios de rosca por polegada; e se a rosca é esquerda ou direita. A letra "B" após o número de parte indica que o material da porca é o latão; um "D" indica liga de alumínio 2017-T; "DD" indica liga de alumínio 2024-T; um "C" indica aço inoxidável; e, um traço, no lugar da letra, indica aço carbono banhado a cádmio.

O algarismo (ou dois algarismos), após o traço, ou, após o código de números e letras da porca, indica o tamanho do corpo e o número de fios de rosca por polegada do parafuso para aquela porca.

Um traço seguido de um 3, por exemplo, indica que a porca fixará um parafuso AN3 (10-32); um traço e o número 4 quer dizer que fixará um parafuso AN4 (1/4-28); um traço e o número 5, um parafuso AN5 (5/16-24); e assim sucessivamente.

O número de código para as porcas autofreno é formado por três ou quatro dígitos. Os últimos dois dígitos referem-se ao número de fios de rosca por polegada e, o dígito ou dígitos anteriores indicam o tamanho da porca em 16 avos da polegada.

Outras porcas comuns e seus números de código, são:

Código AN310D5R:

AN310 = porca castelo para aeronaves.
D = liga de alumínio 2024-T.
5 = diâmetro de 5/16".
R = rosca direita (usualmente 24 fios por polegada).

Código AN320-10:

AN320 = porca castelada leve, de aço carbono com banho de cádmio.
10 = diâmetro 5/8", 18 fios de rosca por polegada (esta porca é usualmente de rosca direita).

Código AN350 B1032:

AN350 = porca borboleta para aeronaves.
B = latão
10 = parafuso número 10.
32 = número de fios de rosca por polegada.

ARRUELAS DE AVIAÇÃO

Arruelas de aviação usadas no reparo de células de aeronaves podem ser arruelas planas, freno ou de tipos especiais.

Arruelas planas

Tanto a AN960 como a AN970 são usadas sob as porcas sextavadas. Elas proporcionam uma superfície plana de apoio, e atuam como um calço, para obter uma correta distância para um conjunto porca e parafuso; são usadas para ajustar a posição do entalhe das porcas casteladas, com o orifício do parafuso, para o contrapino. Arruelas planas devem ser usadas sob as arruelas freno para evitar danos na superfície do material.

Arruelas de alumínio e de liga de alumínio podem ser usadas, sob as cabeças dos parafusos ou porcas, em estruturas de liga de alumínio ou de magnésio, quando houver a possibilidade de corrosão causada por metais diferentes.

Quando usadas desta maneira, qualquer corrente elétrica que fluir no conjunto, será entre a arruela e o parafuso de aço.

Contudo, é prática comum usar uma arruela de aço banhada em cádmio, sob a porca, em contato direto com a estrutura, devido a maior resistência contra a ação de corte da porca ser oferecida pela arruela de aço, do que por uma de liga de alumínio.

A arruela de aço AN970 proporciona uma área maior de apoio do que a AN960 e é usada em estruturas de madeira tanto sob a cabeça do parafuso como sob a porca para evitar o esmagamento da superfície.

Arruelas freno

Tanto a arruela freno AN935 quanto a AN936, são usadas com parafusos de máquina ou parafusos de aviação, onde as porcas autofreno ou castelada não devem ser instaladas.

A ação de mola da arruela freno (AN935), proporciona fricção suficiente para evitar o afrouxamento da porca, devido a vibração.

A arruela freno AN935 é também conhecida como arruela de pressão (Essas arruelas são mostradas na Figura 6-11).

As arruelas freno nunca devem ser usadas nas seguintes condições:

A. Com prendedores em estruturas primárias ou secundárias;

B. Com prendedores, em qualquer parte da aeronave, onde a falha poderá resultar em perigo ou dano pessoal, ou material;

C. Quando a falha provocar a abertura de uma junção para o fluxo de ar;

D. Quando o parafuso estiver sujeito a constantes remoções;

E. Quando a arruela estiver exposta ao fluxo de ar;

F. Quando a arruela estiver sujeita à condições de corrosão;

G. Quando a arruela estiver de encontro a materiais macios, sem uma arruela plana por baixo para evitar cortes na superfície.

Arruelas freno à prova de vibração

São arruelas circulares com uma pequena aba, a qual é dobrada de encontro a uma das faces laterais de uma porca ou, da cabeça de uma parafuso sextavado, travando na posição.

Existem vários métodos de segurança com arruelas, como uma aba, que dobrada a 90º é introduzida em um pequeno orifício na face da unidade, ou uma aba interna, que fixará um parafuso com uma ranhura própria para o freno.

As arruelas freno com aba podem suportar maiores temperaturas do que outros métodos de segurança, e podem ser usadas, sob condições de severa vibração, sem perder a segurança.

Elas deverão ser usadas somente uma vez, porque as abas tendem a quebrar-se quando dobradas uma segunda vez.

Arruelas especiais

As arruelas AC950 (ball socket) e a AC955 (*ball seat*), são arruelas especiais, usadas quando um parafuso precisa ser instalado em ângulo com a superfície ou quando for necessário um perfeito alinhamento entre o parafuso e a superfície.

Essas arruelas são usadas em conjunto e são mostradas na Figura 6-11.

As arruelas NAS 143 e MS 20002 são usadas com parafusos das séries NAS 144 até NAS 158 (parafusos com encaixe interno para ferramentas).

Estas arruelas tanto podem ser planas, para serem usadas sob a porca, como escareadas (designadas como NAS 143 e MS 20002C) para parafusos com cabeça em ângulo (para orifícios escareados).

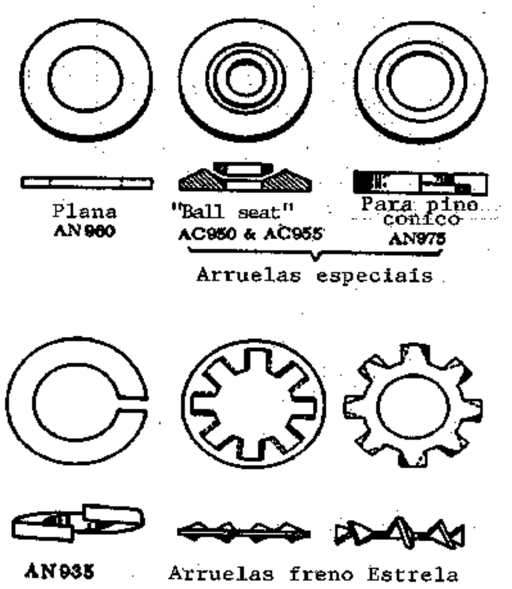


Figura 6-11 Vários tipos de arruelas

INSTALAÇÃO DE PARAFUSOS E PORCAS

Parafusos e medidas dos furos

Pequenas folgas nos furos para os parafusos, são aceitáveis, onde quer que sejam usadas sob tensão, e não estejam sujeitas a inversão de carga. Algumas das aplicações, nas quais a folga nos furos, é permitida. São elas: suportes de polias, caixas de conduítes, revestimento e diversos suportes.

Os furos para os parafusos devem ser adequados a superfície envolvida, para proporcionar um total apoio à cabeça do parafuso e a porca, e não devendo ser maior do que o necessário, nem ovalizado. Um parafuso em um furo desse tipo não produzirá nenhum esforço, até que as partes tenham cedido ou deformado o suficiente para permitir o contato da superfície do furo ovalizado com o parafuso. Convém lembrar que os parafusos, quando apertados não preenchem os furos como os rebites.

Em casos de furos maiores do que o necessário, ou ovalizados em peças críticas, obtenha informação nos Manuais do Fabricante, da aeronave ou do motor, antes de alargar o furo ou furar para atingir a medida de um parafuso de maior diâmetro.

Usualmente, alguns fatores como distância da borda, folga ou fator de carga, devem ser considerados. Em peças de pouca importância, os furos ovalizados são alargados para a medida maior, mais próxima.

Muitos furos, principalmente para os parafusos de fixação de elementos primários, têm tolerância mínima.

Geralmente, é permitido o uso da broca com a medida imediatamente superior ao diâmetro do parafuso, exceto onde for usado parafuso AN de cabeça hexagonal, em aplicações em que o furo seja ajustado para aquela medida, e onde parafusos NAS de tolerância mínima ou Clevis AN são usados.

Furos ajustados para parafusos (especificados nos desenhos de reparos como folga máxima de 0,0015" entre o parafuso e o furo), são requeridos em locais onde os parafusos são usados em reparos, ou onde eles são colocados na estrutura original.

A fixação de um parafuso em um furo não pode ser definida em termos de diâmetros, como eixo e furo; ela é definida em termos de fricção, entre o parafuso e o furo, quando o parafuso é introduzido no lugar.

Um ajustamento forte (*tight-drive*), por exemplo, necessita de pequenas batidas com um martelo de 12 a 14 onças, para introduzir o parafuso.

Um parafuso que requeira uma pancada firme e permaneça apertado, é considerado justo, demais. Um ajustamento leve (*light-drive*), fará com que um parafuso seja introduzido, entretanto, apenas o peso do martelo sobre a cabeça do parafuso é o suficiente para movê-lo.

Práticas de instalação

Examine as marcações das cabeças dos parafusos para determinar o material correto de cada parafuso. É de extrema importância usar parafusos iguais nas substituições, e em todos os casos, recorrer ao Manual de Manutenção e ao Manual de Partes aplicáveis. Esteja certo de que as arruelas estão colocadas sob a cabeça dos parafusos e porcas. Uma arruela protege, contra danos mecânicos, o material que está sendo aparafusado e evita a corrosão dos membros estruturais.

Uma arruela de liga de alumínio deverá ser usada sob a cabeça e a porca de um parafuso de aço, quando fixando peças de liga de alumínio ou de liga de magnésio.

Se ocorrer alguma corrosão, a arruela será atacada antes das peças. Arruelas de aço deverão ser usadas, quando unindo peças de aço, com parafusos também de aço.

Sempre que possível, o parafuso deverá ser colocado com a cabeça para cima ou para frente. Este posicionamento impede que o parafuso saia da posição no caso da perda da porca.

Esteja certo de que o pescoço do parafuso (parte do corpo do parafuso sem fios de rosca) tem o comprimento correto. Geralmente, o pescoço do parafuso deve ser igual a espessura do material que está sendo aparafusado. Porém, parafusos de pescoço, ligeiramente maior, podem ser usados, se forem colocadas arruelas sob a porca e sob a cabeça do parafuso. No caso de arruelas planas, adicione calços (shimes) sob as arruelas.

Frenagem de parafusos e porcas

É muito importante que todos os parafusos e porcas, exceto as do tipo autofreno, sejam frenadas após a instalação. Métodos de frenagem serão apresentados em capítulos posteriores.

TORQUE E TORQUÍMETROS

Quando a velocidade de uma aeronave aumenta, cada membro estrutural torna-se cada vez mais sujeito à tensão. Por este motivo é extremamente importante que cada parte suporte, nem mais nem menos do que a carga, para a qual foi designada. Com a finalidade de distribuir a carga, com toda segurança através de uma estrutura, é necessário que o torque adequado seja aplicado em todas as porcas, parafusos e prisioneiros. Usando o torque apropriado permitirá que a estrutura desenvolva a resistência designada e reduzirá a possibilidade de falha devido à fadiga.

Torquímetros

Os três torquímetros mais utilizados são: barra flexível, estrutura rígida e estrutura de catraca (Figura 6-12).

Quando usando o torquímetro de barra flexível ou o de estrutura rígida, o valor do torque é lido visualmente no mostrador ou escala montada no punho do torquímetro.

Para usar o do tipo catraca, solte a trava e ajuste na escala tipo micrômetro do punho, a tensão desejada; e recoloque a trava. Instale a soquete ou o adaptador adequado no local próprio do torquímetro.

Coloque o conjunto sobre a porca ou parafuso e puxe o punho, no sentido dos ponteiros do relógio, com um movimento suave, porém, firme. Um movimento rápido ou aos trancos resultará numa indicação incorreta. Quando o torque aplicado atinge o valor solicitado na regulagem, o punho automaticamente libera a trava, percorrendo livre em uma pequena distância.

A liberação da trava é facilmente sentida, não deixando dúvidas de que a aplicação do torque foi completada. Para assegurar-se de que a correta quantidade de torque é aplicada nos parafusos e porcas, todas os torquímetros devem ser testados, pelo menos uma vez por mês, ou mais vezes se necessário.

> **Nota :** Não é aconselhável o uso de extensão em um torquímetro do tipo barra flexível. Nos outros tipos de torquímetros, somente a extensão não causará efeito na leitura da indicação do torque.

O uso de uma extensão em qualquer tipo de torquímetro, deve ser feito de acordo com a fórmula da Figura 6-12.

Quando aplicando a fórmula, a força deve ser aplicada do punho do torquímetro no ponto do qual a medida foi tomada. Se isto não for feito, o torque obtido estará errado.

Tabelas de torque

A tabela padrão de torque deverá ser usada como um guia, no aperto de porcas, parafusos e prisioneiros, sempre que os valores dos torques não estejam especificados nos procedimentos de manutenção.

As seguintes regras são aplicáveis para o uso correto da tabela de torque da Figura 6-13:

A. Para obter os valores em libra/pé, divida as libras/polegadas por 12.

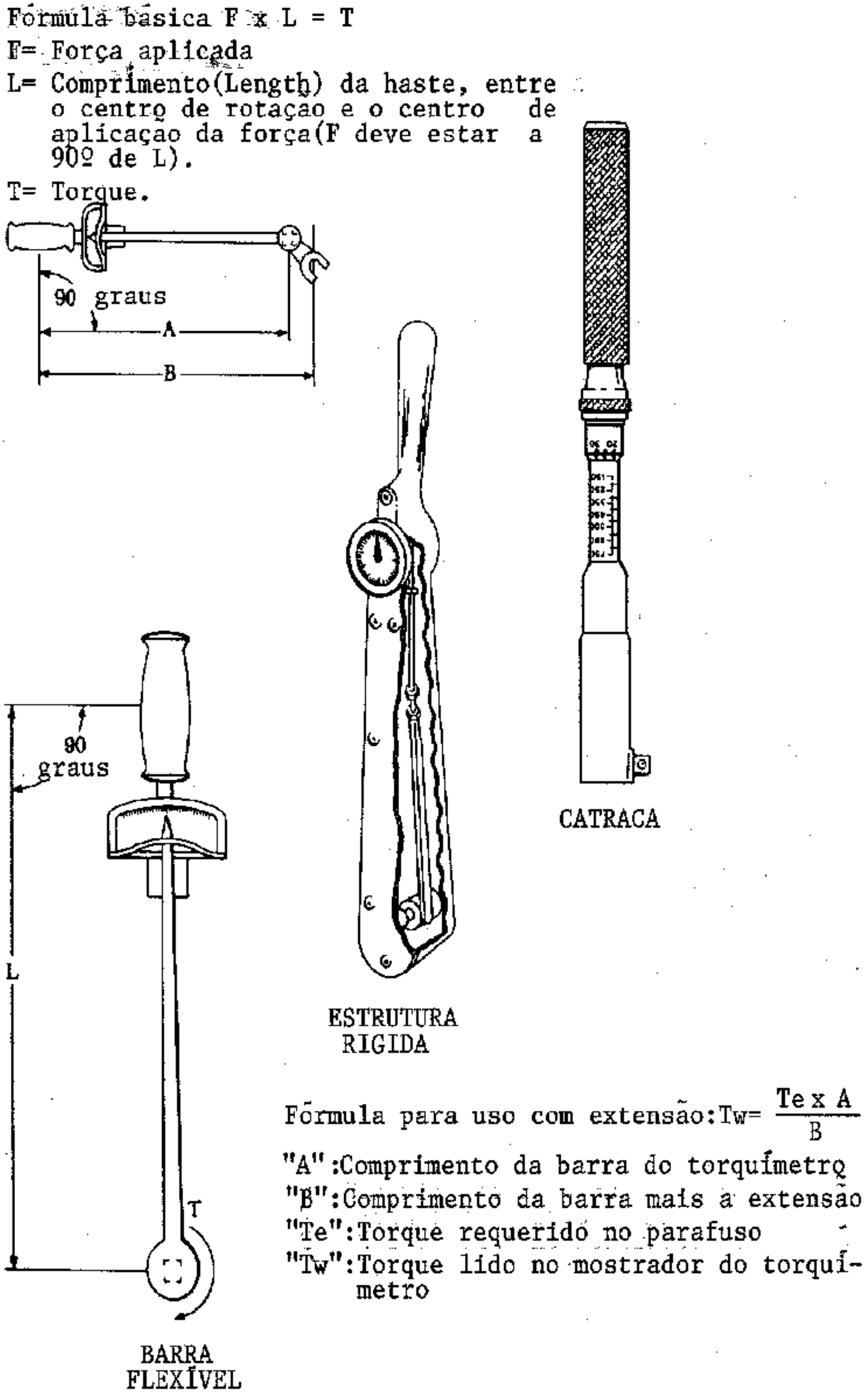
B. Não lubrifique as porcas ou os parafusos, exceto para as partes de aço resistentes à corrosão, ou, quando houver instrução específica para este procedimento.

C. Sempre aperte girando a porca em primeiro lugar, se possível. Quando a questão de espaço não permitir, aperte pela cabeça do parafuso, até uma medida próxima do valor de torque indicado. Não exceder o valor máximo de torque permitido.

D. O valor máximo de torque deverá ser usado somente quando os materiais e superfícies a serem unidos forem suficientes em espessura, área e capacidade, que resistam à quebra, torção ou outros danos.

E. Para porcas de aço resistentes à corrosão, use os valores de torque para as porcas do tipo cisalhamento.

F. O uso de algum tipo de extensão em um torquímetro, modifica a leitura do mostrador, requerida para obter o valor corrigido na tabela padrão. Quando usando uma extensão, a leitura do torque deve ser computada usando a fórmula apropriada, contida no Manual, que acompanha o torquímetro.



Fórmula básica F x L = T

F= Força aplicada

L= Comprimento(Length) da haste, entre o centro de rotação e o centro de aplicação da força(F deve estar a 90º de L).

T= Torque.

Fórmula para uso com extensão: $Tw = \frac{Te \times A}{B}$

"A":Comprimento da barra do torquímetro

"B":Comprimento da barra mais a extensão

"Te":Torque requerido no parafuso

"Tw":Torque lido no mostrador do torquímetro

Figura 6-12 Torquímetros comuns.

Alinhamento do furo para contrapino

Quando apertando porcas casteladas em parafusos, o furo para contrapino pode estar desalinhado com a ranhura da porca ao atingir o valor de torque recomendado. Exceto em casos de partes do motor altamente fatigadas, a porca pode ser superapertada para permitir o alinhamento da próxima ranhura com o furo do contrapino. As cargas de torque especificadas podem ser usadas para todas as porcas de aço com banho de cádmio, não lubrificadas, de rosca fina ou rosca grossa, as quais possuírem aproximadamente o mesmo número de fios de rosca e iguais áreas de contato. Estes valores não se aplicam quando forem especificadas medidas especiais de torque no manual de manutenção. Se a cabeça do parafuso tiver que ser girada em vez da porca, os valores de torque podem ser aumentados em uma quantidade igual a fricção do parafuso, fazendo esta medição anteriormente com o torquímetro.

OUTROS TIPOS DE PARAFUSOS DE AVIAÇÃO (*SCREWS*)

Estes parafusos são os prendedores rosqueados mais usados nas aeronaves. Eles diferem dos parafusos já estudados (*BOLTS*) por serem fabricados de materiais menos resistentes. Eles podem ser instalados com uma rosca com folga e o formato da cabeça permite o encaixe de chaves de fenda ou de boca. Alguns destes parafusos têm claramente definida a parte do corpo sem rosca, enquanto outros, possuem fios de rosca em todo o seu comprimento.

Diversos tipos destes parafusos para uso em estruturas diferem dos parafusos padrão somente no estilo da cabeça. O material de que são fabricados é o mesmo e possuem o pescoço (parte sem rosca) bem definido. O AN 525 com arruela fixa na cabeça e a série NAS 220 até o NAS 227 são desses parafusos.

Os parafusos mais usados desta classe estão divididos em três grupos:

1. Parafusos para estruturas - os quais têm a mesma resistência e medidas iguais as dos parafusos comuns (*BOLTS*);
2. Parafusos de máquina - a maioria dos parafusos utilizados em reparos gerais;
3. Parafusos de rosca soberba - aqueles utilizados para fixar pequenas partes.

Um quarto grupo, parafusos de encaixe, não são realmente parafusos, são pinos. Eles são colocados nas peças metálicas com um martelo ou macete e suas cabeças não possuem fendas ou encaixes.

Parafusos para estrutura

São feitos de liga de aço, termicamente tratados, e podem ser usados como um parafuso padrão. Eles pertencem as séries NAS 204 até NAS 235, AN 509 e AN 525. Eles têm um aperto definido e uma resistência ao cizalhamento semelhante a dos parafusos comuns da mesma medida.

As tolerâncias são semelhantes as dos parafusos AN de cabeça sextavada e a rosca é do tipo filete fino (*National Fine*). Os parafusos para estruturas têm cabeça redonda, chata e escareada. Os parafusos com encaixe na cabeça são girados, ou por chaves *Phillips*, ou *Reed and Prince.*

O parafuso AN 509 (100º) de cabeça plana, é usado em orifícios escareados, quando for necessária uma superfície plana.

O parafuso AN 525 de arruela fixa é usado onde as cabeças protuberantes não causam problemas. É um parafuso que oferece uma grande área de contato.

Parafusos de máquina

São os fornecidos com cabeça redonda, escareada e de arruela fixa. Estes parafusos são para uso geral e são fabricados de aço de baixo carbono, latão, aço resistente a corrosão e de liga de alumínio.

Os parafusos de cabeça redonda AN 515 e AN 520, têm a cabeça com fenda ou cruz. O AN 515 tem rosca grossa e o AN 520, rosca fina.

Os parafusos de máquina escareados, são relacionados como: AN 505 e AN 510 com o ângulo da cabeça de 82º; e o AN 507 de 100º. Os AN 505 e AN 510 são semelhantes quanto ao material e o uso dos de cabeça redonda AN 515 e AN 520.

Os parafusos de cabeça cilíndrica AN 500 até AN 503, são de uso geral e utilizados em tampas de mecanismos leves, como por exemplo coberturas de alumínio de caixas de engrenagens.

Os parafusos AN 500 e AN 501 são fornecidos em aço de baixo carbono, aço resistente à corrosão e latão. O AN 500 possue rosca grossa enquanto o AN 501 tem rosca fina. Eles não têm definida a parte do corpo sem rosca (pescoço). Os parafusos acima do nº 6 têm um furo na cabeça para frenagem.

Os parafusos AN 502 e AN 503 de cabeça cilíndrica são de liga de aço, com tratamento térmico, têm o pescoço curto e são fornecidos com rosca fina e rosca grossa. Estes parafusos são usados onde é requerida grande resistência. Os de rosca grossa são, normalmente, usados como parafusos de fixação de tampas de liga de alumínio e magnésio, fundidos, em virtude da fragilidade do metal.

Medida dos parafusos e prisioneiros		Valores de torque em lbs/pol para aperto de porcas			
		Em parafusos e prisioneiros padronizados tendo a resistencia a tensão de 125000 a 140000 p.s.i.		Em parafusos e prisioneiros com resistência a tensão 140000 a 160000	Em parafusos e prisioneiros de alta tensão, resist.a tensão de 160000 p.s.i. e acima.
		Porcas tipo cizalhamento, AN320,AN364 ou equivalente.	Porcas tipo tensão fixando partes de máquina(AN310 AN365 ou equiv.	Qualquer porca, exceto tipo cizalhamento (Shear).	Qualquer porca exceto do tipo cizalhamento.
8-32	8-36	7-9	12-15	14-17	15-18
10-24	10-32	12-15	20-25	23-30	25-35
1/4-20		25-30	40-50	45-49	50-68
	1/4-28	30-40	50-70	60-80	70-90
5/16-18		48-55	80-90	85-117	90-144
	5/16-24	60-85	100-140	120-172	140-203
3/8-16		95-110	160-185	173-217	185-248
	3/8-24	95-110	160-190	175-271	190-351
7/16-14		140-155	235-255	245-342	255-428
	7/16-20	270-300	450-500	475-628	500-756
1/2-13		240-290	400-480	440-636	480-792
	1/2-20	290-410	480-690	585-840	690-990
9/16-12		300-420	500-700	600-845	700-990
	9/16-18	480-600	800-1,000	900-1,220	1,000-1,440
5/8-11		420-540	700-900	800-1,125	900-1,350
	5/8-18	660-780	1,100-1,300	1,200-1,730	1,300-2,160
3/4-10		700-950	1,150-1,600	1,380-1,925	1,600-2,250
	3/4-16	1,300-1,500	2,300-2,500	2,400-3,500	2,500-4,500
7/8-9		1,300-1,800	2,200-3,000	2,600-3,570	3,000-4,140
	7/8-14	1,500-1,800	2,500-3,000	2,750-4,650	3,000-6,300
1"-8		2,200-3,000	3,700-5,000	4,350-5,920	5,000-6,840
	1"-14	2,200-3,300	3,700-5,500	4,600-7,250	5,500-9,000
1 1/8-8		3,300-4,000	5,500-6,500	6,000-8,650	6,500-10,800
	1 1/8-12	3,000-4,200	5,000-7,000	6,000-10,250	7,000-13,500
1 1/4-8		4,000-5,000	6,500-8,000	7,250-11,000	8,000-14,000
	1 1/4-12	5,400-6,600	9,000-11,000	10,000-16,750	11,000-22,500

Figura 6-13 Tabela de torque padrão (lb-pol).

Parafusos de rosca soberba

Os parafusos de máquina, de rosca soberba, são relacionados como: AN 504 (de cabeça redonda) e AN 506 (cabeça escareada a 82º). Estes parafusos são usados para fixar peças removíveis; tais como, chapas de inscrição, peças fundidas e partes nas quais o próprio parafuso corta os fios de rosca.

Os parafusos AN 530 e AN 531 de rosca soberba, para chapas metálicas, tais como os parafusos *Parker-Kalon* tipo Z, para chapas metálicas, não têm ponta fina; e são usados em fixações temporárias de chapas metálicas, a serem rebitadas; e em fixações permanentes de conjuntos não estruturais. Parafusos de rosca soberba não devem ser usados como substitutos de parafusos padrão, porcas ou rebites.

Parafusos de encaixe (*drive screws*)

São parafusos AN 535 correspondentes ao *Parker-Kalon* tipo U. Eles têm a cabeça lisa, rosca soberba; e são usados para fixação de chapas de inscrição, em peças fundidas, na vedação de furos de dreno e em estruturas tubulares à prova de corrosão.

Não é prevista a remoção destes parafusos após a instalação.

Identificação e códigos

O sistema de códigos usado para identificar estes diferentes tipos de parafuso (screws), é semelhante ao usado para os bolts. Os do tipo NAS são parafusos para estruturas. Os números de parte 510, 515, 520, e assim por diante, classificam os parafusos em classes; tais como, cabeça redonda, cabeça plana, cabeça com arruela fixa, e etc. Letras e números indicam o material de sua composição, comprimento e diâmetro. Exemplos de códigos AN e NAS, são dados a seguir:

AN501B - 416-7
AN = Padrão *Air Force - Navy*
501 = Cabeça cilíndrica, rosca fina
B = Latão
416 = 4/16" de diâmetro
7 = 7/16" de comprimento

A letra "D" no lugar de "B", indica que o material é de liga de alumínio 2017-T. A letra "C", indica aço resistente à corrosão. Uma letra "A", colocada antes do código do material, indica que a cabeça do parafuso é furada para frenagem.

NAS 144DH - 22
NAS = *National Aircraft Standard*
144 = Tipo de cabeça; diâmetro e rosca.parafuso de 1/4"-28, com encaixe interno para ferramenta.
DH = cabeça com furo para frenagem
22 = comprimento em 16 avos da polegada - 22/16" = 1 3/8"

O número básico, NAS, identifica a parte. As letras em sufixo, e os números separados por traços, identificam os diferentes tamanhos, camada protetora do material, especificações da furação, etc. Os números, após os traços e as letras em sufixo, não obedecem a um padrão. Algumas vezes é necessário consultar os manuais específicos para a legenda.

REPAROS EM ROSCAS INTERNAS

Instalação ou remoção de parafusos são tarefas simples, comparadas com a instalação ou remoção de prisioneiros. As cabeças dos parafusos e das porcas são instaladas externamente, enquanto que, os prisioneiros são instalados em roscas internas.

As roscas, danificadas em parafusos ou porcas, são facilmente identificadas, e só requerem a substituição da parte danificada. Quando roscas internas se danificam, existem duas alternativas: a substituição da peça e o reparo, ou a substituição da rosca.

A recuperação da rosca danificada, é normalmente, o recurso mais barato e mais conveniente. Os dois métodos de reparo são: substituição de buchas e instalação de roscas postiças *Heli-Coils.*

Substituição de buchas

As buchas são materiais de uso especial (buchas de aço ou latão na cabeça dos cilindros para colocação das velas). São materiais resistentes ao desgaste do uso, onde é freqüente a substituição. A rosca externa é, normalmente, de filetes grossos. Quando a bucha é instalada, um produto de vedação pode ou não ser usado, para evitar perdas. Muitas buchas têm rosca esquerda na parte externa e rosca direita na interna. Com esta providência, a remoção do parafuso ou prisioneiro (com rosca direita), tende a apertar o embuchamento.

Buchas para instalações comuns, como velas de ignição, podem ser supermedidas, acima de .040 (em incrementos de .005). A instalação original e a substituição em oficinas de revisão geral, são efetuadas com tratamento antagônico de temperatura, isto é, a cabeça do cilindro é aquecida e a bucha é congelada.

Rosca postiça *heli-coil*

É um arame de aço inoxidável 18-8, de seção rômbica, enrolado com rigorosa precisão, em forma de mola helicoidal (fig. 6-14).

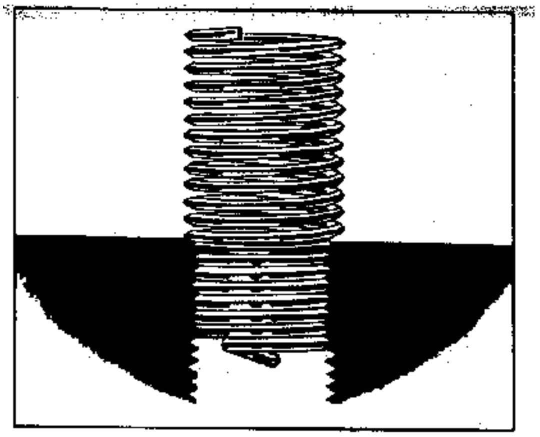


Figura 6-14 Rosca postiça "*Heli-coil*".

Após inserido em um furo rosqueado, devidamente preparado, a rosca postiça *Heli-coil* constitui uma rosca fêmea calibrada (*Unified Coarse* ou *Unified Fine*, classes 2-3B), correspondente ao diâmetro nominal da rosca desejada, em perfeita obediência às dimensões e tolerâncias estabelecidas pelo sistema de rosca correspondente (métrico ou polegada). O conjunto instalado acomoda peças com rosca externa. Cada rosca postiça tem um pino de arrasto com um entalhe, para facilitar a remoção do pino, depois que a rosca postiça estiver instalada no furo roscado.

Elas são usadas como uma bucha. Além de serem usadas para restaurar roscas danificadas, elas são usadas em projetos originais de mísseis, motores de aeronaves e todo o tipo de equipamentos mecânicos e seus acessórios, para proteger e fortalecer o rosqueamento interno de materiais frágeis, metais e plásticos, particularmente, em locais que requerem freqüentes montagens e desmontagens, e/ou, onde uma ação de frenagem de parafuso é desejada.

Instalação da rosca postiça

A instalação consiste em uma seqüência de 5 a 6 itens (Figura 6-15), dependendo de como o quinto item for classificado, descarta-se o sexto item.

As seguintes instruções do fabricante deverão ser seguidas durante a instalação:

1 Determinar quais as roscas que estão danificadas.

2 **a)** Em novas instalações da rosca postiça, broquear a rosca danificada para a profundidade mínima especificada.

b) Com *Heli-Coil* previamente instalada, usando o extrator no tamanho adequado, colocar a borda da lâmina a 90º da borda do conjunto. São dadas pequenas pancadas com o martelo, para assentar a ferramenta; girando para a esquerda, com pressão, até remover o conjunto. Os fios de rosca não ficarão danificados se o conjunto for removido corretamente.

3 **Abridor de rosca** - Use o abridor de rosca macho, na medida requerida. O procedimento de abrir rosca é o padronizado. O comprimento da parte rosqueada deve ser igual ou maior do que o requerido.

4 **Medidor** - Os fios de rosca devem ser verificados com um medidor de rosca *Heli-Coil.*

5 **Instalação do conjunto *Heli-Coil*** - Usando a ferramenta adequada, instalar o conjunto até uma profundidade que permita que o final superior da espiral fique de 1/4 a 1/2 espira abaixo da superfície do furo.

6 **Remoção do pino de arrasto** - Selecione a ferramenta própria para a quabra do pino de arrasto. Os pinos devem ser removidos em todos os furos passantes. Nos furos cegos os pinos de arrasto podem ser removidos quando necessário se o furo tiver profundidade bastante por baixo do pino do conjunto instalado.

Estas instruções não são consideradas como específicas para instalação de roscas postiças do tipo *Heli-Coil*. Para instalar um conjunto de roscas postiças, devem ser seguidas as instruções fornecidas pelo fabricante.

As roscas postiças *Heli-Coil* são fornecidas com os seguintes tipos de roscas: grossa, fina, métrica, de vela de ignição e *National Taper Pipe*.

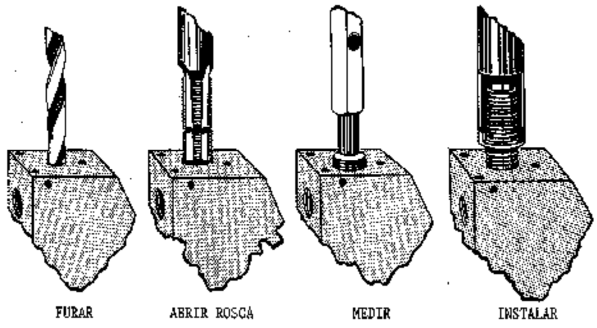


Figura 6-15 Instalação da rosca postiça.

REPARO COM LUVAS ACRES

Luvas prendedoras acres são elementos tubulares, de parede fina, com a cabeça em ângulo para furos escareados. As luvas são instaladas em furos destinados a parafusos padrão e rebites.

O furo existente deve ser supermedido em 1/16" para a instalação da luva. As luvas são fabricadas em incrementos de polegada. Ao longo do seu comprimento, ranhuras proporcionam locais para a quebra ou o corte do excesso do comprimento, para a medida exata. As ranhuras proporcionam também um espaço para manter o adesivo ou selante quando colando a luva no furo.

Vantagens e limitações

As luvas são usadas em orifícios que possam ser supermedidos em 1/64", para remoção de corrosão ou outros danos. O orifício supermedido, com a luva instalada, permite o uso de um prendedor de diâmetro original, no orifício já reparado.

As luvas podem ser usadas em áreas de alta corrosão galvânica, desde que esta corrosão esteja em uma parte que possa ser prontamente removida. O alargamento do furo reduz a espessura da seção em corte do local e só deverá ser efetuado quando absolutamente necessário. O fabricante da aeronave, do motor ou dos componentes, deverá ser consultado antes que o reparo dos orifícios danificados seja efetuado com as luvas acres.

Identificação

As luvas são identificadas por um código padronizado de números (Figura 6-16A), que representam o tipo, o formato, o código do material, o diâmetro do corpo, a letra código do acabamento e o aperto da espiga da luva. O tipo e o material da luva são representados pelo número básico do código.

O primeiro número, após o traço, representa o diâmetro da luva para o prendedor a ser instalado (parafuso, rebite etc), e o número após o segundo traço representa o comprimento da luva.

O comprimento da luva é determinado na instalação, e o excesso é cortado. Uma luva JK5512A-O5N-10 tem a cabeça com perfil baixo, ângulo de 100º, e o material é de liga de alumínio. O diâmetro é para um parafuso ou rebite de 5/32", a superfície não tem acabamento e o seu comprimento é de 5/8".

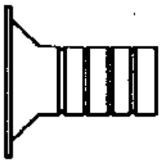
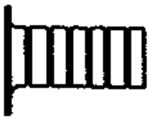
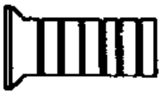
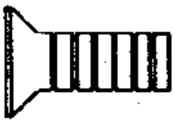
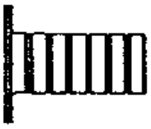
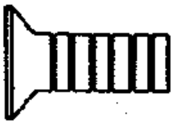
Preparação do furo

Veja na Figura 6-16B o número da broca para o furo padrão ou para a aproximação. Após feito, inspecione o furo, a para assegurar-se de que toda a corrosão foi removida, antes da instalação da luva. O furo deve estar também com o contorno perfeito e sem rebarbas. O escareado deve ser aumentado para receber a parte chanfrada da luva de modo que ela fique no mesmo plano da superfície.

Instalação

Depois que o tipo correto e o diâmetro da luva forem selecionados, use a ferramenta 6501, para cortar o excesso da luva no final da instalação.

A luva pode ser instalada no furo, com ou sem, selante. Quando instalado com selante, use o MIL-S-8802A1/2. Reinstale o prendedor (parafuso, rebite etc), na medida original, e aplique o torque previsto.

LUVAS ACRES	TIPO	Nº de parte básico
	100º 509 Tensão Cabeça mais Flange	JK5610
	Cabeça redonda (Shear)	JK5511
	100º Cabeça de perfil baixo	JK5512
	100º Perfil padrão da cabeça (tipo 509)	JK5516
	Cabeça redonda (tensão)	JK5517
	100º Cabeça de tensão supermedida (paraf. 1/64")	JK5533

LUVA	PARAF MEDIDA	② LUVA COMPRIM.
JK5511( )04 ( )( ) JK5512( )04 ( )( ) JK5516( )04 ( )( ) JK5517( )04 ( )( )	1/8	8
JK5511( )45 ( )( ) JK5512 JK5516( )45 ( )( ) JK5517( )45 ( )( )	#6	8
JK5511( )05 ( )( ) JK5512( )05 ( )( ) JK5516( )05 ( )( ) JK5517( )05 ( )( )	5/32	10
JK5511( )55 ( )( ) JK5512( )55 ( )( ) JK5516( )55 ( )( ) JK5517( )55 ( )( ) JK5610( )55 ( )( )	#8	10
JK5511( )06 ( )( ) JK5512( )06 ( )( ) JK5516( )06 ( )( ) JK5517( )06 ( )( ) JK5610( )06 ( )( )	#10	12
JK5511( )08 ( )( ) JK5512( )08 ( )( ) JK5516( )08 ( )( ) JK5517( )08 ( )( ) JK5610( )08 ( )( )	1/4	16
JK5511( )10 ( )( ) JK5512( )10 ( )( ) JK5516( )10 ( )( ) JK5517( )10 ( )( ) JK5610( )10 ( )( )	5/16	16
JK5511( )12 ( )( ) JK5512( )12 ( )( ) JK5516( )12 ( )( ) JK5517( )12 ( )( ) JK5610( )12 ( )( )	3/8	16

JK5511 A 04 N 08 L

"L" no final do PN indica lubrif.alcool cetyl

Comprim. em 16 avos(quebrar excesso no friso.

Acabamento da superfície:
N: sem acabamento
C: película química por MIL-C-554.

Diâmetro do corpo em 32 avos.

Material ①

Nº de parte básico

LUVA PN Nº ①	PARAF MEDIDA	② LUVA COMPRIMENTO
JK5533( )06 ( )( )	13/64	12
JK5533( )08 ( )( )	17/64	16
JK5533( )10 ( )( )	21/64	16
JK5533( )12 ( )( )	25/24	16

MATERIAL	CÓDIGO
5052 Liga de al. (1/2duro)	A
6061 Liga de al. (cond.T6)	B
A286 Aço Inox. ("passivate)	C

NOTAS:

① Luvas Acres JK 5533 1/64" superm.apenas em aço A286.

② O comprim. das luvas Acres é em 16 avos da polegada.

Figura 6-16A Identificação das luvas ACRES.

PREPARAÇÃO DO FURO PARA PARAFUSO SUPERMEDIDO 1/64"

MEDIDA PARAFUSO	BROCA Nº	DIAM. FURO
13/64	7/32	0.2187
17/64	9/32	0.2812
21/64	11/32	0.3437
25/64	13/32	0.4062

PREPARAÇÃO DO FURO

MEDIDA DO PARAFUSO	PADRÃO		TOLERÂNCIA	
	BROCA Nº	DIAM. FURO	BROCA Nº	DIAM. FURO
1/8	9/64	0.1406	28	0.1405
#6	23	0.1540	24	0.1520
5/32	11/64	0.1719	18	0.1695
#8	15	0.1800	16	0.1770
#10	5	0.2055	6	0.2040
1/4	14	0.2660	17/64	0.2656
5/16	21/64	0.3281		
3/8	25/64	0.3906		

INSTALAÇÃO

A-FURE PARA REMOVER A CORROSÃO OU DANOS, SUPERMEDIDO EM 1/64".

B-SELECIONE A LUVA ACRES PARA O TIPO E TAMANHO DO PARAFUSO.

C-CÓLE A LUVA NO ORIFICIO DA ESTRUTURA COM SELANTE MIL-S-8802 CLASSE A 1/2.

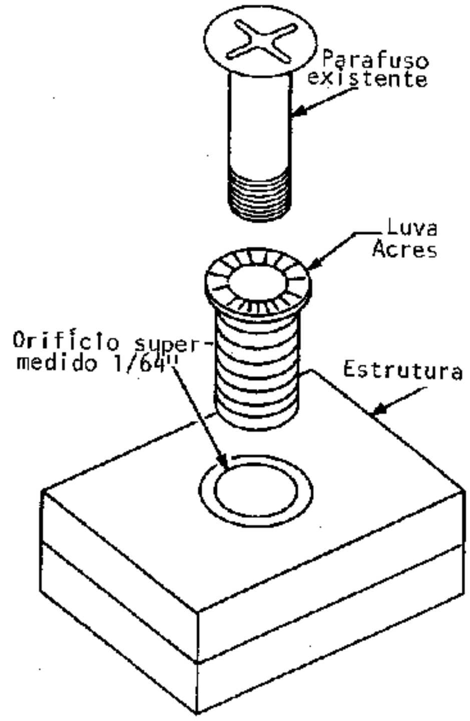


Figura 6-16B Identificação das luvas ACRES.

Remoção da luva

As luvas sem selante podem ser removidas, usando-se um pino com a medida externa da luva, ou então deformando a luva e removendo-a com uma ferramenta pontiaguda. As luvas com selante podem ser removidas por este método, porém, muito cuidado deve ser tomado para não danificar estrutura do furo.

Se este método não puder ser utilizado, broqueie a luva com uma broca, com 0.004 a 0.008 à menos do que a broca que abriu o furo para instalar a luva.

A porção remanescente da luva pode ser removida usando uma ferramenta pontiaguda e aplicando um solvente para a remoção do selante.

PRENDEDORES DE ABERTURA RÁPIDA

São prendedores usados para fixar janelas de inspeção, portas e outros painéis removíveis da aeronave. São conhecidos também pelos termos: rápida ação, trava rápida e prendedores para painéis trabalhantes. A mais desejável aplicação para estes prendedores é permitir a rápida remoção de painéis de acesso, para inspeção e serviços.

Estes prendedores são fabricados e supridos por vários fabricantes e sob várias marcas registradas. Os mais comuns são: *Dzus, Camloc* e *Airloc.*

Prendedores Dzus

Consiste em um pino prisioneiro, um ilhós e um receptáculo. A Figura 6-17 ilustra as diversas partes que compõem a instalação de um Dzu.

O ilhós é feito de alumínio ou liga de alumínio. Ele atua como um dispositivo de fixação do pino prisioneiro. Os ilhoses podem ser fabricados de tubulações de alumínio 1100, se não forem encontrados através do fornecimento normal.

A mola é feita de aço, com banho de cádmio para evitar corrosão, e fornece a força que trava ou prende o pino no lugar, quando os dois conjuntos são unidos.

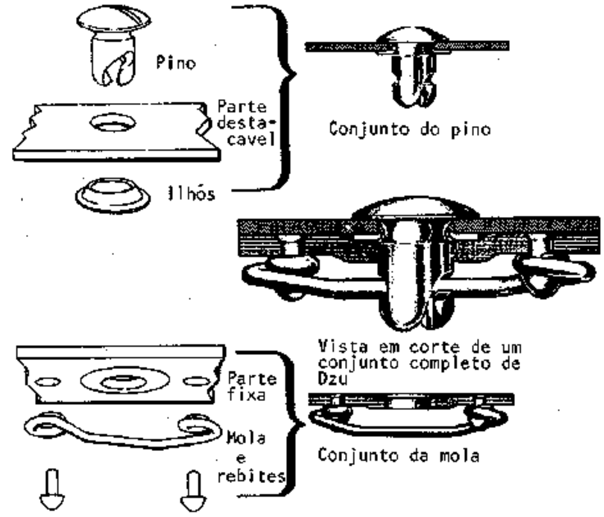

Pino
Parte destacável
Conjunto do pino
Ilhós
Vista em corte de um conjunto completo de Dzu
Parte fixa
Mola e rebites
Conjunto da mola

Figura 6-17 Prendedores Dzus.

Os pinos prisioneiros são fabricados de aço e banhados com cádmio. São fornecidos com três tipos de cabeças: borboleta, plana ou oval. O diâmetro do corpo, o comprimento e o tipo de cabeça podem ser identificados ou determinados pelas marcas na cabeça do pino prisioneiro (Figura 6-18). O diâmetro é sempre medido em 16 avos de polegada. O comprimento do prisioneiro é medido em centésimos de polegada, que é a distância da cabeça até a parte inferior do orifício para a mola.

Um quarto de volta do prisioneiro (no sentido dos ponteiros do relógio), trava o prendedor. O prendedor somente pode ser destravado girando-se o pino prisioneiro no sentido contrário dos ponteiros do relógio. Os Dzus são, travados ou destravados, com uma chave de fenda comum ou uma chave especial para Dzus.

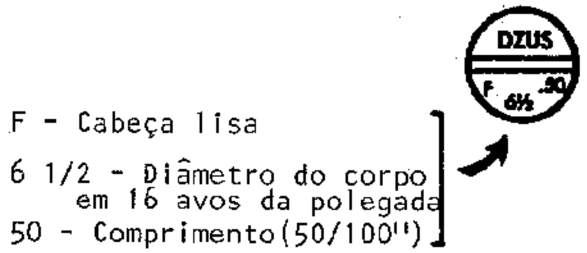

DZUS
F 6½ .50
F - Cabeça lisa
6 1/2 - Diâmetro do corpo em 16 avos da polegada
50 - Comprimento (50/100'')

Figura 6-18 Identificação de Dzus.

Prendedores *Camloc*

São feitos em uma variedade de estilos e formatos. Os mais utilizados são os das séries 2600, 2700, 40S51 e 4002, na linha regular, e os prendedores de painéis trabalhantes na linha de trabalho pesado. Estes últimos são usados em painéis trabalhantes que suportam cargas estruturais.

O prendedor *Camloc* é usado para prender coberturas e carenagens da aeronave. Ele consiste de três partes: um conjunto prisioneiro, um ilhós e um receptáculo. Dois tipos de receptáculos são fornecidos: o rígido e o flutuante. A Figura 6-19 mostra o prendedor *Camloc*.

O prisioneiro e o ilhós são instalados na parte removível, enquanto o receptáculo é rebitado na estrutura da aeronave. O conjunto prisioneiro e o ilhós são instalados em orifícios planos, mameados, escareados ou rebaixados, dependendo da localização e da espessura do material envolvido.

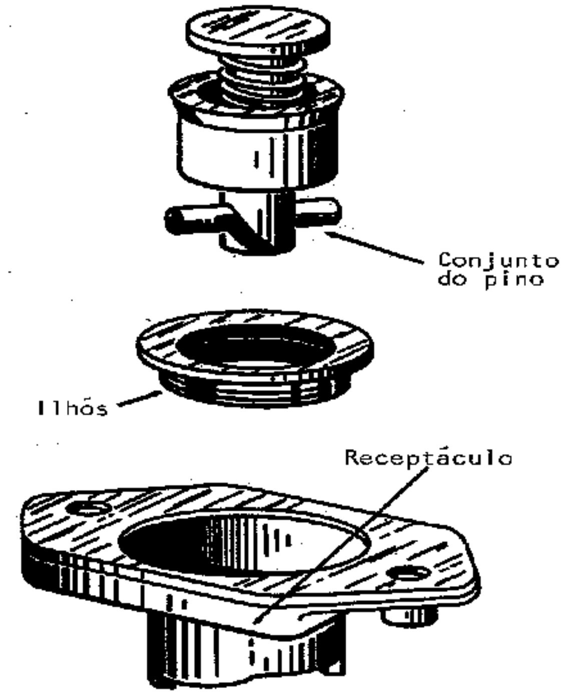

Conjunto do pino
Ilhós
Receptáculo

Figura 6-19 Prendedor *Camloc*.

Um quarto de volta (no sentido dos ponteiros do relógio) do prisioneiro, trava o prendedor, e ele somente será destravado quando girado no sentido contrário dos ponteiros do relógio.

Prendedores *Airloc*

Os prendedores *Airloc* mostrados na Figura 6-20 consistem de três partes: um prisioneiro, um pino e um receptáculo. O prisioneiro é feito de aço cimentado para evitar o desgaste excessivo. O orifício do prisioneiro é ajustado para fixar o pino sob pressão.

A espessura total do material que será fixado com o *Airloc* deve ser conhecida antes de selecionar o comprimento do prisioneiro que será instalado. A espessura do material que cada prisioneiro poderá fixar está estampada na cabeça do prisioneiro em milésimos de polegada (.040, .070, .190, etc). Os prisioneiros são manufaturados em três estilos de cabeça: lisa, oval e borboleta.

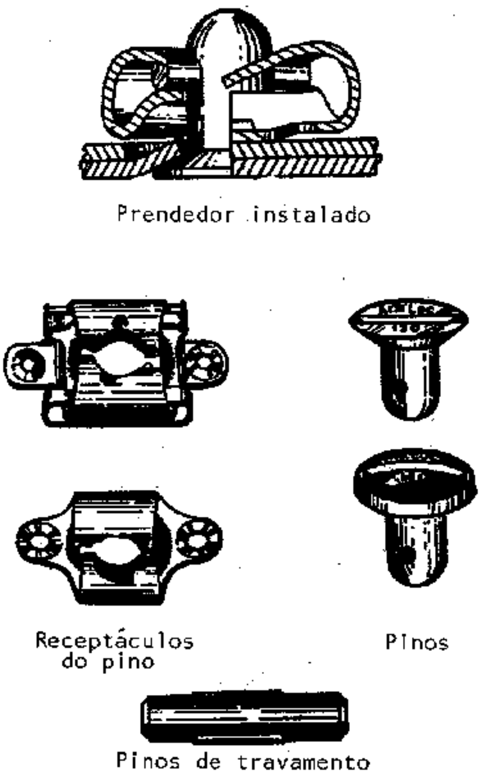


Figura 6-20 Prendedor *Airloc.*

O pino (Figura 6-20), é manufaturado de aço cromo-vanádio, e com tratamento térmico para proporcionar um máximo de resistência, utilização e conservação de força. Ele nunca deverá ser usado uma segunda vez. Tendo sido removido, deverá ser substituído por um novo. Os receptáculos para os prendedores airloc são fabricados nos tipos rígidos e flutuantes.

Os tamanhos são classificados por números: nº 2, nº 5 e nº 7. Eles são também classificados pela distância entre os furos dos rebites que fixam o receptáculo: nº 2, 3/4"; nº 5, 1" e nº 7, 1 3/8". Os receptáculos são fabricados em aço de alto índice de carbono, com tratamento térmico. O encaixe superior, tipo borboleta assegura a ejeção do prisioneiro, quando ele for destravado, e permite ao pino ser mantido na posição travado, entre a borboleta superior, o ressalto e o batente, independente da tensão para a qual o receptáculo está subordinado.

CABOS DE COMANDO

Cabos são os meios mais amplamente utilizados para acionamento das superfícies primárias dos controles de vôo. Comandos através de cabos são também utilizados nos controles de motores, sistemas de extensão, em emergência do trem de pouso, e vários outros sistemas das aeronaves.

Os comandos, por meio de cabos, têm muitas vantagens sobre os outros tipos. Ele é forte, de pouco peso, e sua flexibilidade torna fácil sua rota através da aeronave. Um cabo de comando tem uma alta eficiência, e pode ser acionado sem folga, tornando-o de muita precisão nos controles.

As ligações com cabos têm também algumas desvantagens. A tensão deve ser ajustada freqüentemente com o esforço e as variações de temperatura. Os cabos de controle de aeronaves são fabricados de aço carbono ou aço inoxidável.

Construção de cabos

O componente básico de um cabo é o arame. O diâmetro do arame determina o diâmetro total do cabo. Um número de arames são preformados em uma forma helicoidal ou espiral antes, de sua adaptação no cabo, e podem ser desenroladas independentes. As designações de um cabo são baseadas no número de pernas e no número de fios em cada perna. Os cabos mais comuns usados em aeronaves são o 7x7 e o 7x19.

O cabo 7x7 consiste de sete pernas de sete fios, cada uma. Seis destas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse é um cabo de média flexibilidade e é usado para comando de compensadores, controle dos motores e comando de sistemas de indicação.

O cabo 7x19 é feito de sete pernas de dezenove fios, cada um. Seis dessas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse cabo é extremamente flexível, e é usado nos sistemas primários de comando, e em outros locais, onde, a ação sobre roldanas é freqüente.

Os cabos de comando de aeronaves variam em diâmetro, que variam de 1/16" a 3/8". O diâmetro de um cabo é medido como mostra a Figura 6-21.

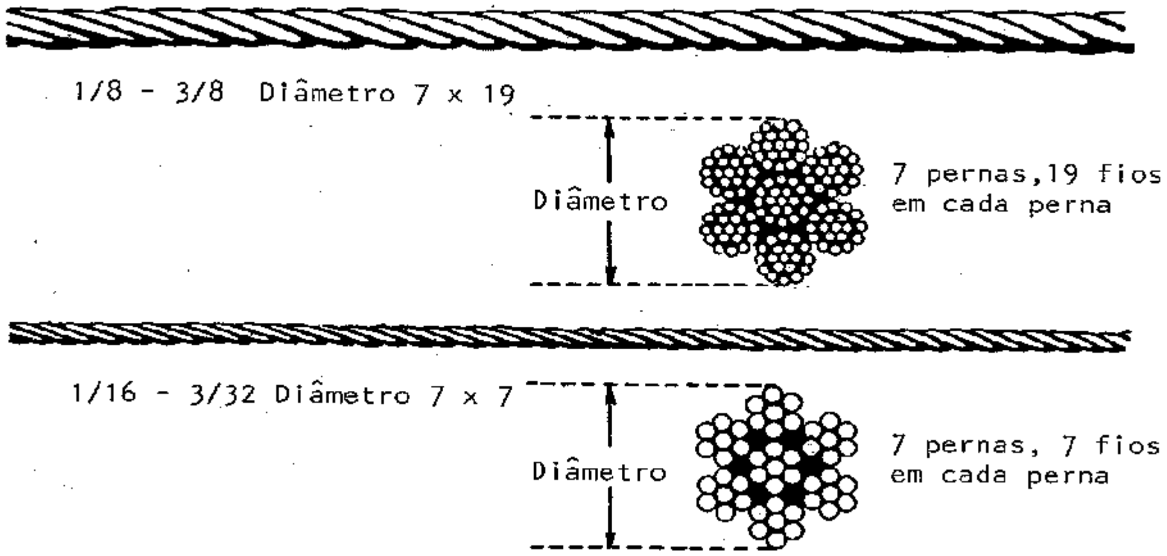

1/8 - 3/8 Diâmetro 7 x 19
Diâmetro
7 pernas,19 fios em cada perna
1/16 - 3/32 Diâmetro 7 x 7
Diâmetro
7 pernas, 7 fios em cada perna

Figura 6-21 Seção em corte de cabo de comando.

As designações de um cabo são baseadas no número de pernas e no número de fios em cada perna. Os cabos mais comuns usados em aeronaves são o 7x7 e o 7x19.

O cabo 7x7 consiste de sete pernas de sete fios, cada uma. Seis destas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse é um cabo de média flexibilidade e é usado para comando de compensadores, controle dos motores e comando de sistemas de indicação.

O cabo 7x19 é feito de sete pernas de dezenove fios, cada um. Seis dessas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21).

Esse cabo é extremamente flexível, e é usado nos sistemas primários de comando, e em outros locais, onde, a ação sobre roldanas é freqüente.

Os cabos de comando de aeronaves variam em diâmetro, que variam de 1/16" a 3/8". O diâmetro de um cabo é medido como mostra a Figura 6-21.

Terminais de cabos

Os cabos podem ser conectados com diversos tipos de terminais, sendo os mais utilizados os do tipo prensado, com formato de bola, garfo, rosqueado e outros.

O terminal rosqueado, o em garfo e o em olhal são usados para conectar o cabo a um esticador, uma articulação ou outra ligação do sistema.

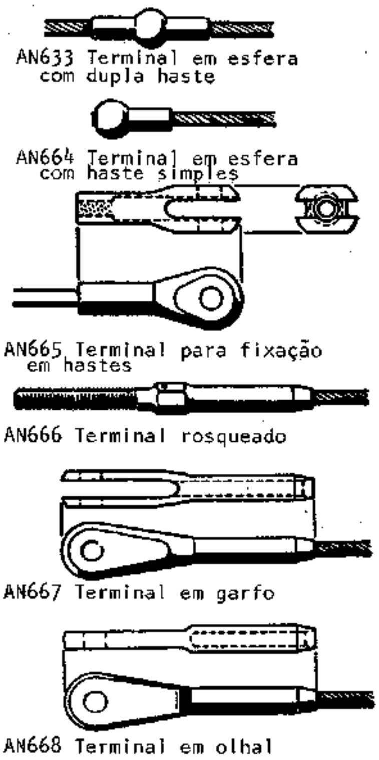

AN633 Terminal em esfera com dupla haste
AN664 Terminal em esfera com haste simples
AN665 Terminal para fixação em hastes
AN666 Terminal rosqueado
AN667 Terminal em garfo
AN668 Terminal em olhal

Figura 6-22 Tipos de terminais de cabos de comando.

O terminal em esfera é usado para ligação de cabos em quadrantes e conexões especiais, quando o espaço é limitado. A Figura 6-22 ilustra os diferentes tipos de terminais.

Os terminais sapatilha "*bushing* e *shackle*", podem ser utilizados no lugar de alguns tipos de terminais.

Quando as condições de suprimento forem limitadas e a substituição do cabo tenha que ser feita imediatamente.

Esticadores

Um esticador é um mecanismo formado por dois terminais roscados, e uma peça intermediária, que, ao ser girada em um sentido, tende a separar os terminais. Em outra direção, tende a junta-los, possibilitando assim, a regulagem da tensão dos cabos de comando ligados aos terminais. Um dos terminais possue rosca esquerda e o outro rosca direita. A peça central possue rosca esquerda de um lado e direita do outro, sendo ambas internas.

Quando instalando um esticador, em um sistema de controle, é necessário atarrachar ambos os terminais em igual número de voltas na parte central. É também essencial, que após a introdução dos terminais, na parte central, fiquem expostos, no máximo, três fios de rosca em cada terminal (ver Figura 6-23).

O tamanho correto e o tipo dos esticadores (longo ou curto), deve ser observado por ocasião de cada instalação de cabo. Deve ser observado o estado dos fios de rosca** e a sua lubrificação. As roscas, esquerda e direita, devem ser verificadas quanto ao sentido correto e o tipo de terminal do cabo correspondente, de acordo com os desenhos; devem ser lubrificadas, segundo as especificações da fábrica; todo o excesso de lubrificante deverá ser removido. Após a regulagem, o esticador deverá ser frenado. Os métodos de frenagem serão vistos em capítulo posterior.

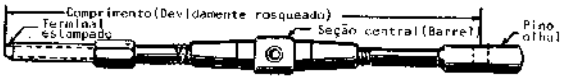


Figura 6-23 Conjunto típico de esticador.

CONEXÕES RÍGIDAS DE CONTROLE

São tubos, utilizados como ligação, em vários tipos de sistemas, operados mecanicamente. Este tipo de ligação elimina o problema de tensão e permite a transferência, tanto de compressão como de tração, por meio de um simples tubo.

Um conjunto de conexão rígida consiste de um tubo de liga de alumínio ou aço, com um terminal ajustável, e uma contraporca em cada extremidade (Figura 6-24) .

As contraporcas fixam os terminais, depois que o conjunto tiver sido ajustado para o seu correto tamanho. As conexões rígidas são, geralmente, feitas em pequenas seções, para evitar vibração e curvaturas, quando sob carga de compressão.

PINOS

Os três principais tipos de pinos usados em estruturas de aeronaves são: pino de cabeça chata e contrapino.

Os pinos são usados em aplicações cisalháveis e por segurança. Pinos cônicos têm tido sua aplicação aumentada em construção aeronáutica.

Pino cônico

Liso ou com rosca (AN385 e AN386), são usados em juntas que sofrem carga de cisalhamento, e quando a ausência de folga é essencial.

O pino liso é furado e usualmente frenado com arame. O com rosca é usado com arruela (AN975) e porca (contrapinada) ou porca auto-freno.

Pino de cabeça chata

Normalmente chamado de pino Clevis, o (MS20392) é usado em terminais de tirantes e controles secundários os quais não estejam sujeitos a contínuas operações.

O pino deve ser instalado com a cabeça para cima, como prevenção, para o caso de perda ou falha do contra-pino, garantindo a permanência do pino no seu devido lugar.

Contra-pino

O (AN380) contra-pino de aço de baixo-carbono e banhado com cádmio é usado na frenagem de parafusos, porcas, outros pinos e em várias aplicações, quando a segurança se faz necessária. O AN381 é um contra-pino de aço resistente à corrosão, usado em locais onde é requerido material não magnético, ou em locais onde a resistência a corrosão é necessária.

Rollpins

É um pino colocado sob pressão e com as pontas chanfradas, tem a forma tubular e cortado em todo o seu comprimento. O pino e colocada no lugar por meio de ferramentas manuais, sendo comprimido e girado na posição.

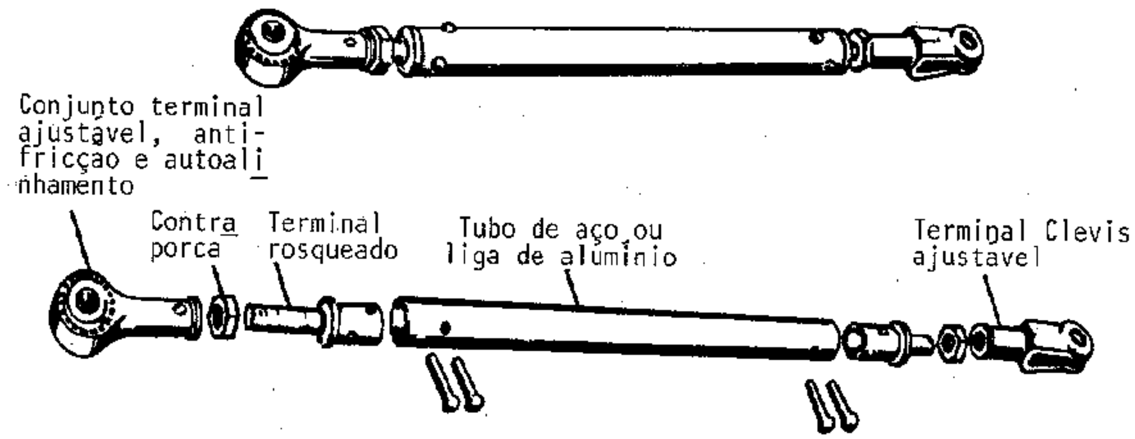

Conjunto terminal ajustavel, anti-fricçao e autoalinhamento
Contra porca
Terminal rosqueado
Tubo de aço ou liga de alumínio
Terminal Clevis ajustavel

Figura 6-24 Conjunto de haste rígida de comando.

A pressão exercida pelo pino nas paredes do orifício é que o mantém fixo, até sua remoção com um punção de montagem ou com um toca-pino.

MÉTODOS DE SEGURANÇA

São os processos de segurança empregados em toda a aeronave em parafusos, porcas, pinos e outros elementos de fixação, os quais não podem trabalhar frouxos devido a vibração. É necessária uma familiarização, com os vários métodos e meios de frenagem do equipamento na aeronave, com a finalidade de executar a manutenção e inspeção.

Existem vários métodos de segurança para as partes de uma aeronave. Os mais utilizados são: arame de freno, contra-pinos, arruelas-freno, anéis de pressão e porcas especiais, como a auto-freno e contra-porca. Algumas dessas porcas e arruelas já foram apresentadas.

Frenagem com arame

É o mais positivo e satisfatório meio de segurança para bujões, prisioneiros, porcas, cabeças de parafuso e esticadores, os quais não podem ser frenados por outro processo mais prático.

É o método de frenar duas ou mais unidades, de tal maneira, que qualquer tendência de afrouxar uma delas será anulada pelo aperto do arame de freno.

Porcas e parafusos

Porcas e parafusos podem ser frenados com arame simples ou duplo torcido. O fio duplo torcido é o método mais utilizado em frenagem com arame.

O fio simples de arame pode ser usado em pequenos parafusos, em um espaço reduzido, próximos e geometricamente colocados, em partes do sistema elétrico, e em lugares de difícil acesso.

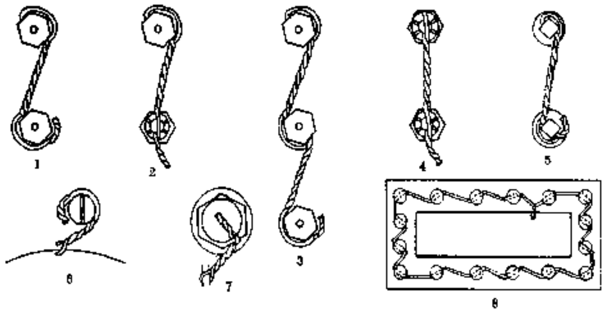


Figura 6-25 Métodos de frenagem com arame.

A Figura 6-25, é uma ilustração dos vários métodos, que são, normalmente usados na frenagem com arame de porcas e parafusos.

Um estudo cuidadoso da Figura 6-25 mostra que:

a. Os exemplos 1, 2 e 5 ilustram o método próprio de frenagem de parafusos, plugues com cabeça quadrada, e partes semelhantes, quando frenadas aos pares;

b. O exemplo 3, ilustra alguns componentes frenados em série;

c. O exemplo 4, ilustra o método próprio, de frenagem de porcas, castelo e prisioneiros. (Observar que o arame não circunda a porca);

d. Os exemplos 6 e 7, ilustram um tipo simples de componente roscado, frenado à carcaça ou outro ponto de fixação.

e. O exemplo 8, ilustra vários componentes em espaço reduzido, geometricamente colocados, e usando um simples fio de arame na frenagem.

Quando frenando juntos parafusos de cabeça furada, ou partes semelhantes, eles estarão mais convenientemente seguros se forem frenados em séries, do que individualmente.

O número de porcas ou parafusos que podem ser frenados juntos depende da aplicação. Quando frenando parafusos muito afastados com fios duplos torcidos, um grupo de três deverá ser o máximo em uma série.

Quando frenando parafusos, próximos um do outro, o número que couber em 24 polegadas de extensão de arame, é o máximo de cada série.

O arame deverá ser colocado de modo que a tendência de afrouxar um parafuso encontre resistência no arame que está forçando na direção de aperto.

As partes a serem frenadas deverão ser apertadas, até o valor de torque previsto, e os furos alinhados antes da operação de frenagem. Nunca apertar, além do torque previsto, ou afrouxar uma porca já torqueada para linhar os furos para a frenagem.

Bujões de óleo, torneira dreno e válvulas

Estas unidades são frenadas como mostra a Figura 6-26. No caso do bujão de óleo, o arame de freno está preso à cabeça de um parafuso próximo.

Este sistema aplica-se a qualquer outra unidade, a qual tenha que ser frenada individualmente.

Ordinariamente, pontos de frenagem, são convenientemente localizados próximos a estas partes individuais.

Quando não houver esta facilidade, a frenagem deve ser feita em alguma adjacente parte do conjunto.

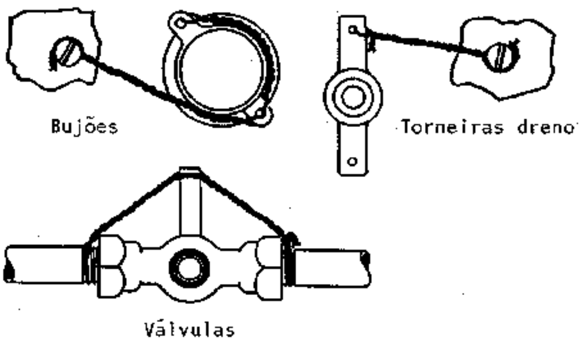


Figura 6-26 Frenagem com arame de bujões, drenos e válvulas.

Conectores elétricos

Sob condições de severa vibração, a porca de um conector pode vibrar se estiver solta e com suficiente vibração; o conector poderá soltar-se. Quando isto ocorre, o circuito alimentado pelos fios ficará interrompido. A proteção indicada, para evitar esta ocorrência, é a frenagem com arame, como mostra a Figura 6-27. A frenagem deve ser a mais curta possível e a tensão do arame deverá atuar no sentido do aperto de porca no plugue.

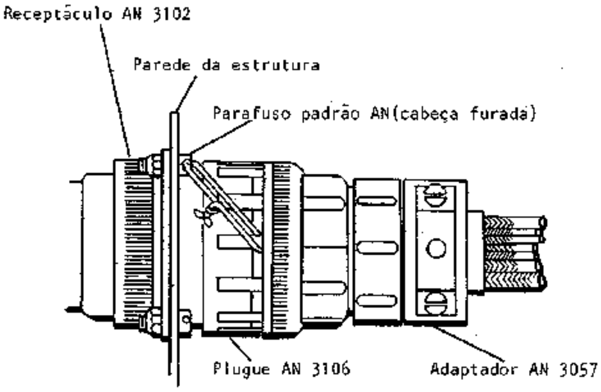


Figura 6-27 Frenagem de plugues conectores.

Esticadores

Após um esticador ter sido adequadamente ajustado, ele deverá ser frenado. Existem vários métodos de frenagem de esticadores, porém, somente dois deles serão aqui apresentados (Figura 6-28 A e B). O clip de travamento é o mais recente; o mais antigo é o que requer arame de freno, obedecendo a uma seqüência no enrolamento.

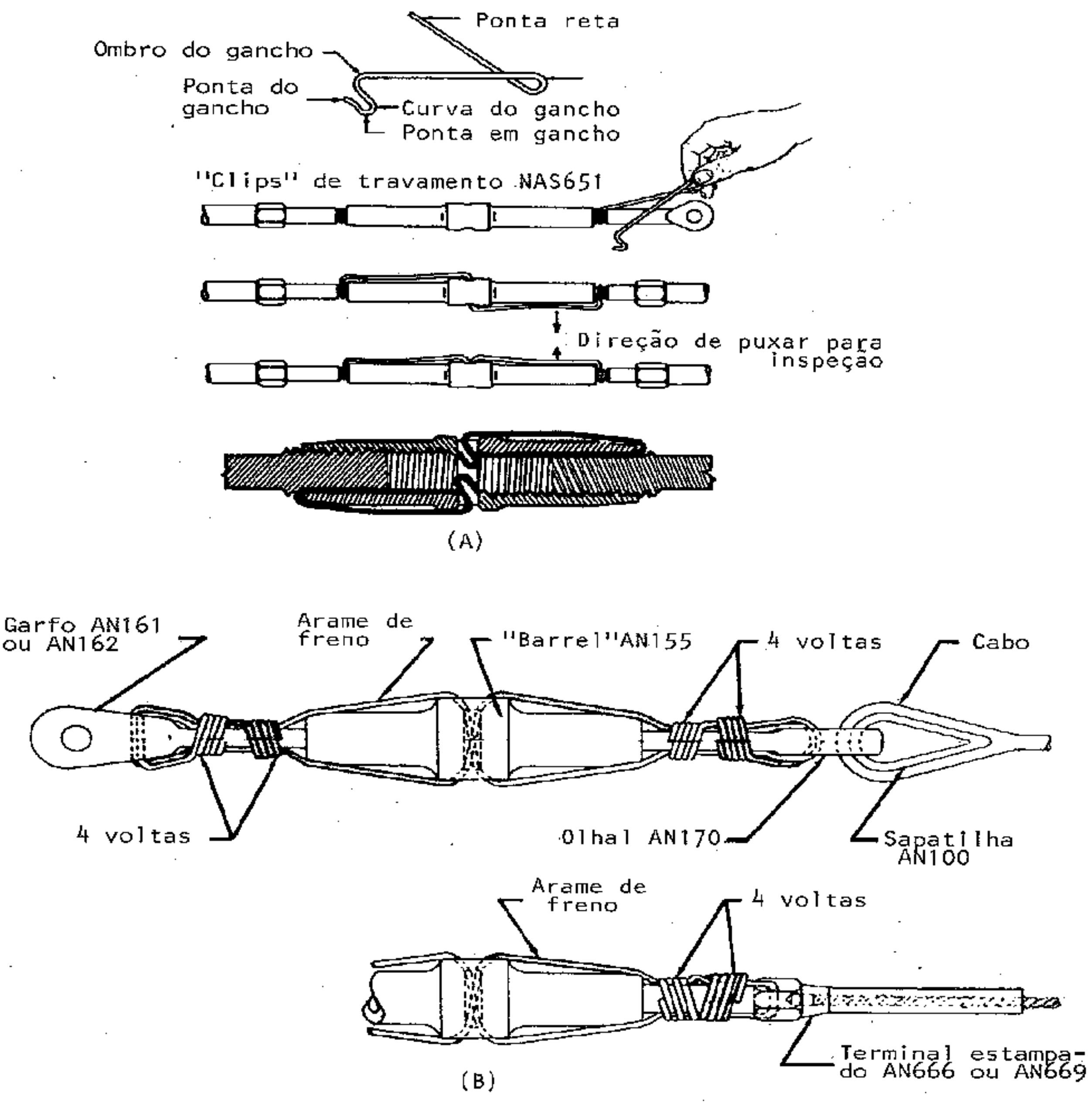

Ponta reta
Ombro do gancho
Ponta do gancho
Curva do gancho
Ponta em gancho
"Clips" de travamento NAS651
Direção de puxar para inspeção
(A)
Garfo AN161 ou AN162
Arame de freno
"Barrel"AN155
4 voltas
Cabo
4 voltas
Olhal AN170
Sapatilha AN100
Arame de freno
4 voltas
Terminal estampado AN666 ou AN669
(B)

Figura 6-28 Frenagem de esticadores;(A) Método "clip" de travamento; (B) Método frenagem com arame.

Método de enrolamento duplo de arame

Dos métodos de frenagem de esticadores, o enrolamento duplo é o preferido, embora o método de enrolamento simples seja satisfatório. O método de enrolamento duplo é mostrado na Figura 6-28B.

Usando dois pedaços separados do arame, indicado na tabela da Figura 6-29, passe uma das pontas, de um dos pedaços, pelo orifício central do esticador, dobrando o arame; e levando as pontas em direções opostas. O procedimento com o outro pedaço de arame deve ser repetido. Em cada extremidade do esticador, os arames são passados em sentidos opostos, pelo orifício do terminal (olhal, garfo, etc), dando em cada terminal quatro voltas com cada ponta dos arames, cortando o excedente. O mesmo procedimento deverá ser aplicado em cada extremidade do esticador.

Quando o terminal for do tipo roscado, sem olhal e sem uma passagem mais ampla para as duas pontas do arame, passe apenas uma delas, e após cruzar sobre a outra ponta livre, faça o enrolamento no terminal com cada uma das pontas do arame.

Medida do cabo em polegedas	Tipo do enrolamento	Diâmetro do arame de freno	Material (recozido)
1/16	Simples	020	Aço inoxidável
3/32	Simples	040	Cobre, Latão 1
1/8	Simples	040	Aço inoxidável
1/8	Duplo	040	Cobre, Latão 1
1/8	Simples	057 Min.	Cobre, Latão 1
5/32	Simples	057	Aço inoxidável

1 - Arame de aço galvanizado ou estanhado ou ainda de ferro doce são também aceitáveis.

Figura 6-29 Guia de frenagem de esticadores.

Método de enrolamento simples

Os métodos descritos nos parágrafos seguintes são aceitáveis, mas não tão eficientes quanto os de enrolamentos duplos.

Passe um pedaço de arame de freno através do terminal do cabo (olhal, garfo ou orifício do terminal roscado) em uma das extremidades do esticador. Cruze cada uma das pontas do arame, em direções opostas, em volta da primeira metade da parte central do esticador, de modo que os arames se cruzem duas vezes.

Passando ambos os arames pelo orifício central, o terceiro cruzamento dentro da passagem é feito. Mais uma vez, cruze os arames em direções opostas, em volta da outra metade do esticador. Depois é só passar a ponta do arame pelo olhal do terminal, garfo ou orifício do terminal roscado e, da maneira já descrita anteriormente, enrole cada ponta no terminal por quatro voltas, cortando o excesso.

Uma alternativa do método descrito é passar um arame pelo orifício central do esticador, dobrar as pontas em direções opostas passando cada ponta pelo olhal, garfo ou orifício do terminal roscado e enrolar cada ponta quatro voltas no respectivo terminal, cortando o excesso de arame. Após a frenagem, somente três fios de rosca dos terminais deverão ficar expostos.

Regras gerais para frenagem com arame

Quando utilizando os métodos de frenagem com arame, as seguintes regras gerais deverão ser seguidas:

1. A frenagem deve terminar com uma ponta de arame torcido de 1/4" a 1/2" (três a seis espiras). Esta ponta deverá ser torcida para trás ou para baixo para não se tornar um estorvo.
2. Em cada frenagem deve ser usado arame novo.
3. Quando frenando porcas castelo com arame, o aperto final deverá ser dado na porca cuidando em alinhar o orifício do parafuso com o castelo da porca.
4. Todas as frenagens com arame deverão ser apertadas depois de efetuadas, mas nunca excessivamente para não enfraquecer o arame que poderá quebrar-se com o manuseio ou com a vibração.
5. O arame deve ser colocado de modo que a tensão exercida por ele seja no sentido de apertar a porca.
6. O arame de freno deve ser torcido com aperto uniforme e entre as porcas, na frenagem em série, deve ser tão esticado quanto possível sem que fique torcido em demasia.
7. O arame de freno deverá sempre ser instalado e torcido de modo que a curva em torno da cabeça do parafuso permaneça em baixo e não tenha a tendência a passar para a parte superior da cabeça, causando uma folga prejudicial.

Frenagem com contrapino

A instalação de contrapinos é mostrada na Figura 6-30. As porcas de castelo são usadas com parafusos, que devem ter o orifício para o contrapino.

Este aliás, deverá estar em perfeitas condições ao ser instalado no orifício e com pequena folga lateral. As regras gerais para a frenagem com contrapino, são as seguintes:

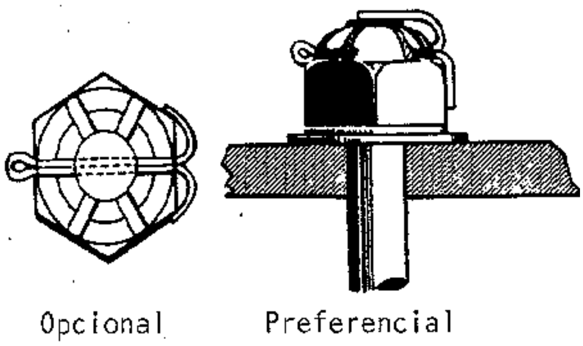


Figura 6-30 Instalação de contrapino.

1. A ponta que circunda a parte final do parafuso, não deverá ultrapassá-la, devendo ser cortada, se for o caso.

2. A ponta dobrada para baixo não deverá atingir a arruela. (Cortar, se for o caso.)

3. Se for usado o método opcional de frenagem, contornando lateralmente a porca com o contrapino, as pontas não deverão ultrapassar a parte lateral da porca.

4. As pernas do contrapino deverão ser dobradas em um ângulo razoável. Curvas muito acentuadas poderão causar a quebra. Pequenas pancadas com um macete é o melhor método de dobragem das pontas.

Anel de pressão

É um anel de metal, de seção circular ou chata, o qual é temperado para ter ação de mola. É esta ação de mola que o mantém firmemente assentado na ranhura.

Os do tipo externo têm por finalidade contornar a parte externa de eixos ou cilindros, assentados em ranhuras.

Os do tipo interno são fixados em ranhuras na parte interna de cilindros. Um tipo especial de alicate é destinado à instalação de cada tipo de anel de pressão.

Os anéis de pressão poderão ser reutilizados; enquanto a sua forma e ação de mola forem mantidas.

Os do tipo externo, poderão ser frenados; mas, os internos, nunca são frenados. A frenagem de um anel do tipo externo é mostrada na Figura 6-31.

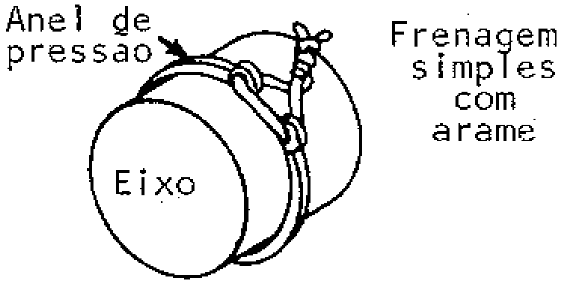


Figura 6-31 Frenagem de anel de pressão externo.

REBITES

Uma aeronave, apesar de sempre ser feita com os melhores materiais e as mais resistentes partes, terá um valor duvidoso, a menos que todas as partes estejam firmemente ligadas.

Vários métodos são usados para manter as partes de metal unidas; eles incluem a utilização de rebites, parafusos, solda ou solda forte. O processo usado pode produzir uma união tão forte quanto o material de cada uma das partes.

O alumínio e as suas ligas são difíceis de serem soldados. Entretanto para se fazer uma resistente e boa união as partes de alumínio devem ser soldadas, aparafusadas ou rebitadas umas com as outras. A rebitagem é mais satisfatória no ponto de vista de firmeza e acabamento; ela é bem mais fácil de ser feita do que a solda. Este método é o mais utilizado na junção e união de ligas de alumínio, na construção e no reparo de aeronaves.

O rebite é um pino metálico usado para manter duas ou mais peças de metal, lâminas, placas, ou peças de material unidas; sua cabeça é formada em uma das pontas durante a fabricação. A espiga do rebite, é introduzida no orifício feito nas peças do material, e a ponta, é então, rebatida para formar uma segunda cabeça, para manter as duas peças seguramente unidas. A segunda cabeça pode ser formada, tanto manualmente, como por meio de equipamento pneumático; e é chamada de "cabeça de oficina", ou "contracabeça", cuja função é a mesma de uma porca ou um parafuso.

Em adição ao seu uso em unir seções de chapas, os rebites são também usados para unir seções de nervuras, para manter seções de cantoneiras no lugar, para prender tirantes, conexões e inúmeras partes unidas.

Os dois tipos principais de rebites usados em aeronaves são: o rebite sólido, o qual é rebatido usando-se uma barra encontradora; e o tipo especial, o qual pode ser instalado quando o local não permite usar a barra encontradora.

Rebites sólidos

Os rebites sólidos são geralmente usados nos trabalhos de reparos. Eles são identificados pela espécie de material de que são feitos, o tipo de cabeça, o tamanho da espiga e suas condições de têmpera. A designação para os tipos de cabeça são: universal, redonda, chata, escareada e lentilha (brazier), de acordo com o desenho em corte da cabeça (ver Figura 6-33). As designações da têmpera e da resistência são indicadas por marcas especiais na cabeça do rebite.

O material usado para a maioria dos rebites sólidos é a liga de alumínio. A resistência e as condições da têmpera dos rebites de liga de alumínio são identificadas por dígitos e letras semelhantes aos adotados para a identificação da resistência e condições de têmpera das chapas de alumínio e de liga de alumínio em estoque. Os rebites 1100, 2017-T, 2024-T, 2117-T e 5056 são os tipos mais disponíveis.

O rebite 1100, o qual é composto de 99.45% de puro alumínio, é muito macio. Ele é usado para rebitar as ligas de alumínio macias, tais como as 1100, 3003 e 5052, as quais são usadas em partes não estruturais (todas as partes em que a resistência não é um fator a ser considerado). A rebitagem de um porta-mapas é um bom exemplo de onde um rebite de liga de alumínio 1100, pode ser usado.

O rebite 2117-T, conhecido como o rebite de campo (field rivet), é usado mais do que qualquer outro na rebitagem de estruturas de liga de alumínio. O rebite de campo é muito procurado por estar pronto para o uso, quando recebido não necessitando tratamento à quente ou recozimento. Ele também tem uma alta resistência à corrosão.

Os rebites 2017-T e 2024-T são usados em estruturas de liga de alumínio, quando for necessária maior resistência do que a obtida com o mesmo tamanho do rebite 2217-T. Estes rebites são recozidos, e depois mantidos refrigerados até que sejam colocados na chapa. O rebite 2017-T deverá ser colocado dentro de aproximadamente uma hora e o 2024-T dentro de 10 a 20 minutos depois de retirado da refrigeração.

O rebite 5056 é usado para rebitar estruturas de liga de magnésio, por suas qualidades de resistência à corrosão, quando combinado com o magnésio.

Rebites de aço macio são usados para rebitar peças de aço. Os rebites de aço resistente a corrosão são empregados para rebitar aços, como paredes de fogo, braçadeiras de escapamento e estruturas semelhantes.

Rebites de Monel são usados para rebitar ligas de aço-níquel. Eles podem ser substituidos por aqueles feitos de aço resistente à corrosão em alguns casos. O uso de rebites de cobre em reparos de aeronaves é muito limitado. Eles podem ser usados somente em ligas de cobre ou materiais não metálicos, como o couro.

A têmpera do metal é um importante fator no processo de rebitagem, especialmente com rebites de liga de alumínio. Os rebites de liga de alumínio têm as mesmas características com relação ao tratamento à quente das chapas de liga de alumínio em estoque. Eles podem ser endurecidos ou recozidos, conforme são chapas de alumínio. O rebite deve estar macio ou relativamente macio, antes que uma boa cabeça possa ser formada. O 2017-T e o 2024-T são rebites recozidos, antes de serem cravados; pois endurecem com o passar do tempo.

Os processos de tratamento à quente (recozimento) de rebites são muito semelhantes ao das chapas estocadas. Tanto pode ser necessário o tratamento em forno elétrico ou a ar, como em banho de sal ou de óleo quente. A temperatura para o tratamento depende do tipo de liga e deve estar entre 329ºC a 510ºC (625ºF a 950ºF). Para facilitar o manuseio, os rebites devem ser aquecidos em uma bandeja ou cesta de arame; e imersos em água fria a 20ºC (70ºF), imediatamente, após o tratamento a quente.

Os rebites 2017-T e 2024-T quando tratados à quente, iniciam a fase de endurecimento dentro de uns cinco minutos, após serem expostos à temperatura ambiente. Por este motivo, eles devem ser usados imediatamente após a imersão em água fria, ou então, serem estocados em um lugar frio. O meio mais comum de manter os rebites tratados à quente em uma temperatura abaixo de zero graus centígrados (abaixo de 32ºF), é mantê-los em um refrigerador elétrico. Eles são denominados "rebites de geladeira" ("*icebox rivets*"). Sob estas condições de estocagem, os rebites permanecerão suficientemente macios, para serem cravados por um período superior a duas semanas.

Os rebites não utilizados dentro deste período, deverão ser novamente tratados à quente.

Os rebites de geladeira atingem em aproximadamente uma hora, a metade da sua resistência máxima, depois de cravados; e a total resistência em quatro dias. Quando os rebites 2017-T são expostos à temperatura ambiente por uma hora ou mais, eles são submetidos novamente ao tratamento a quente. Isto também se aplica ao rebite 2024-T quando exposto à temperatura ambiente por um período que exceda 10 minutos.

Um rebite de geladeira, que tenha sido retirado do refrigerador, não deverá ser recolocado junto aos mantidos em estoque. Se forem retirados do refrigerador mais rebites do que o necessário para serem usados em quinze minutos, eles deverão ser colocados em uma vasilha separada e guardados para repetição do tratamento à quente. Este tratamento à quente de rebites, quando feito adequadamente, pode ser repetido várias vezes. A temperatura adequada e o tempo previsto são:

Tempo de aquecimento em forno a ar		
Liga do rebite	Tempo à Temperatura	Temperatura do tratamento
2024	1 hora	487°C – 498°C (910°F – 930°F)
2017	1 hora	496°C – 510°C (925°F – 950°F)
Tempo de aquecimento em banho de sal		
2024	30 minutos	487°C – 498°C (910°F – 930°F)
2017	30 minutos	496°C – 510°C (925°F – 950°F)

A maioria dos metais e, portanto, os rebites de aeronaves mantidos em estoque, estão sujeitos a corrosão, que tanto pode ser causada pelas condições climáticas como também pelos processos usados na fabricação. Isto poderia ser reduzido ao mínimo, usando-se metais que são altamente resistentes à corrosão e possuem a correta relação peso-resistência. Metais ferrosos colocados em contato com o ar salino enferrujarão se não forem propriamente protegidos. Metais não ferrosos, não enferrujam, mas um processo similar toma lugar. O sal em mistura com o ar (nas áreas costeiras) ataca as ligas de alumínio. Uma experiência muito comum, é inspecionar os rebites de uma aeronave que operou próximo a água salgada, e encontrá-los bastante corroídos.

Se um rebite de cobre for cravado em uma estrutura de liga de alumínio, teremos dois metais diferentes em contato um com o outro. Lembramos que dois metais diferentes em contato, um com o outro, na presença de umidade causa um fluxo de corrente elétrica entre eles, formando sub-produtos. Isto resulta: principalmente, na deterioração de um dos metais.

Certas ligas de alumínio reagem com as outras e, portanto, devem ser de metais diferentes. As ligas de alumínio usadas podem ser divididas em dois grupos como mostra a fig. 6-32.

GRUPO A	GRUPO B
1100	2117
3003	2017
5052	2124
6053	7075

Figura 6-32 Grupos de alumínio.

Os membros contidos no grupo A, ou no grupo B, podem ser considerados semelhantes entre si, e não reagirão uns com os outros do mesmo grupo. Uma ação corrosiva terá lugar se algum metal do grupo A for colocado em contato com um do grupo B, na presença de umidade.

O uso de metais diferentes deve ser evitado sempre que possível. Sua incompatibilidade é um fator que foi considerado quando o "AN Standard" foi adotado. Para cumprir com o padrão AN os fabricantes devem pôr uma camada de proteção nos rebites, que podem ser de cromato de zinco, metal pulverizado ou acabamento anodizado. A camada de proteção de um rebite é identificada por sua cor. Um rebite coberto com cromato de zinco é amarelo, um com a superfície anodizada é cinza perolado; e, o com metal pulverizado é identificado pela cor cinza prateado. Se surgir uma situação na qual uma camada protetora tenha que ser aplicada durante o serviço, o rebite tem que ser pintado com cromato de zinco antes da operação e, novamente, após a cravação.

Identificação

Marcações são feitas nas cabeças dos rebites para classificar suas características. Estas marcações tanto podem ser de um ponto em relevo, dois pontos em relevo, um ponto em depressão, um par de traços em relevo, uma cruz em relevo, um simples triângulo ou um traço em relevo. Alguns rebites não têm marcas na cabeça. As diferentes marcas indicam a composição dos rebites e, como já explanado anteriormente, diferentes colorações identificam o tipo de camada de proteção usada pelo fabricante.

Rebites de cabeça redonda são usados no interior da aeronave, exceto quando é exigida uma folga entre as partes a serem unidas e os membros adjacentes. Os rebites de cabeça redonda têm uma depressão no centro da cabeça, que é grande o bastante para fortalecer a chapa ao redor do orifício, ao mesmo tempo em que oferece resistência à tensão. O rebite de cabeça chata, do mesmo modo que o de cabeça redonda, é usado na parte interna da aeronave, quando, o máximo de resistência é necessário e quando não existe suficiente espaço para utilizar o de cabeça redonda. Ele, raramente, é usado na parte externa de uma aeronave.

O rebite de cabeça de lentilha (brazier head), tem uma cabeça de grande diâmetro, que o torna particularmente adaptável na rebitagem de chapas finas de revestimento. Ele oferece apenas uma pequena resistência ao fluxo de ar e, em virtude disso, é freqüentemente usado na rebitagem do revestimento externo, especialmente na seção trazeira da fuselagem e na empenagem. Ele é usado para rebitar chapas finas expostas ao sopro da hélice. Um rebite de cabeça de lentilha é também fabricado com uma cabeça de menor diâmetro.

O rebite de cabeça universal, é uma combinação do cabeça redonda, do cabeça chata e cabeça de lentilha. Ele é usado na construção e em reparos, tanto no interior, como no exterior das aeronaves. Quando for necessária uma substituição, os rebites de cabeças protuberantes--redonda, chata ou lentilha - podem ser substituidos pelos rebites de cabeça universal.

O rebite de cabeça escareada tem a parte superior lisa e chanfrada em direção ao corpo, de maneira que, ao ser introduzido em um orifício chanfrado ou escareado a cabeça fique nivelada com a superfície. O ângulo formado pela cabeça do rebite chanfrado varia de 78º a 120º. O rebite mais comum e mais usado é o de 100º. Estes rebites são usados para prender chapas sobre as quais outras chapas serão fixadas. Eles também são usados nas superfícies externas da aeronave por oferecerem pouca resistência ao deslocamento do ar e auxiliarem a diminuição da turbulência.

As marcações nas cabeças dos rebites indicam o material de que são feitos e, portanto, sua resistência. A Figura 6-33 identifica as marcações e o material que elas indicam. Embora uma cabeça lisa indique três materiais, é possível distinguir suas diferenças pela coloração. O 1100 tem a cor de alumínio; o de aço macio tem a cor típica do aço; e o rebite de cobre é da cor do cobre. A mesma marca pode aparecer na cabeça de rebites de formatos diferentes, porém, indicando serem do mesmo material. Cada tipo de rebite é identificado por um número de parte (Part Number), para que o operador possa selecionar o rebite certo para o seu serviço.

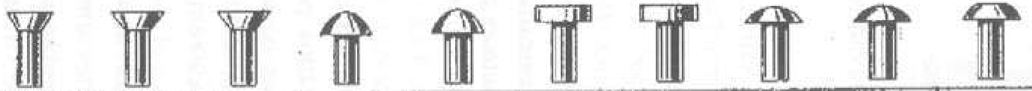
O tipo da cabeça do rebite é identificado por números padrão AN ou MS. Os números são selecionados em séries e cada série representa um particular tipo de cabeça (ver Figura 6-33) Os números mais comuns e os tipos de cabeça que eles representam são:

AN426 ou MS20426 - rebites de cabeça escareada (100º)
AN430 ou MS20430 - rebites de cabeça redonda
AN441 - rebites de cabeça chata
AN456 - rebites cabeça de lentilha
AN470 ou MS20470 - rebites de cabeça universal.

Poderão ter letras e números adicionados ao número de parte. As letras designam o tipo de liga; os números, o diâmetro e o comprimento dos rebites. As letras mais comuns na designação de ligas são:

A - Liga de alumínio, 1100 ou 3003.
AD - Liga de alumínio, 2117-T.
D - Liga de alumínio, 2017-T.
DD - Liga de alumínio, 2024-T.
B - Liga de alumínio, 5056.
C - Cobre.
M - Monel.

A ausência de uma letra após o número padrão AN, indica um rebite fabricado de aço macio.



Material	Marcação na cabeça	Código Material AN	AN425 78° Cabeça Escar.	AN 426 100° Escar. MS20426*	AN427 100° Escar. MS20427*	AN430 Cabeça redonda MS20470*	AN435 Cabeça redonda MS20613* MS20615*	AN441 Cabeça chata	AN442 Cabeça chata MS20470*	AN455 Cabeça redonda MS20470*	AN456 Cabeça redonda MS20470*	AN470 Cabeça univ. MS20470*	Tratam. a quente antes do uso	Resist. cizalh. P.S.I.	Resist. rolam. P.S.I.
1100	Plana ○	A	X	X		X			X	X	X	X	Não	10000	25000
2117T	Ponto fundo ⊙	AD	X	X		X			X	X	X	X	Não	30000	100000
2017T	Ponto relevo ⊙	D	X	X		X			X	X	X	X	Sim	34000	113000
2017T-HD	Ponto relevo ⊙	D	X	X		X			X	X	X	X	Não	38000	126000
2024T	Duplo traço relevo ⊖	DD	X	X		X			X	X	X	X	Sim	41000	136000
5056T	Cruz relevo ⊕	B		X		X			X	X	X	X	Não	27000	90000
7075-T73	Três traços relevo ⊛		X	X		X			X	X	X	X	Não		
Aço carbono	Triângulo fundo △				X		X MS20613*	X					Não	35000	90000
Aço resistente a corrosão	Traço fundo ⊖	F			X		X MS20613*						Não	65000	90000
Cobre	Plana ○	C			X		X	X					Não	23000	
Monel	Plana ○	M			X			X					Não	49000	
Monel Liga Ni+Cu	Ponto duplo fundo ○○	C					X MS20615*						Não	49000	
Latão	Plana ○						X MS20615*						Não		
Titânio	Pontos fundos Grande e peq. ∘•			MS20426				X					Não	95000	

* Novas especificações estão em projeto

Figura 6-33 Carta de identificação de rebites.

O primeiro número, após, a letra indicadora da composição do material, expressa o diâmetro do corpo ou espiga do rebite em 32 avos da polegada. Por exemplo: 3, significa 3/32"; 5 significa 5/32"; etc.

O último número, separado por um traço do número precedente, expressa o comprimento da espiga do rebite em 16 avos de polegada. Por exemplo: 3, significa 3/16"; 7, seriam 7/16"; etc (Figura 6-34).

Um exemplo da identificação de um rebite é:

AN470AD3-5 - Número de parte completo.
AN - *Air Force-Navy*;
470 - rebite de cabeça universal;
AD - liga de alumínio 2117-T;
3 - diâmetro de 3/32";
5 - comprimento de 5/16".

REBITES ESPECIAIS

Rebites cegos - Existem muitos locais em uma aeronave cujo acesso a ambos os lados de uma estrutura rebitada, ou parte estrutural, é impossível de ser alcançado; ou, onde o espaço é tão limitado que não permite a utilização de uma barra encontradora. O mesmo ocorre na fixação de muitas partes não estruturais, como acabamento interno, assoalho, ou outras semelhantes, em que o total comprimento de um rebite sólido não é necessário.

Os rebites especiais, que tenham sido designados para esses locais, devem permitir a cravação pela parte frontal. Eles, algumas vezes são mais fracos do que os rebites sólidos, no entanto, são amplamente mais fortes do que o necessário para aquela utilização.

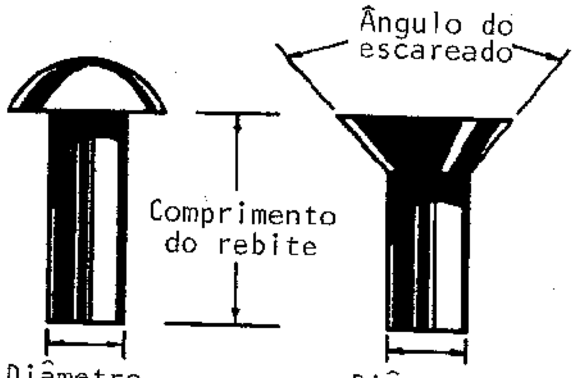


Figura 6-34 Métodos de medição de rebites.

Estes rebites são produzidos por muitos fabricantes e têm como características comuns o fato de necessitarem de: ferramentas especiais para instalação; e especiais procedimentos de instalação e de remoção.

Por isso, são chamados de rebites especiais. São também chamados de rebites cegos, porque muitas vezes são instalados em locais onde uma das cabeças (geralmente a cabeça de oficina) não pode ser vista.

Rebites cravados mecanicamente

Duas classes de rebites cravados mecanicamente serão aqui apresentadas:

1 - Não estruturais

a. Rebites de auto-cravação (travados por atrito);
b. Rebites *Pul-Thru*

2 - Rebites travados mecanicamente, quebra rente à cabeça e auto-cravação

Auto-cravação

Os rebites cegos de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados por várias companhias; mas, as informações básicas sobre sua fabricação, composição, usos, seleção, instaláção, inspeção e procedimentos de remoção, são aplicáveis a todos eles.

Rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados em duas partes: uma cabeça; um corpo oco ou luva; e uma haste, que se estende através do corpo oco. A Figura 6-35 ilustra rebites de auto-cravação, com cabeça redonda e escareada, produzidos por um dos fabricantes.

Vários eventos ocorrem, em seqüência, quando uma força é aplicada para puxar a haste do rebite: (1) a haste é puxada para dentro do corpo do rebite; (2) a parte cônica da haste força o corpo do rebite a se expandir; e (3) quando a fricção (ou pressão causada pela tração da haste) atingir um determinado valor, causará a quebra da haste em uma das suas ranhuras. Uma porção da parte cônica (parte inferior da haste) é retida no interior do rebite, dando a ele uma resistência bem maior do que a que seria obtida de um rebite oco.

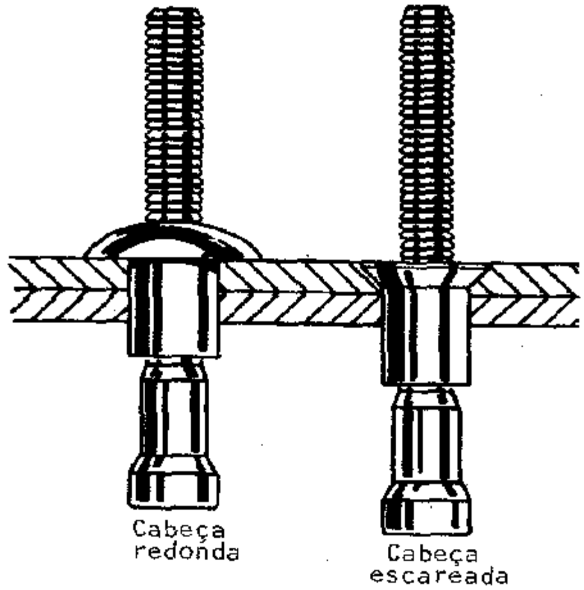


Figura 6-35 Rebites de auto-cravação (Travados por atrito).

Rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados nos dois tipos mais comuns de cabeça: (1) cabeça redonda, semelhante ao MS 20470 ou cabeça universal; e (2) cabeça escareada, a 100º. Outros tipos de cabeças são fornecidos por alguns fabricantes.

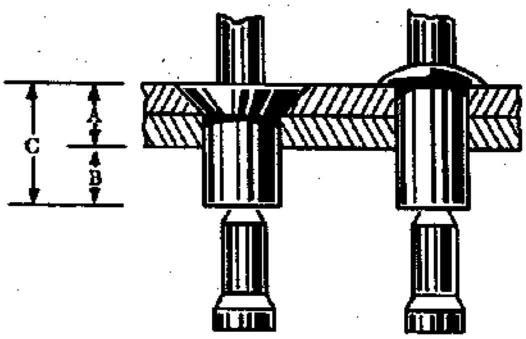
A haste dos rebites de auto-cravação (travados por atrito), podem ter um ressalto na parte superior ou ela pode ser serrilhada, como é mostrado na Figura 6-35.

Os rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados de vários materiais. Eles são fornecidos com as seguintes combinações de materiais: haste de liga de alumínio 2017 e luva de liga de alumínio 2117; haste de liga de alumínio 2017 e luva de liga de alumínio 5056; e haste de aço e luva de aço.

Os rebites de auto-cravação (travados por atrito) são projetados de maneira que a instalação seja executada por somente uma pessoa; não é necessário ter acesso ao trabalho em ambos os lados. A haste, ao ser puxada, executa um trabalho uniforme e sempre seguro. Por não ser necessário acessar o lado oposto ao trabalho, os rebites de auto-cravação (travados por atrito), podem ser usados para fixar conjuntos, como tubo ocos, chapas corrugadas, caixas ocas etc. Como não é necessária a aplicação de marteladas para a cravação desses rebites, eles podem ser utilizados para fixar compensados ou plásticos. Os fatores a serem considerados na seleção correta dos rebites para instalação são: (1) localização da instalação; (2) composição do material que será rebitado; (3) espessura do material a ser rebitado; e (4) resistência desejada.

Se o rebite é para ser instalado em uma superfície aerodinamicamente lisa, ou, se for necessária uma distância entre conjuntos, os rebites de cabeça escareada devem ser os escolhidos. Em outras áreas onde o espaço e o acabamento liso não são fatores importantes, o rebite de cabeça protuberante pode ser utilizado.

Quanto ao material de que é feito, o rebite será escolhido de acordo com o material a ser rebitado. Os rebites fabricados de liga de alumínio 2117 podem ser usados na maior parte das ligas de alumínio. Os rebites de liga de alumínio 5056 devem ser usados quando o material a ser rebitado for de magnésio. Os rebites de aço devem sempre ser escolhidos para rebitar conjuntos fabricados de aço.



A - Expessura do material ("pega")
B - 3/64" a 1/8"
C - Total comprimento da haste do rebite

Figura 6-36 Determinação do comprimento do rebite de auto-cravação.

A espessura do material que está sendo rebitado, determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deverá estender-se além da espessura do material, aproximadamente 3/64" a 1/8", antes da haste ser puxada (ver Figura 6-36).

Rebites *Pull-Thru*

Os rebites cegos do tipo Pull-Thru são fabricados por várias companhias; a mesma informação básica sobre sua fabricação, composição, uso, seleção, instalação, inspeção e procedimentos de remoção são comuns a todos eles.

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados em duas partes: um rebite com cabeça, de corpo oco ou luva; e, uma haste que atravessa o corpo oco.

A Figura 6-37 apresenta um rebite *Pull-Thru* de cabeça redonda e um de cabeça escareada.

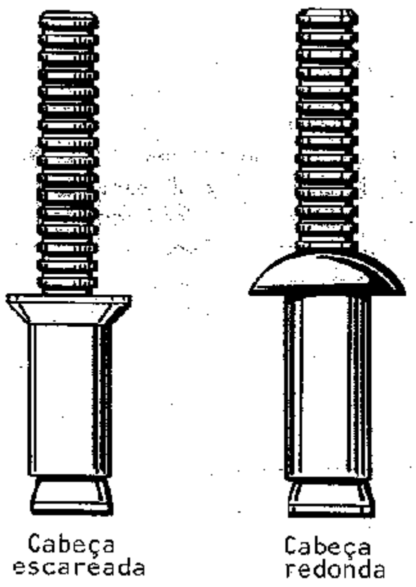


Figura 6-37 Rebites "*Pull-thru*".

Vários eventos ocorrem, em seqüência, quando uma força é aplicada para puxar a haste do rebite: (1) a haste é puxada para dentro do corpo do rebite; (2) a parte cônica da haste força o corpo do rebite a se expandir, formando uma cabeça cega que fecha o furo do rebite.

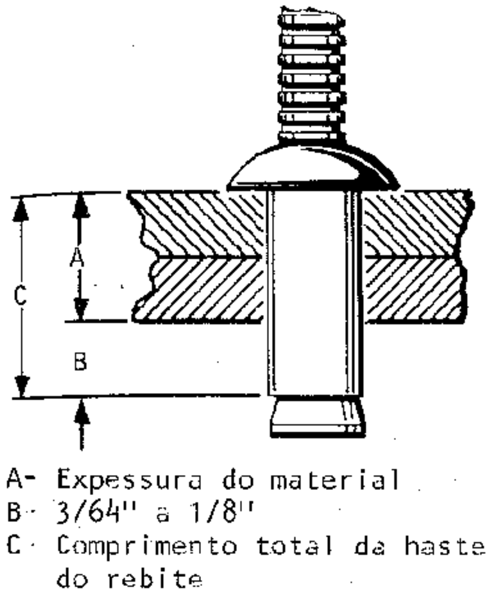


Figura 6-38 Determinação do comprimento dos rebites "*Pull-thru*".

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados nos dois tipos mais comuns de cabeça: (1) cabeça redonda, semelhante ao MS 20470 ou cabeça universal, e (2) cabeça escareada a 100º. Outros tipos de cabeça são fornecidos por alguns fabricantes.

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados em vários materiais. Os mais comuns são os seguintes: liga de alumínio 2117-T4, liga de alumínio 5056 e Monel.

Os rebites *Pull-Thru* são projetados de maneira que a instalação seja executada por somente uma pessoa; não é necessário o acesso ao trabalho em ambos os lados.

Os fatores a serem considerados na seleção correta dos rebites para instalação são: (1) localização da instalação; (2) composição do material que será rebitado; (3) espessura do material a ser rebitado; e (4) resistência desejada.

A espessura do material que está sendo rebitado determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deverá estender-se além da espessura do material, aproximadamente 3/64" a 1/8" antes da haste ser puxada (ver Figura 6-38).

Cada companhia que fabrica os rebites *Pull-Thru* tem um número de código para auxiliar os usuários a obterem o correto rebite para as necessidades de uma particular instalação. Além disso, números MS são usados para fins de identificação. Estes números são semelhantes aos apresentados anteriormente.

Rebites *Cherry-Lock* com bulbo

A grande e cega cabeça deste rebite contribuiu para a introdução da palavra "bulbo" na terminologia dos rebites cegos. Em conjunto com a carga residual desenvolvida pela quebra da haste, ele tem comprovada resistência à fadiga, tornando-o único rebite cego intercambiável com os rebites sólidos (fig 6-39).

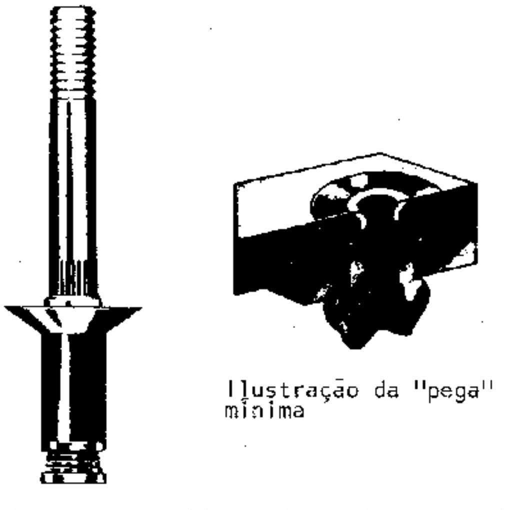


Figura 6-39 Rebite "*Cherry-lock*" com bulbo.

Rebites *Cherry-Lock Wiredraw*

Este rebite possue uma extensa gama de tamanhos, materiais e níveis de resistência. Este prendedor é especialmente escolhido para aplicações de selagem e funções que requerem uma excessiva quantidade de chapas (fig. 6-40).

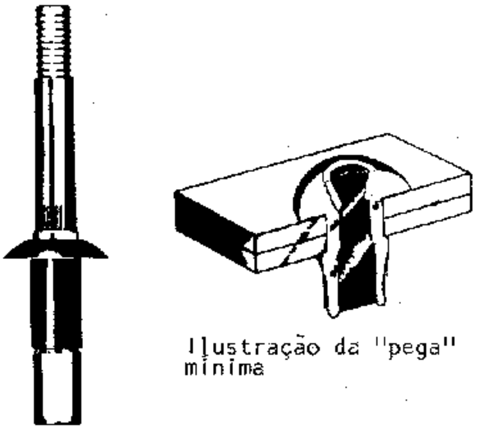


Figura 6-40 Rebites Cherry-Lock Wiredraw.

Rebites travados mecanicamente

Rebites de auto-cravação, travados mecanicamente, são semelhantes aos travados por atrito, exceto pela maneira de retenção da haste na luva do rebite.

Este tipo de rebite tem um colar com um travamento mecânico positivo para resistir às vibrações, que causam o afrouxamento dos rebites, travados por atrito e conseqüente possibilidade de falha. Também, a haste do rebite travado mecanicamente quebra-se rente à cabeça e, normalmente, não requer posterior ajustagem da haste quando propriamente instalado.

Estes rebites apresentam todas as características de resistência de um rebite sólido e, na maioria dos casos, um pode ser substituído pelo outro.

Os rebites de auto-cravação e, travados mecanicamente, são fabricados em duas seções: um corpo com cabeça (incluindo um recesso cônico e um colar de travamento na cabeça); e uma haste serrilhada que se estende através do corpo do rebite.

Como diferença do rebite de trava por atrito, o rebite travado mecanicamente tem um colar, que forma um travamento positivo para retenção da haste no corpo do rebite. Este colar é colocado em posição durante a instalação do rebite.

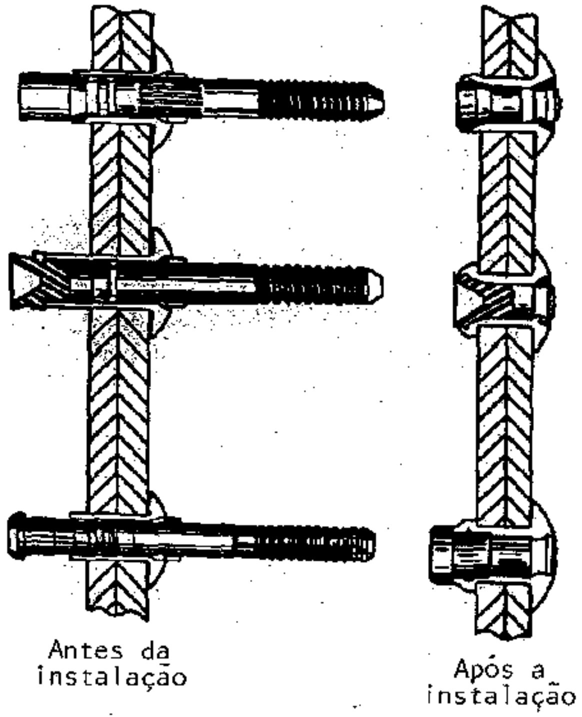


Figura 6-41 Rebites de auto-cravação (travados mecanicamente).

Material

Os rebites de auto-cravação travados mecanicamente são fabricados com luvas (corpo do rebite) de ligas de alumínio 2017 e 5056, monel ou aço inoxidável.

Este tipo de rebite pode ser usado nas mesmas aplicações do rebite de trava por atrito. Em virtude das suas características de grande retenção da haste, a sua instalação é recomendada em áreas sujeitas a considerável vibração.

As mesmas exigências gerais, para a seleção de um rebite travado por atrito, devem ser satisfeitas para a seleção de um rebite travado mecanicamente.

A composição do material que será unido determina a composição do rebite. Por exemplo: para a maioria das ligas de alumínio, o rebite de liga de alumínio 2017; e, para as peças de magnésio, os rebites de liga de alumínio 5056.

A Figura 6-42 apresenta a seqüência da instalação de um rebite travado mecanicamente. A forma e a função podem variar ligeiramente entre os estilos de rebites cegos.

As especificações deverão ser obtidas do fabricante.

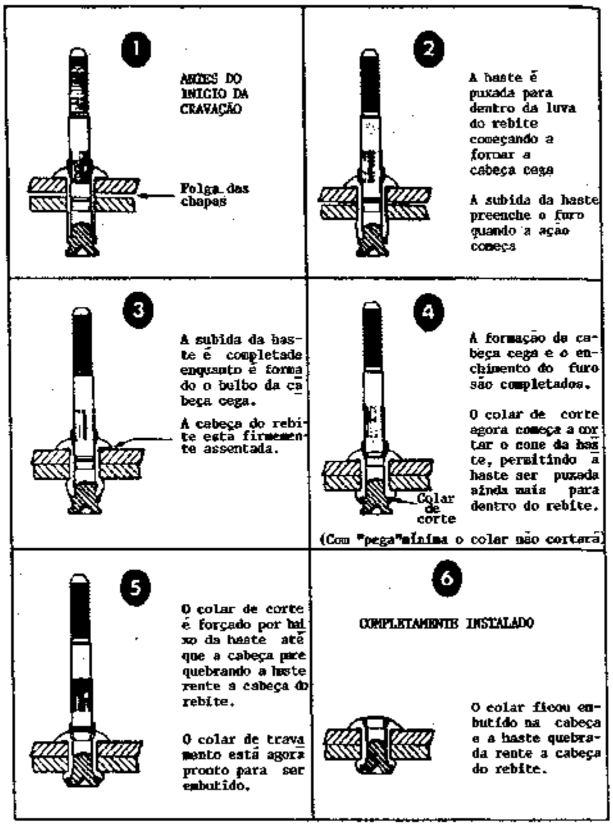

1
ANTES DO INICIO DA CRAVAÇÃO
Folga das chapas
2
A haste é puxada para dentro da luva do rebite começando a formar a cabeça cega
A subida da haste preenche o furo quando a ação começa
3
A subida da haste é completade enquanto é formado o bulbo da cabeça cega.
A cabeça do rebite esta firmemente assentada.
4
A formação da cabeça cega e o enchimento do furo são completados.
O colar de corte agora começa a cortar o cone da haste, permitindo a haste ser puxada ainda mais para dentro do rebite.
Colar de corte
(Com "pega" mínima o colar não cortará)
5
O colar de corte é forçado por baixo da haste até que a cabeça pare quebrando a haste rente a cabeça do rebite.
O colar de travamento está agora pronto para ser embutido.
6
COMPLETAMENTE INSTALADO
O colar ficou embutido na cabeça e a haste quebrada rente a cabeça do rebite.

Figura 6-42 Instalação de rebites *Cherry-Lock.*

Estilos de cabeça

Os rebites cegos de auto-cravação e travados mecanicamente são disponíveis em vários estilos de cabeça dependendo das necessidades de instalação, conforme apresentado na figura 6-43.

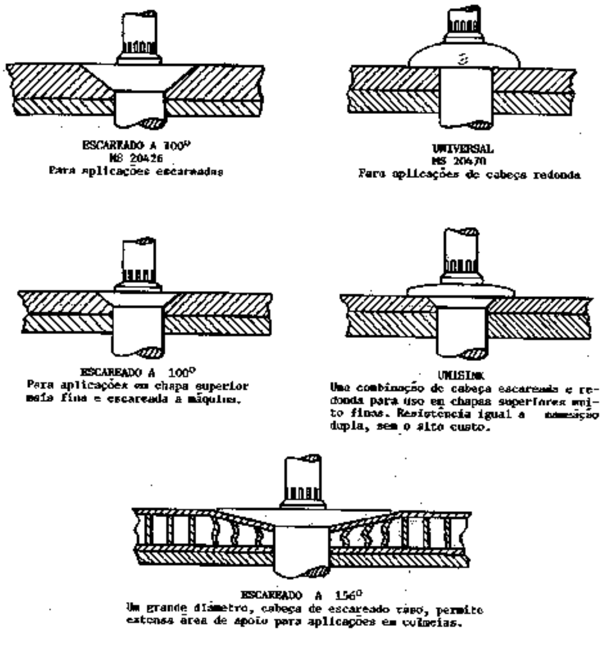

ESCAREADO A 100º
MS 20426
Para aplicações escareadas
UNIVERSAL
MS 20470
Para aplicações de cabeça redonda
ESCAREADO A 100º
Para aplicações em chapa superior mais fina e escareada a máquina.
UNISINK
Uma combinação de cabeça escareada e redonda para uso em chapas superiores muito finas. Resistência igual a cravação dupla, sem o alto custo.
ESCAREADO A 156º
Um grande diâmetro, cabeça de escareado raso, permite extensa área de apoio para aplicações em colmeias.

Figura 6-43 Cabeças de rebites *Cherry-Lock*.

Diâmetros

Os diâmetros do corpo dos rebites são medidos em incrementos de 1/32" e são identificados, geralmente, pelo primeiro número após o traço, por exemplo: - 3 significa um diâmetro de 3/32"; - 4 significa 4/32" de diâmetro; etc.

Tanto são fornecidos os de medida nominal como também os de diâmetro supermedidos em 1/64".

Espessura do material

É a espessura total a ser rebitada e é medida em 1/16". É geralmente identificada pelo segundo número após o traço. A maioria dos rebites cegos têm marcado em suas cabeças, a espessura máxima de fixação; e, tem uma total variação de espessura de 1/16". A Figura 6-44 demonstra uma típica acomodação.

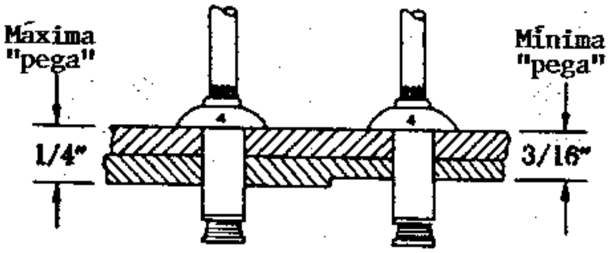

Máxima "pega"
1/4"
4
4
Mínima "pega"
3/16"

Figura 6-44 Comprimento típico de "pega".

Para determinar o rebite apropriado ao uso, é feita a medição da espessura do material, com um medidor especial (fornecido pelo fabricante do rebite cego). A Figura 6-45 apresenta o uso correto de um medidor especial de espessuras.

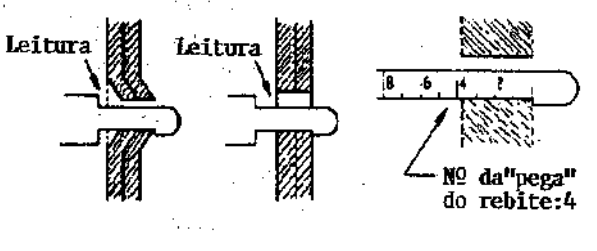

Leitura
Leitura
8
6
4
2
Nº da "pega" do rebite: 4

Figura 6-45 Uso do medidor de expessura ("pega").

A espessura do material a ser rebitado determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deve ultrapassar a espessura do material, aproximadamente, 3/64" a 1/8", antes da haste ser puxada (ver Figura 6-46).

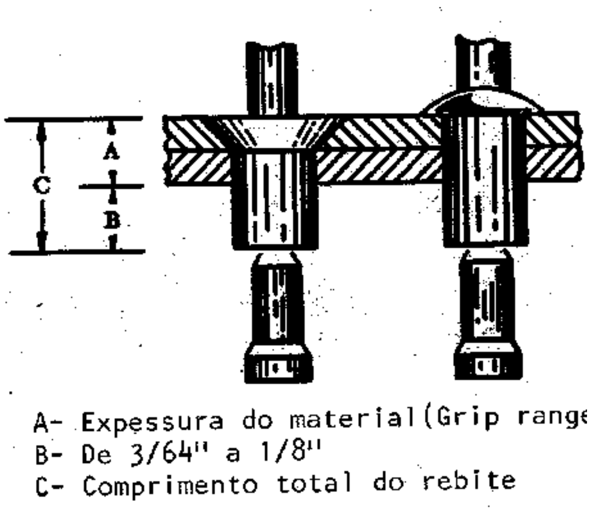

A
B
C
A- Expessura do material(Grip range
B- De 3/64" a 1/8"
C- Comprimento total do rebite

Figura 6-46 Determinação do comprimento do rebite.

Identificação de rebites

Cada companhia que fabrica rebites de auto-cravação (trava por atrito), tem um número de código, para auxiliar o usuário a obter o correto rebite, para uma determinada espessura de material, para uma particular instalação. Além disso, números MS são usados para fins de identificação.

Os exemplos seguintes de números de parte para rebites de auto-cravação (travados por atrito), são representativos de cada companhia.

Huck Manufacturing Company –

```
9SP-B   -    A      6     -  3
 |           |      |        |
 |           |      |        |___ Espessura do
 |           |      |              material em
 |           |      |              16  avos da
 |           |      |              polegada
 |           |      |
 |           |      |___ Diâmetro do corpo em 32 avos da
 |           |            polegada
 |           |
 |           |___ _ Material do rebite:
 |                    A = Liga de alumínio 2017.
 |                    B = Liga de alumínio 5056.
 |                    R = Aço macio.
 |
 |___ _ Tipo de cabeça:
        9SP-B = cabeça lentilha ou universal.
        9SP-100 = cabeça escareada a 100º
```

Figura 6-47.

Olympic Screw and Rivet Corporation -

```
RV    2     0     0  -  4  -  2
|     |     |     |     |     |
|     |     |     |     |     |___ Espessura
|     |     |     |     |           do material
|     |     |     |     |           em 16 avos
|     |     |     |     |           de polegada
|     |     |     |     |
|     |     |     |     |___ Diâmetro do corpo do
|     |     |     |           rebite em 32 avos de
|     |     |     |           polegada.
|     |     |     |           4 = 1/8"      6 = 3/16"
|     |     |     |           5 = 5/32"     8 = 1/4"
|     |     |     |
|     |     |     |___ ___ Tipo de cabeça:
|     |     |               0 = Cabeça universal.
|     |     |               1 = Escareada em 100º.
|     |     |
|     |     |___ ___ Material do rebite:
|     |               0 = Liga de alumínio 2017.
|     |               5 = Liga de alumínio 5056.
|     |               7 = Aço macio.
|     |
|     |___ ___ Tipo de rebite:
|               2 = Auto-cravação e trava por atrito.
|               5 = PULL-THRU ôco.
|
|____ __ Olimpic Screw and Rivet Corporation.
```

Figura 6-48.

Townsend Company, Cherry Rivet Division

```
CR     163  -  6  -   6
|       |      |      |__ Espessura do material:
|       |      |           haste com ressalto, em 32 avos
|       |      |           da polegada; haste serrilhada
|       |      |           em 16 avos de polegada.
|       |      |
|       |      |___ Diâmetro do corpo do rebite em 32
|       |            avos de polegada:
|       |            4 = 1/8"   6 = 3/16"
|       |            5 = 5/32"  8 = 1/4"
|       |
|       |___ Número de série:
|             Determina o material, o tipo do rebite e
|             o estilo da cabeça (163 = liga de alumínio
|             2117, auto-cravação e trava por atrito,
|             cabeça redonda).
|
|___ Cherry Rivet
```

Figura 6-49.

Número *Military Standard* (MS) -

```
MS    20600    B     4     K     2
|       |      |     |     |     |
|       |      |     |     |     |__ Espessura
|       |      |     |     |          do material
|       |      |     |     |          em 16 avos
|       |      |     |     |          da polegada.
|       |      |     |     |
|       |      |     |     |__ Tipo de haste:
|       |      |     |          K = haste com ressalto.
|       |      |     |          W = haste serrilhada.
|       |      |     |
|       |      |     |__ Diâmetro do corpo do rebite em 32
|       |      |          avos da polegada:
|       |      |          4 = 1/8"     6 = 3/16"
|       |      |          5 = 5/32"  8 = 1/4"
|       |      |
|       |      |___ Material do rebite:
|       |            AD = Liga de alumínio 2117.
|       |             D = Liga de alumínio 5056.
|       |
|       |___ Tipo de rebite e estilo da cabeça:
|             20600 = Auto-cravação e trava por atrito
|                      e com cabeça redonda.
|             20601 = Auto-cravação e trava por atrito
|                      e cabeça escareada.
|
|___ Military Standard.
```

Figura 6-50.

Porca - Rebite (*Rivnut*)

Esta é a marca registrada de um rebite oco e cego, feito de liga de alumínio 6053, escareada e com rosca na parte interna. As porcas-rebites podem ser instaladas por apenas uma pessoa, usando uma ferramenta especial, que forma a cabeça do rebite no lado cego do material. A porca-rebite é atarraxada no mandril da ferramenta e introduzida no furo do material a ser rebitado. A ferramenta deve ser mantida em ângulo reto, com o material e o cabo da ferramenta acionado; e, o mandril, girado no sentido dos ponteiros do relógio, após cada acionamento, até que uma forte resistência seja sentida, indicando que o rebite está devidamente instalado.

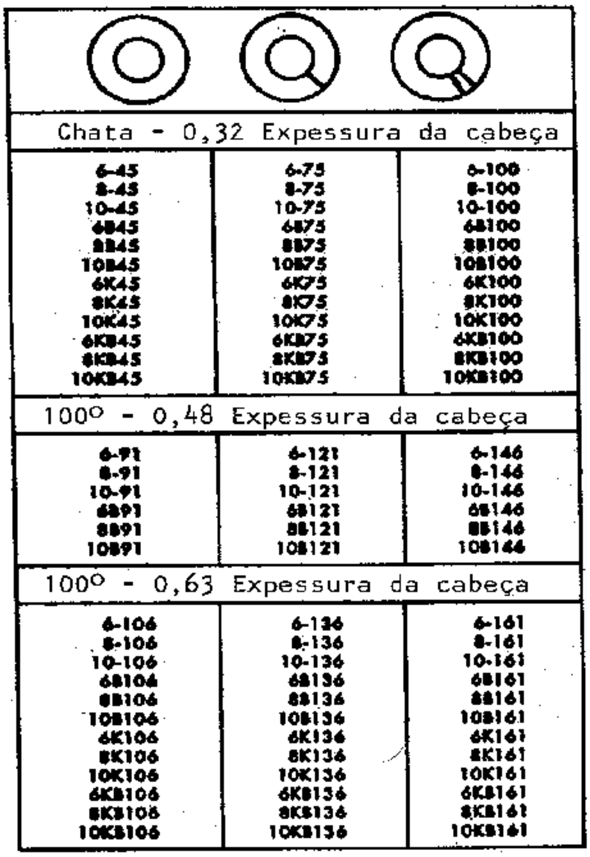
A porca-rebite é usada, principalmente, como uma porca fixa, na fixação do revestimento de borracha do sistema de degelo do bordo de ataque das asas. Ela pode ser usada como um rebite em estruturas secundárias, ou, ainda, para a fixação de acessórios, como braçadeiras, instrumentos ou materiais de isolamento acústico.

As porcas-rebite são fabricadas em dois tipos de cabeça e, para cada tipo de cabeça, dois tipos de ponta; uma é a de cabeça chata com a ponta aberta e com a ponta fechada; a outra e a de cabeça escareada, com a ponta aberta e a ponta fechada. Todas as porcas-rebites (*Rivnuts*), com excessão das que possuem cabeça escareada do tipo fino, são disponíveis com ou sem pequenas projeções (chavetas) sob a cabeça, para impedirem que a porca-rebite gire.

As porcas-rebites com chaveta, são usadas como porca fixa, enquanto que as sem chaveta são usadas em reparos, com uma seqüência de rebites cegos, onde não serão impostas cargas de torque. Quando instalando porcas-rebites com chaveta, é necessário a utilização da ferramenta cortadora do encaixe para a chaveta.

A porca-rebite do tipo escareada é feita com dois ângulos diferentes de cabeça: de 100º, com espessura da cabeça de .048 e de .063 de polegada; e de 115º, com espessura da cabeça de .063 de polegada. Cada um desses estilos de cabeça são feitos em três medidas: 6-32, 8-32 e 10-32. Esses números representam a medida do parafuso de máquina para a rosca interna do Rivnut. O diâmetro externo do corpo da porca-rebite de 3/16" para o parafuso 6-32; de 7/32" para o tamanho 8-32 e de 1/4" para o 10-32.

Porcas-rebites com ponta aberta são mais amplamente usadas e recomendadas do que os de ponta fechada. Contudo, as porcas-rebites de ponta fechada devem ser usadas em compartimentos pressurizados.



Chata - 0,32 Expessura da cabeça		
6-45	6-75	6-100
8-45	8-75	8-100
10-45	10-75	10-100
6B45	6B75	6B100
8B45	8B75	8B100
10B45	10B75	10B100
6K45	6K75	6K100
8K45	8K75	8K100
10K45	10K75	10K100
6KB45	6KB75	6KB100
8KB45	8KB75	8KB100
10KB45	10KB75	10KB100
100º - 0,48 Expessura da cabeça		
6-91	6-121	6-146
8-91	8-121	8-146
10-91	10-121	10-146
6B91	6B121	6B146
8B91	8B121	8B146
10B91	10B121	10B144
100º - 0,63 Expessura da cabeça		
6-106	6-136	6-161
8-106	8-136	8-161
10-106	10-136	10-161
6B104	6B136	6B161
8B106	8B136	8B161
10B106	10B136	10B161
6K106	6K136	6K161
8K106	8K136	8K161
10K106	10K136	10K161
6KB106	6KB136	6KB161
8KB106	8KB136	8KB161
10KB106	10KB136	10KB161

Figura 6-51Dados sobre porcas-rebites (*Rivnut*).

As porcas-rebites são fabricadas em seis medidas de pega (espessura do material a ser rebitado). A porca-rebite de menor medida de pega, tem a cabeça lisa, isto é, sem marcas; a imediatamente superior possue um traço no sentido radial (ver Figura 6-51) na cabeça. Cada medida subsequente recebe um traço a mais, até um total de cinco marcas, que indicam a maior medida de pega.

Na Figura 6-51 encontramos alguns números de parte, em código, que consistem de um "6", um "8" ou um "10", seguidos de um traço e mais dois ou três números. Em alguns, o traço é substituído pelas letras "K" ou "KB". O primeiro número indica a medida do parafuso de máquina e da rosca e, os últimos dois ou três números, indicam a distância máxima de pega em milésimos de polegada. Um traço entre as Figuras indica que a porca-rebite (*Rivnut*) tem a ponta aberta e não possue a chaveta sob a cabeça; um "B" no lugar do traço significa que ela tem a ponta fechada e é sem chaveta; um "K" significa que ela tem a ponta aberta e possue a chaveta sob a cabeça; e um "KB" indica que ela tem a ponta fechada e tem chaveta.

Se os últimos dois ou três números forem divisíveis por cinco, a porca-rebite tem a cabeça chata; se eles não forem divisíveis por cinco a porca-rebite tem a cabeça escareada.

Exemplo de um número de parte:

10 KB 106
| | |
| | |____ Distância da pega.
| |
| |____ Ponta fechada e chaveta.
|
|____ Medida do parafuso e da rosca.

Rebites *Dill*

Dill "Lok-Skrus" e *"Lok-Rivet"* (ver a Figura 6-52) são marcas registradas de rebites com rosca interna. Eles são usados na fixação cega de acessórios, como carenagens, coberturas de porta de acesso, molduras de portas e janelas, painéis do piso e outros semelhantes. *Lok-Skrus* e *Lok-Rivet* são semelhantes ao *Rivnut*, tanto na aparência, como na aplicação; contudo, eles são constituídos de duas partes e necessitam de mais espaço no lado cego do material, do que o *Rivnut* para acomodar o corpo.

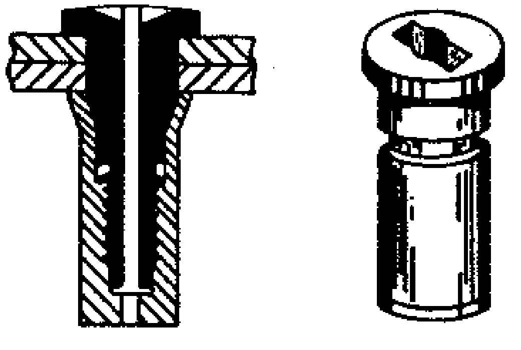


Figura 6-52 Rebite de rosca interna.

O *Lok-Rivet* e *o Lok-Skru* são semelhantes em construção; exceto que o *Lok-Skru* é roscado internamente, para fixar um acessório, usando um parafuso; enquanto que o Lok-Rivet não é roscado e só pode ser usado como um rebite. Tanto o *Lok-Skrus* como o *Lok-Rivet* são instalados da mesma maneira, por esse motivo o texto a seguir para o *Lok-Skrus* também se aplica ao *Lok-Rivet.*

As principais partes de um *Lok-Skru* são o corpo, a cabeça e um parafuso de fixação.

O corpo é de liga de alumínio e a ponta aberta ou fechada. A cabeça é de liga de alumínio ou de aço e, o parafuso (ou parte roscada), é feito de aço.

Todas as partes de aço recebem banho de cádmio e todas as de alumínio são anodizadas para resistir a corrosão. Quando instalado, o corpo é roscado na cabeça, prendendo o material pela parte cega.

O parafuso de fixação é então inserido, se necessário. Existem dois tipos de cabeça: a chata e a escareada. O *Lok-Skru* é roscado para os parafusos 7-32, 8-32, 10-32 ou 10-24 e o diâmetro varia de .230 de polegada para os parafusos de 6-32, a .292 de polegada para os parafusos de 10-32. A distância da pega varia de .010 a .225 de polegada.

Rebites *Deutsch*

Esse é um rebite cego, de alta resistência usado nos antigos modelos de aeronaves. Ele tem uma resistência mínima ao cisalhamento de 75.000 p.s.i. e pode ser instalado por apenas um homem.

O rebite *Deutsch* consiste de duas partes: uma luva de aço inoxidável e um pino de aço temperado (ver Figura 6-35). O pino e a luva são cobertos com um lubrificante e um anticorrosivo.

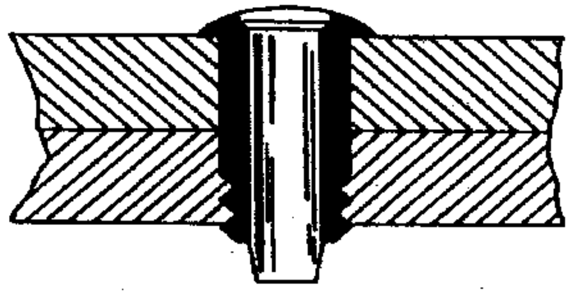


Figura 6-53 Rebite *Deutsch.*

O rebite *Deutsch* é disponível nos diâmetros de 3/16" ou 3/8". A distância de pega para este rebite varia de 3/16" a 1". Algumas variações são permitidas na distância de pega quando instalando o rebite. -+.-Por exemplo: um rebite com uma distância de pega de 3/16" pode ser usado onde a total espessura do material estiver entre 0.198 e 0.228 de polegada.

Para a cravação de um rebite *Deutsch*, são usados ou um martelo comum, ou uma rebitadora pneumática. O rebite é colocado no furo, previamente feito, e em seguida o pino é cravado dentro da luva.

A ação de cravação ocasiona uma pressão do pino contra a luva, forçando os lados da luva para fora. Essa dilatação forma uma cabeça de oficina na extremidade do rebite, ocasionando uma fixação positiva. O sulco, na cabeça do rebite, trava o pino dentro do rebite ao serem dadas as últimas batidas.

Rebites *Hi-Shear*

São pinos rebites classificados como especiais; mas, não são do tipo cego. Para instalar esse tipo de rebite, é necessário o acesso em ambos os lados do material. Esse rebite tem a mesma resistência ao cisalhamento de um parafuso de igual diâmetro, tem em torno de 40% do peso de um parafuso e requer somente 1/5 do tempo de instalação de um conjunto de parafuso, porca e arruela.

Eles são aproximadamente três vezes mais resistentes do que os rebites sólidos.

Os rebites *Hi-Shear* são essencialmente parafusos sem rosca. Ele é um pino com cabeça em uma das pontas e, na outra ponta, um encaixe abaulado em toda a circunferência. Um colar de metal é estampado no encaixe abaulado, efetuando uma firme e forte fixação (ver Figura 6-54).

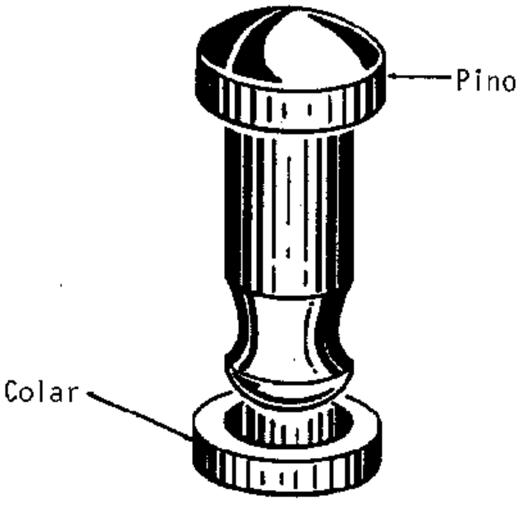


Figura 6-54 Pino-rebite (*Hi-shear*).

Os pinos-rebites *Hi-Shear* são fabricados em uma variedade de materiais, mas, deverão ser usados somente em aplicações de cisalhamento. Eles nunca deverão ser usados em locais em que a distância da pega for menor do que o diâmetro do rebite.

Os números de parte para os rebites Hi-Shear identificam o diâmetro, o tipo de cabeça e a distância da pega de cada rebite. Um típico número de parte é apresentado a seguir:

NAS 177 14 17

17 — Distância máxima de pega em 16 avos da polegada.
14 — Diâmetro em 32 avos da polegada.
177 = cabeça escareada a 100º.
178 = cabeça chata.
NAS — National Aircraft Standard.

PLÁSTICOS

Os plásticos são usados em muitas aplicações, por todas parte, aeronaves das modernas . Estas aplicações vão desde componentes estruturais de termo-plástico reforçado com fibra de vidro (*thermosettings*) a acabamentos decorativos de materiais termoplásticos (*thermoplastic*).

Plásticos transparentes

Os materiais usados em capotas de aeronaves, parabrisas e outras janelas transparentes semelhantes podem ser divididas em duas classes principais ou grupos. Estes plásticos são classificados de acordo com a sua reação ao calor. As duas classes são termoplásticos (*thermoplastic*) e termo-endurecidos (*thermo-setting*).

Os materiais termoplásticos amolecem com o calor e endurecem quando resfriados. Eles podem ser aquecidos até amolecerem e colocados em fôrmas para tornarem a aparência desejada. Quando esfriados, eles manterão aquela forma. A mesma peça de plástico pode ser reaquecida e reformada por várias vezes sem perder a composição química do material.

Os plásticos termo-endurecidos, endurecem quando aquecidos e, se reaquecidos não amolecerão. Estes plásticos não podem ser reformados após terem sido endurecidos pela ação do calor.

Como reforço ao explanado acima, os plásticos transparentes são fabricados em duas formas: bloco (sólido) e laminado. Os plásticos laminados transparentes são feitos de folhas de plástico transparente, unidas com uma camada interna de material, usualmente, *Polyvinyl Butyral*.

Em virtude das qualidades de resistência à rachaduras, o plástico laminado é superior ao plástico sólido e é usado em muitas aeronaves pressurizadas. A maioria das folhas transparentes usadas em aviação são fabricadas de acordo com as diversas especificações militares.

Um novo desenvolvimento em plástico transparente é o acrílico alongado, que é um tipo de plástico que, antes de receber uma forma, ele é puxado em ambas direções, para refazer a sua estrutura molecular.

Um painel de acrílico alongado tem maior resistência ao impacto e está menos sujeito a quebra; sua resistência química é maior, é mais simples e os cortes, fissuras e arranhões causam menos danos.

As folhas de plástico são cobertas individualmente com papel, com adesivo sensível à pressão para aderência. Esse papel auxilia na proteção contra arranhões acidentais durante a estocagem e manuseio. Muito cuidado deverá ser tomado contra arranhões e cortes, quando arrastando uma chapa contra a outra, ou, sobre uma mesa suja ou áspera.

As folhas devem ser estocadas nos depósitos com uma inclinação de 10º da vertical, se possível. Se elas forem estocadas horizontalmente, as pilhas não deverão ter mais do que 45 cm (18") de altura, e as folhas menores deverão ser estocadas em cima das maiores para evitar desequilíbrio.

A estocagem deverá ser em um local frio, seco e longe de vapores de solventes, aquecedores, radiadores e tubulações de vapor. A temperatura no local de estocagem não deverá exceder 44ºC (120ºF).

Embora a luz direta do sol não danifique o plástico acrílico, ela causará o endurecimento e secará a máscara adesiva de papel, causando dificuldade na sua remoção.

Se o papel não descolar facilmente, coloque a chapa em um forno na temperatura de 100ºC (250ºF), por um minuto no máximo. O calor amolecerá a máscara adesiva, facilitando a remoção do papel.

Se um forno não estiver disponível, uma endurecida máscara de papel poderá ser removida, amolecendo o adesivo com nafta alifática (*aliphatic naphtha*). Esfregando a máscara de papel, com um pano saturado com nafta, o adesivo amolecerá, liberando o papel do plástico. Após este tratamento, a chapa de plástico deverá ser lavada imediatamente com água limpa, tomando-se o cuidado de não arranhar a superfície.

Nota: Nafta alifática (*ALIPHATIC NAPHTHA*) não deve ser confundida com nafta aromática (*AROMATIC NAPHTHA*) ou outro solvente de limpeza, os quais produzem efeitos danosos ao plástico. Como a nafta alifática é inflamável, todas as precauções referentes ao uso de líquidos inflamáveis devem ser observadas.

Plástico Reforçado

Plástico reforçado é um material termoendurecido usado na construção de radomes, acabamento de antenas e de pontas de asa e, como isolante de várias peças de equipamento elétrico e células de combustível. Ele possui excelentes características dielétricas, que o tornam ideal para radomes; contudo, a sua alta razão de resistência-peso, resistência ao mofo, oxidação, deterioração e fácil fabricação, torna-o igualmente adequado para outras partes da aeronave.

Os componentes de plástico reforçado, da aeronave, são formados tanto por laminados sólidos como por laminados tipo sanduíche. As resinas usadas para impregnar o tecido de formação da fibra de vidro são do tipo contato-pressão (requerendo pouca ou nenhuma pressão durante a cura).

Estas resinas são fornecidas na forma líquida, podendo variar em viscosidade da consistência da água a consistência de xarope. A cura ou polimerização é efetuada pelo uso de um catalizador, usualmente o peróxido de benzoila (*Benzoyl peroxide*).

Os laminados sólidos são construídos de três ou mais camadas de tecido, impregnado de resina (laminado molhado), para formar uma sólida chapa plana ou, com um formato moldado.

Os laminados tipo sanduíche são construídos em duas ou mais sólidas folhas planas ou, com um formato moldado, incluindo um núcleo, tipo colméia de fibra de vidro, ou do tipo espuma. O núcleo tipo colméia é feito de tecido de fibra de vidro impregnado com uma resina de "*polyester*" ou uma combinação de nailon e resina fenólica. A densidade específica e o tamanho das células da colméia variam consideravelmente. Núcleos tipo colméia são normalmente fabricados em blocos que são mais tarde cortados para a desejada medida com uma serra de fita.

Os núcleos de espuma são formados da combinação de resinas *alkidicas* e *metatolueno diisocyanato*. Os componentes de fibra de vidro do tipo sanduíche e com núcleo tipo espuma são fabricados para excederem a tolerância mínima, em toda a extensão na espessura da superfície moldada e do material do núcleo. Para obter esta precisão, a resina é derramada dentro de uma forma com tolerância mínima.

A resina transforma-se imediatamente em espuma, para preencher o espaço moldado, formando uma união entre a parte externa e o núcleo.

BORRACHA

A borracha é usada para evitar a entrada de poeira, água, ou ar e, para evitar a perda de fluidos, gases ou ar. Ela é também usada para absorver vibração, reduzir ruído e amortecer o impacto de cargas.

O termo "borracha" é tão abrangente como o termo "metal". Ele é usado para denominar não somente a borracha natural, mas também todas as borrachas sintéticas e silicone.

Borracha natural

A borracha natural tem propriedades físicas melhore do que a borracha sintética ou silicone. Estas propriedades incluem: flexibilidade, elasticidade, resistência à tensão, resistência a rasgos e baixa geração de calor quando sob flexão (histerese).

A borracha natural é um produto de aplicação geral; entretanto, sua aplicação em aeronaves é limitada devido a sua pouca resistência na maioria das causas de deterioração. Embora proporcione um excelente selo para muitas aplicações, ela se dilata e, muitas vezes, amolece em contato com combustível de aeronaves e com solventes (naftas, etc).

A borracha natural se deteriora mais rapidamente do que a borracha sintética. Ela é usada como material selante para água e sistemas de metanol.

Borracha Sintética

A borracha sintética é disponível em diversos tipos e, cada um deles, é composto de diferentes materiais para fornecer as desejadas propriedades. As mais amplamente usadas são: *Butyl*, *Bunas* e *Neopreno*.

O *Butyl* é um hidrocarboneto com superior resistência à penetração de gás. Ele é também resistente a deterioração; no entanto, comparativamente, suas propriedades físicas são bem menores do que as da borracha natural. A borracha feita de *butyl* resistirá ao oxigênio, óleos vegetais, gordura animal, álcalis, ozônio e ao desgaste.

Assim como a borracha natural, borracha feita de *butyl* dilata-se em contato com o petróleo ou solventes minerais. Ela tem uma baixa razão de absorção de água e boa resistência ao calor e a baixa temperatura. Dependendo da classificação, ela é adequada para o uso em temperaturas de 18ºC a 130ºC (-65ºF a 300ºF). A borracha de *butyl* é usada com fluidos hidráulicos, como o *skydrol*, fluidos de silicone, gases e acetonas.

A borracha Buna-S é semelhante a borracha natural, tanto na fabricação, como nas características de desempenho. Ela é resistente à água como a borracha natural, mas possue algumas características de durabilidade, melhores do que a borracha natural.

Uma dessas características é a boa resistência ao calor, mas somente na ausência de severa flexão. Geralmente, a *Buna-S* tem pouca resistência à gasolina, óleo, ácidos concentrados e solventes. A *Buna-S* é, normalmente, usada para pneus e câmaras de ar como substituta da borracha natural.

A borracha *Buna-N* é importante em sua resistência aos hidrocarbonetos e outros solventes; no entanto, ela tem pouca elasticidade em solventes a baixa temperatura. Os compostos de Buna-N têm boa resistência em temperaturas acima de 130ºC (300ºF), e podem ser requisitados para aplicações em temperaturas abaixo de -20ºC (-75ºF). A *Buna-N* é resistente a rasgos, a exposição a luz do sol e ao ozônio. Ela tem boa resistência ao abrasão e as propriedades de descolamento, quando usada em contato com metal. Quando usada como vedador de um pistão hidráulico, ela não gruda na parede do cilindro. A *Buna-N* é usada para tubulações de óleo e gasolina, forro de tanques, gaxetas e selos.

A Borracha *Neopreno* pode ser submetida a condições mais severas do que a borracha natural e possue melhores características em baixa temperatura. Ela possue excepcional resistência ao ozônio, luz do sol, calor e ao envelhecimento. A *Neopreno* tem aparência e reação ao tato, semelhante a borracha natural; no entanto, em algumas características, é menos parecida com esta, do que a *Buna* e a *Butyl*.

As características físicas da *Neopreno*, tais como à resistência a tensão e ao alongamento, não são iguais a borracha natural, mas têm muita semelhança. Sua resistência a rasgos, bem como, sua resistência à abrasão, são ligeiramente menores do que as da borracha natural. Embora sua recuperação à distorção seja completa, não é tão rápida quanto a da borracha natural.

A *Neopreno* tem uma grande resistência ao óleo. É um material adequado para ser usado em sistemas de gasolina não aromática, por isso a pouca resistência à gasolinas aromáticas.

Ela é usada primariamente para selos contra intempéries, vedação de janelas, batentes de borracha, tubulações de óleo e diafragmas de carburadores. Ela é, também, recomendada para o uso com Freons.

Thiokol, também conhecida como borracha "*Polysulfeto*", tem uma grande resistência a deterioração; mas, ocupa um dos últimos lugares com relação a propriedades físicas.

Em geral, não é seriamente afetada pelo petróleo, hidrocarbonetos, álcool, gasolina ou água. As borrachas tipo *Thiokol* têm uma baixa classificação nas propriedades físicas, como compressão, resistência à tensão, elasticidade e resistência à abrasão. Ela é usada em tubulações de óleo, revestimento de tanques para gasolina aromática de aviação, gaxetas e selos.

"Borrachas de Silicone" é um grupo de material plástico feito de Silicone, oxigênio, hidrogênio e carbono.

Elas têm excelente estabilidade no calor e mantêm a flexibilidade em temperaturas muito baixas. Elas são adequadas para gaxetas, selos e outras aplicações em elevadas temperaturas, acima de 280ºC (600ºF), são alcançadas.

As borrachas de Silicone são também resistentes à temperaturas abaixo de -60ºC (-150ºF).

Em toda essa faixa de temperatura, a borracha de Silicone permanece extremamente flexível e usável sem endurecimento nem deterioração. Ainda que esse material tenha boa resistência aos óleos, ele reage desfavoravelmente, tanto com a gasolina aromática, como com a não aromática.

Silastic, um dos mais conhecidos Silicones, é usado para isolar equipamentos elétricos e eletrônicos. Em virtude das suas propriedades dielétricas, acima de uma extensa gama de temperaturas, ele permanece flexível e livre de fissuras e rachaduras. *Silastic* é também usado para gaxetas e selos em alguns sistemas de óleo.

AMORTECEDORES DE ELÁSTICO

São amortecedores feitos de borracha natural, em fios trançados, encaixados em uma capa de algodão tratado para resistir a oxidação e ao desgaste.

Grande tensão e alongamento são obtidos pelo trançado da camisa sobre o feixe de fios de borracha, no momento em que eles são esticados, aproximadamente, três vezes do seu comprimento original.

Existem dois tipos de elásticos para amortecedores: o tipo I, um elástico reto, e o tipo II, um anel contínuo conhecido como "*Bungee*". As vantagens do tipo II são: a facilidade e a rapidez da substituição e não ter que ser fixado durante a ação de amortecimento. Os elásticos para amortecedores são fornecidos em diâmetros padronizados de 1/4" a 13/16".

Três fios coloridos são trançados por dentro e por fora em toda a extensão do elástico.

Dois desses fios são da mesma cor e indicam o ano de fabricação; o terceiro fio, de cor diferente, indica o período do ano em que o elástico foi feito.

O código cobre um período de cinco anos e, então, é repetido.

A Figura 6-55 apresenta o ano e o quarto de ano com suas respectivas cores.

CÓDIGO DO ANO			CÓDIGO DO MÊS		
ANO	**FIOS**	**CORES**	**MESES**	**FIOS**	**CORES**
1988-1993	**2**	**Azul**	**Jan-Fev-Mar**	**1**	**vermelho**
1989-1994	**2**	**Amarelo**	**Abr-Mai-Jun**	**1**	**azul**
1990-1995	**2**	**Preto**	**Jul-Ago-Set**	**1**	**verde**
1991-1996	**2**	**Verde**	**Out-Nov-Dez**	**1**	**amarelo**
1992-1997	**2**	**vermelho**	---	---	---

Figura 6-55 Código de cores dos elásticos para amortecedores.

VEDADORES

Vedadores (*Seals*) são usados para evitar a passagem de líquidos em determinados pontos, como também, manter o ar e a poeira fora do sistema em que são usados. O crescente aumento do uso de mecanismos hidráulicos e pneumáticos, em sistemas de aeronaves, tem criado uma necessidade de gaxetas e juntas de vedação, de várias características e formatos, para satisfazer as muitas variações de operações, velocidades e temperaturas, para as quais eles estão sujeitos. Não existe um tipo ou um estilo de vedador que satisfaça a todas as instalações; e, as razões são as seguintes:

1 - Pressão na qual o sistema opera;

2 - O tipo de fluido usado no sistema;

3 - O acabamento do metal e a folga entre ele e as partes adjacentes; e

4 - O tipo do movimento (rotação ou alternado), se houver.

Os vedadores estão divididos em três classes principais: 1 - Gaxetas; 2 - Juntas de vedação; e 3 - Limpadores.

Gaxetas (*packings*)

São feitas de borracha sintética ou natural e são usadas, geralmente, como "vedadores dinâmicos"; isto é, em unidades que contenham partes móveis, como cilindros de atuação, bombas, válvulas seletoras etc. As gaxetas são feitas no formato de anéis com a seção em "O" (*O-rings*), em "V" (*V-rings*) e em "U" (*U-rings*), sendo cada um designado para uma específica finalidade (ver Figura 6-56).

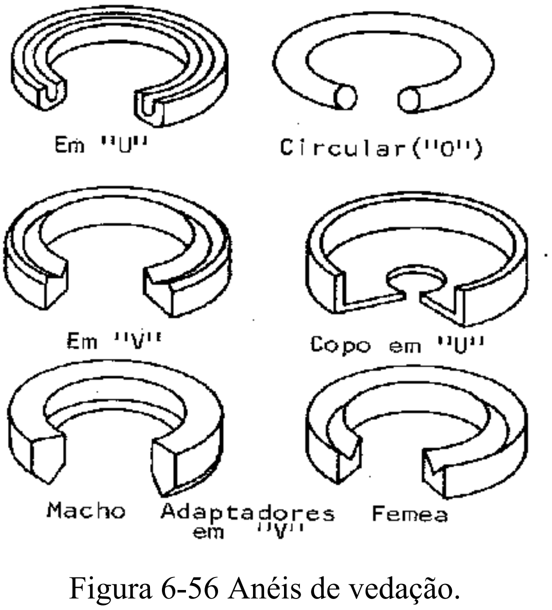


Figura 6-56 Anéis de vedação.

Gaxetas de seção circular (*O-Rings.*)

Também chamados de anéis de vedação, são usados para evitar, tanto os vazamentos internos, como os externos. Esse tipo de gaxeta veda, efetivamente, em ambas as direções, e é o tipo usado com mais freqüência. Em instalações sujeitas a pressões acima de 1.500 p.s.i., anéis auxiliares são usados com os de seção circular, para evitar deformações.

Quando um anel de vedação de seção circular estiver sujeito a pressão, em ambos os lados, como em um cilindro de atuação, dois anéis auxiliares (*backup rings*) devem ser usados (um de cada lado do anel de vedação).

Quando a pressão for exercida apenas em um dos lados, usa-se simplesmente um anel auxiliar. Neste caso, o anel auxiliar deve ser colocado sempre na parte do anel de vedação que sofre a pressão.

Os materiais usados para a fabricação dos anéis de vedação devem ser compostos para as diversas condições de operação, temperaturas e tipos de fluidos. Uma gaxeta designada especificamente como um selo estacionário (estático), provavelmente, não desempenhará bem a sua função se for instalada em uma parte móvel como a de um pistão hidráulico.

Muitos anéis de vedação são semelhantes na aparência e na consistência; mas suas características podem ser muito diferentes. Um anel de vedação será inútil se não for compatível com o fluido do sistema e a temperatura de operação.

Os avanços nos modelos de aeronaves tornam necessárias novas composições, na fabricação de anéis de vedação, para acompanhar as mudanças das condições de operação.

Os anéis de vedação para sistemas hidráulicos eram originalmente controlados sob números de especificação; AN (6227, 6230 e 6290) para uso com o fluido MIL-H-5606, em temperaturas que variam de -17ºC (-65ºF) a +64ºC (+160ºF).

Quando os novos modelos elevaram a temperatura de operação para +120ºC (275ºF) mais compostos foram desenvolvidos e aperfeiçoados.

Recentemente um composto foi desenvolvido oferecendo melhorias no desempenho, em baixas temperaturas, sem sacrificar o desempenho em altas temperaturas, considerando as outras séries obsoletas.

Esse material superior foi adotado na série MS 28775. Esta série é agora o padrão para os sistemas que utilizam o MIL-H-5606, onde a temperatura pode variar de -17ºC (-65ºF) a +120ºC (275ºF).

Os fabricantes adotam códigos de cores em alguns anéis de vedação, embora não seja um confiável ou completo meio de identificação.

O sistema de código de cores não identifica os tamanhos, mas somente o fluido ou o vapor compatível e, em alguns casos, o fabricante.

O código de cores dos anéis de vedação que são compatíveis com o óleo MIL-H-5606 sempre terão a cor azul, mas poderão também conter a cor vermelha ou outras cores.

Gaxetas e juntas de vedação são adequadas para uso com o óleo *Skydrol*.

Elas sempre serão codificadas com um traço verde, mas poderá também ter um ponto azul, cinza, vermelho, verde ou amarelo como parte do código de cores.

O código dos anéis que são compatíveis com fluidos hidrocarbonetos sempre conterá o vermelho e nunca o azul. Um risco colorido em torno da circunferência indica que o anel de vedação é uma gaxeta com função de junta de vedação.

A cor do risco, ou da listra, indica o líquido compatível: vermelho para o combustível e azul para o fluido hidráulico.

O código em alguns anéis de vedação, não é permanente e, em outros, ele pode ser omitido, por dificultar a fabricação ou, por interferência na operação. Além disso, o código de cores fornece meios de estabelecer o tempo de vida do vedador ou suas limitações de temperatura.

Devido as dificuldades com o código de cores, os anéis de vedação são fornecidos em envelopes hermeticamente selados e etiquetados com os dados pertinentes.

Quando selecionando um anel de vedação para instalação, o número de parte básico no envelope selado fornece uma identificação digna de confiança.

Ainda que, a primeira vista, um anel de vedação tenha uma aparência perfeita, pequenos defeitos na superfície podem existir.

Estes defeitos são, muitas vezes, capazes de impedir o desempenho satisfatório sob as variações da pressão de operação do sistema da aeronave; portanto, o anel de vedação deve ser rejeitado por defeitos que poderão afetar seu desempenho.

Alguns defeitos são difíceis de serem descobertos, por isso, os fabricantes de aeronaves recomendam o uso de uma lente que aumente quatro vezes, com iluminação adequada, para inspecionar cada anel de vedação antes da instalação.

Rolando o anel em um cone de inspeção, o diâmetro interno pode também ser inspecionado quanto a pequenas rachaduras, partículas de material estranho ou outras irregularidades; que possam causar vazamento ou diminuir o tempo de vida do anel, de vedação.

A leve esticada do anel, para a inspeção da parte interna, ajudará a revelar alguns defeitos que não seriam visíveis de outra maneira.

Anéis auxiliares de impacto (*backup rings*)

São anéis de teflon (MS 28782) que não deterioram com a idade, não são afetados por qualquer sistema de líquido ou vapor e podem tolerar temperaturas além daquelas encontradas nos sistemas hidráulicos de alta pressão.

Os seus números de identificação, além de indicar suas medidas, indicam também a medida dos anéis de vedação para os quais eles são dimensionados.

Eles são identificados por números básicos de parte e, também, são intercambiáveis; isto é, qualquer anel auxiliar de teflon pode ser usado para substituir outro anel de teflon se as suas dimensões forem próprias para apoiarem o anel de vedação.

Os anéis auxiliares de teflon não têm código de cores nem outros tipos de marcação, e devem ser identificados pelas etiquetas da embalagem.

A inspeção dos anéis auxiliares deverá incluir um teste para assegurar de que as superfícies estão livres de irregularidades; as bordas, sem as arestas cortantes; e as partes chanfradas, paralelas. Quando checando anéis de teflon em espiral, assegure-se de que as espiras não estão separadas mais de 1/4" quando livres.

Anéis de Vedação com Seção em "V"

São vedadores descartáveis (AN 6225) e são instalados sempre com a parte aberta do "V", faceando a pressão.

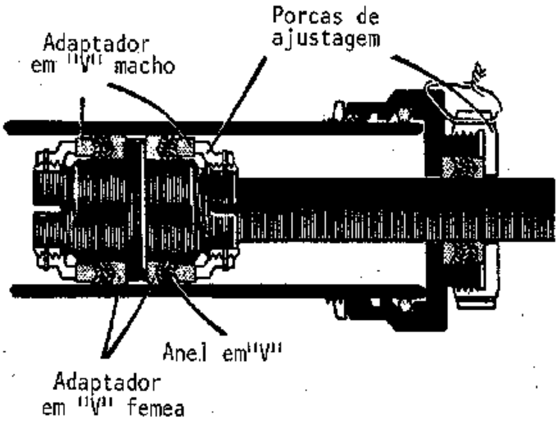


Figura 6-57 Instalação de anéis em "V".

Os anéis de vedação em "V" devem ser instalados, com adaptadores macho e fêmea, para serem mantidos na posição correta depois da instalação. É também necessário apertar o retentor dos anéis, com o torque no valor especificado pelo fabricante do componente, para que o vedador tenha um desempenho satisfatório.

A Figura 6-57 mostra um componente usando anéis de vedação em "V".

Anéis de Vedação com Seção em "U"

As gaxetas em "U", sob a forma de anel ou, em copo, são usadas em conjuntos de freio e nos cilindros mestre de freios.

Os vedadores anel em "U" e, copo em "U", só vedarão a pressão em uma direção; portanto, a parte aberta do "U" deverá estar voltada para a direção da pressão. Os anéis de vedação em "U", são primariamente, gaxetas de baixa pressão para serem usadas abaixo de 1.000 p.s.i.

JUNTAS DE VEDAÇÃO (*GASKETS*)

São usadas como selos estáticos (estacionários) entre duas superfícies planas. Os materiais mais comuns para confecção de juntas são: amianto, cobre, cortiça e borracha. Amianto laminado é usado sempre que for necessário uma junta resistente ao calor. O amianto é usado nos sistemas de escapamento - o amianto está sendo abolido por ser altamente cancerígeno. A maioria das juntas de amianto tem uma proteção de cobre nas bordas para prolongar o tempo de vida.

Uma sólida arruela de cobre é usada para a vedação de velas de ignição, onde é necessário uma junta não compreensível, porém macia.

As juntas de cortiça podem ser usadas como uma vedação, para o óleo entre o cárter do motor e os acessórios e, onde é requerida uma junta de vedação capaz de ocupar um espaço irregular ou diferente, causado por uma superfície áspera, ou ainda, sujeita a expansão e contração.

Juntas de borracha podem ser usadas onde for necessária uma junta compreensível. Ela não deverá ser usada em locais onde poderá haver o contato com gasolina ou óleo, porque a borracha deteriora-se muito rapidamente, quando em contato com essas substâncias.

As juntas são usadas nos sistemas líquidos, em torno de bujões de cilindros de atuação, válvulas e outras unidades. A junta que, geralmente, é usada para esta finalidade tem o formato semelhante a um anel de vedação.

LIMPADORES (*WIPERS*)

São usados para limpar e lubrificar a porção exposta dos eixos de cilindros. Eles evitam a entrada de poeira no sistema e, auxiliam na proteção do eixo do cilindro de atuação, contra arranhões e desgaste. Os limpadores podem ser do tipo metálico ou de feltro. Muitas vezes eles são usados juntos, com o de feltro instalado de encontro ao metálico.

SELANTES

Determinadas áreas das aeronaves são vedadas para conter a pressurização do ar, evitar vazamento de combustível, impedir a passagem de gás, ou, para evitar a corrosão, vedando contra as intempéries. A maioria dos selantes consiste em dois ou mais ingredientes, em determinadas proporções, para serem obtidos os melhores resultados.

Alguns materiais são embalados para uso imediato, enquanto outros dependem de mistura antes da aplicação.

Selantes simples (*one-part*)

São preparados pelo fabricante e estão prontos na embalagem para a aplicação. Contudo, a consistência de alguns destes compostos podem ser alteradas para satisfazer um particular método de aplicação. Se for desejada uma diluição, deverá ser usado o solvente recomendado pelo fabricante do selante.

Selantes compostos (*two-part*)

Os selantes compostos necessitam de embalagens separadas, para evitar a cura, ou, o endurecimento antes da aplicação e, são identificados como base selante e acelerador ou catalisador.

Qualquer alteração na proporção prescrita, reduzirá a qualidade do material.

Geralmente, as duas partes do selante composto são misturadas pela combinação de iguais porções (pelo peso), da base e do acelerador.

Todos os materiais selantes devem ser cuidadosamente pesados de acordo com as recomendações do fabricante.

O material selante é, normalmente, pesado com uma balança equipada com pesos especialmente preparados para as várias quantidades de selante e acelerador.

Antes da pesagem dos materiais selantes, tanto a base, quanto o acelerador, deverão ser completamente agitados.

O material acelerador que estiver seco, empedrado ou em flocos não deverá ser usado. Conjuntos de selantes já pesados (*Kits*), se forem utilizados completamente, não têm que ser pesados novamente antes de serem misturados.

Depois que a devida quantidade de base e de acelerador tiver sido determinada, adicione o acelerador ao selante base. Imediatamente após adicionar o acelerador, misture totalmente as duas partes, de modo que a consistência do material permita.

O material deverá ser misturado cuidadosamente para evitar bolhas de ar na mistura. Não convém misturar muito rápido, nem por tempo prolongado, para evitar a formação de calor na mistura, diminuindo o tempo normal de aplicação (vida útil) do selante. Para assegurar-se de que os compostos selantes estão bem misturados, faça um teste com uma pequena porção sobre uma chapa de metal limpo ou vidro.

Se nódoas ou torrões forem encontrados, continue misturando e, se não puderem ser eliminados, a mistura deverá ser rejeitada.

A vida útil da mistura selante é de trinta minutos a quatro horas (dependendo da classe do selante); por isso, a mistura selante deverá ser aplicada o mais rápido possível, ou então, colocada sob refrigeração.

A Figura 6-58 apresenta informações gerais sobre selantes.

O tempo de cura das misturas selantes varia com as condições de temperatura e umidade.

A cura será extremamente lenta se a temperatura estiver abaixo de 14ºC (60ºF). A temperatura de 22ºC (77ºF) com 50% de umidade relativa, é a condição ideal para a cura da maioria dos selantes.

A cura de um selante pode ser acelerada, se aumenta a temperatura, mas esta nunca deverá estar acima de 44ºC (120ºF), em qualquer momento do ciclo de cura.

O calor pode ser aplicado com o uso de lâmpadas de raios infravermelhos ou ar aquecido. Quando for usado o ar, ele deverá ser devidamente filtrado para remover umidade e poeira.

O calor não deverá ser aplicado em qualquer superfície de contato com selante, até que todo o trabalho esteja completado.

Todas as aplicações da superfície de contato, deverão ter as ligações permanentes ou temporárias completadas, dentro das limitações de aplicação do selante.

O selante deve ser curado para uma condição de "livre-toque", antes da aplicação do acabamento, (Livre-toque é um ponto da consistência, na qual uma folha de celofane pressionada contra o selante não ficará colada).

SELANTE BASE	ACELERADOR (CATALIZADOR)	MISTURA POR PESO	VIDA ÚTIL	ESTOCAGEM DURAÇÃO APÓS MISTURADO	ESTOCAGEM	FAIXA DE TEMPERATURA	APLICAÇÃO E LIMITAÇÕES
EC-801(preto) MIL-S-7502 A Classe B-2	EC-807	12 partes de EC-807 para 100 partes de EC-801	2-4 horas	5 dias a -26ºC após congelar a -48ºF	6 meses	-48ºC a 85ºC	Superfícies de contato, enchimento, vedação de fendas.
EC-800 (vermelho)	Nenhum	Sem mistura	8-12 horas	Não aplicável	6-9 meses	-48ºC a 85ºC	Revestimento de rebites

EC-612 P (rosa) MIL--P-20628	Nenhum	Sem mistura	Indefinido, não seca	Não aplicável	6-9 meses	-36ºC a 85ºC	Juntas acima de 1/4"
PR-1302 HT (vermelho) MIL-S-8784	PR-1302 HT-A	10 partes de PR-1302 HT-A para 100 partes de PR-1302 HT	2-4 horas	5 dias a -26ºC após congelar a -48ºC	6 meses	-48ºC a 85ºC	Juntas de janelas de inspeção
PR-727 MIL-S-8516 B	PR-727 A	12 partes de PR-727 A para 100 partes de PR-727	No mínimo 1 1/2 hora	5 dias a -26ºC após congelar a -48ºC	6 meses	-48ºC a 85ºC	Conexões elétricas e vedação de anteparos
HT-3 (verde escuro)	Nenhum	Sem mistura	2-4 horas	Não aplicável	6-9 meses	-46ºC a 410ºC	Vedação de tubos de ar quente através de anteparos
EC-776 (âmbar claro) MIL-S-4383 B	Nenhum	Sem mistura	8/12 horas	Não aplicável	Indefinido	-48ºC a 105ºC	Revestimento externo

Figura 6-58 Informação geral sobre selantes.

CONTROLE DA CORROSÃO

A corrosão de um metal é a deterioração pelo ataque químico ou eletroquímico e, pode ter lugar, tanto internamente, quanto na superfície. Do mesmo modo que o apodrecimento da madeira, esta deterioração pode alterar uma superfície lisa, enfraquecer o interior e danificar, ou , soltar partes adjacentes. Água ou vapor de água contendo sal, combina com o oxigênio na atmosfera, para produzir a principal fonte de corrosão em aeronaves.

Uma aeronave operando em um ambiente marítimo ou em área onde a atmosfera contenha vapores industriais corrosivos, está particularmente suscetível aos ataques da corrosão.

A corrosão pode causar eventual falha estrutural se não for combatida. A aparência da corrosão varia com o metal. Nas ligas de alumínio e de magnésio, ela aparece como pequenas cavidades ásperas, muitas vezes combinada com um depósito de pó branco ou cinza. No cobre e nas ligas de cobre, a corrosão forma uma película verde; no aço, uma ferrugem avermelhada.

Quando os depósitos cinza, branco, verde ou avermelhado são removidos, cada uma das superfícies pode ter a aparência áspera ou corroída, dependendo do tempo de exposição e severidade do ataque. Se não forem profundas as cavidades, elas podem não alterar significativamente a resistência do metal; no entanto, as cavidades podem ocasionar o desenvolvimento de rachaduras.

Alguns tipos de corrosão podem movimentar-se por baixo de superfícies pintadas e, espalhar-se até que haja uma falha.

Tipos de corrosão

Existem duas classificações gerais para a corrosão, que cobrem a maior parte das formas específicas. São elas; o ataque químico direto e o ataque eletroquímico. Em ambos os tipos de corrosão o metal é convertido em compostos metálicos, como o óxido, o hidróxido, ou o sulfato. O processo de corrosão sempre envolve duas alterações simultâneas: o metal, que é atacado ou oxidado, sofre o que pode ser chamado de transformação anódica; e, o agente corrosivo, é reduzido e pode ser considerado como sofrendo uma transformação catódica.

Ataque químico direto

Também é chamado de corrosão química pura; é um ataque resultante da exposição direta de uma superfície, exposta a um líquido cáustico ou agentes gasosos. No ataque químico direto, as transformações anódicas e catódicas ocorrem no mesmo ponto, diferindo, portanto, do ataque eletroquímico, onde as transformações ocorrem à distância. Os agentes mais comuns causadores dos ataques químicos diretos na aeronave são: **a** - O derramamento ou os gases do ácido das baterias; **b** - Resíduos de material de limpeza e de soldagem ou juntas soldadas; **c** - Soluções cáusticas de limpeza retidas. O problema relativo ao ácido e aos gases das baterias está sendo solucionado com o emprego de baterias seladas de níquel-cádmio.

Muitos tipos de fluxos, usados em soldagens são corrosivos, e atacam, quimicamente os metais ou ligas com os quais eles são usados. Por este motivo, é importante que o fluxo residual seja, imediatamente, removido da superfície do metal, após a operação de soldagem.

Os resíduos de fluxo são higroscópicos e, por este motivo, são capazes de captar e absorver umidade. Se não forem cuidadosamente removidos, poderão causar severas avarias.

Soluções cáusticas de limpeza, na forma concentrada, deverão ser mantidas firmemente fechadas e, tão distante, quanto possível, das aeronaves. Algumas soluções de limpeza usadas para remover corrosão são, potencialmente, agentes corrosivos. Particular atenção deverá ser tomada, no sentido de sua total remoção, após o uso na aeronave. Onde houver possibilidade do acúmulo de solução de limpeza, deverá ser usado um agente de limpeza não corrosivo, embora seja de efeito menos eficiente.

Ataque eletroquímico

Um ataque eletroquímico pode ser comparado, quimicamente, com a reação eletrolítica da galvanoplastia, anodização ou de uma bateria alcalina.

A reação deste ataque corrosivo, requer um intermediário, geralmente a água, que é capaz de conduzir a fraca corrente de eletricidade.

O *Lok-Rivet* e *o Lok-Skru* são semelhantes em construção; exceto que o *Lok-Skru* é roscado internamente, para fixar um acessório, usando um parafuso; enquanto que o Lok-Rivet não é roscado e só pode ser usado como um rebite.

Tanto o *Lok-Skrus* como o *Lok-Rivet* são instalados da mesma maneira, por esse motivo o texto a seguir para o *Lok-Skrus* também se aplica ao *Lok-Rivet.*

As principais partes de um *Lok-Skru* são o corpo, a cabeça e um parafuso de fixação.Quando um metal, entra em contato com um agente corrosivo e, está também, ligado por um caminho de líquido ou gases, no qual os elétrons possam fluir, a corrosão começa, enquanto o metal, deteriora-se pela oxidação. Durante o ataque, a quantidade do agente corrosivo é reduzida, caso não seja renovada ou removida, podendo reagir completamente com o metal (torna-se neutralizada).

Diferentes áreas da superfície de um mesmo metal têm diferentes níveis de potencial elétrico e, se estiverem, ligadas por um condutor, como a água salgada, vão se estabelecer séries de células de corrosão; e, a corrosão começará.

Todas os metais e ligas são eletricamente ativos, e têm, um específico potencial elétrico em um determinado ambiente químico. Os elementos que constituem a liga também têm os seus específicos potenciais elétricos, os quais são geralmente diferentes uns dos outros.

A exposição da superfície de uma liga a um ambiente corrosivo, fará com que o metal mais ativo se torne anódico; e o menos ativo, catódico, estabelecendo condições para a corrosão. Esses metais são conhecidos como células locais.

Quanto maior for a diferença de potencial entre os dois metais, maior será a severidade do ataque corrosivo, caso condições apropriadas sejam permitidas para o seu desenvolvimento.

Como pode ser observado, as condições para essas reações corrosivas, são: a condutividade do fluido e, a diferença de potencial entre os metais.

Se porém, através de uma limpeza regular a de um adequado tratamento superficial, o meio for removido e o circuito elétrico for eliminado, a corrosão não poderá ocorrer; esta é a base de um eficaz controle da corrosão.

O ataque eletroquímico é responsável pela maior parte das formas de corrosão na estrutura da aeronave e em seus acessórios.

FORMAS DE CORROSÃO

Há muitas formas de corrosão. Essas dependem do metal envolvido, de seu tamanho e formato, de sua função específica, das condições atmosféricas e da presença de agentes indutores da corrosão.

As que serão descritas nesta seção são mais comuns de serem encontradas em células de aeronaves.

Corrosão superficial

A corrosão superficial aparece como uma rugosidade generalizada, uma mancha ou cavidades minúsculas na superfície do metal, freqüentemente acompanhada do resíduo pulverento dos produtos da corrosão.

A corrosão superficial pode ser causada, tanto pelo ataque químico direto, como pelo eletroquímico. Algumas vezes a corrosão se espalha por baixo da cobertura superficial (como a pintura), e não pode ser percebida, nem pela rugosidade da superfície, nem pelo depósito dos produtos dessa corrosão. Pelo contrário, a pintura ou o recobrimento metálico, podem ser deslocados da superfície em pequenos pedaços, em conseqüência da pressão (ou aumento de volume) causado pelo acúmulo dos produtos da corrosão.

Corrosão entre metais diferentes

Dano extensivo, pela formação de cavidades minúsculas, pode resultar do contato entre metais diferentes na presença de um condutor. Conquanto, possa haver ou não, corrosão superficial, a ação galvânica, parecida com a eletrodeposição, ocorre nos pontos ou áreas de contato, onde o isolamento foi rompido ou simplesmente não foi colocado. Este ataque eletroquímico pode ser muito severo e perigoso; porque, sua ação, na maioria das vezes, irrompe fora da visão comum, e o único meio de detetá-la, antes que ocorra uma falha estrutural, é através da desmontagem e separação das partes e sua inspeção.

Corrosão intergranular

Esse tipo de corrosão é um ataque em torno dos grãos de uma liga e, comumente, resulta na perda da uniformidade na estrutura da liga. Ligas de alumínio e algumas ligas do aço inoxidável, são, particularmente, suscetíveis dessa forma de ataque eletroquímico. Esta falta de uniformidade é causada por modificações que ocorrem na liga durante o aquecimento e resfriamento.

A corrosão intergranular pode existir sem evidência visível na superfície. A corrosão intergranular muito severa pode, algumas vezes, causar a "exfoliação" da superfície do metal. Ou seja: a superfície começa a ficar estufada e descamada em flocos; conseqüência da delaminação, cujo causa é a pressão dos resíduos da corrosão em torno do grão, a medida que são formados.

Este tipo de corrosão é difícil de ser detetado em seu estágio inicial. Métodos de inspeção com ultra-som e "*Eddy current*" são usados com grande margem de acertos.

Corrosão sob tensão fraturante (*stress*)

A corrosão, sob tensão fraturante, ocorre como o resultado do efeito combinado de cargas de tensão residual e meio ambiente corrosivo.

Trincas ou rachaduras típicas de corrosão por tensão fraturante são encontradas em muitos tipos de metal; entretanto, é particularmente característico do alumínio, cobre e certos tipos de aço inoxidável, e de ligas de aço de alta resistência (acima de 240.000 libras por polegada quadrada). Geralmente, ocorre ao longo de trechos trabalhados à frio (laminados à frio, extrudados à frio, etc.) e pode ser de natureza intergranular ou transgranular (dentro do grão ou na vizinhança entre os grãos).

São suscetíveis de trincas por corrosão sob tensão fraturante, balancins de liga de alumínio com buchas deslizantes prensadas neles, suporte do amortecedor do trem de pouso com acionamento e travamento por parafuso engraxado, juntas ou emendas travadas com pinos "Clevis", prendedores retráteis, etc.

Corrosão por atrito (*FRETTING*)

A corrosão por atrito ("fretting") é uma forma particularmente danosa de ataque corrosivo, que ocorre quando duas superfícies estão em contato uma com a outra, havendo pressão entre as duas, sujeitas a um ligeiro movimento relativo.

Essa corrosão é caracterizada pela rugosidade das duas superfícies e pelo acúmulo considerável de limalha fria. Como o curso do movimento relativo é muito pequeno, a limalha encontra dificuldade para ser expulsa da área de contato, incrementando a abrasão entre as superfícies significativamente.

A presença de vapor d'água aumenta muito esse tipo de deterioração. Se as áreas de contato são pequenas e afiladas, sulcos profundos, parecendo terem sido feitos a punção, podem aparecer nessas superfícies.

FATORES QUE AFETAM A CORROSÃO

Muitos fatores afetam o tipo, a velocidade, a causa e a gravidade da corrosão dos metais. alguns desses fatores podem ser controlados; outros, não.

Clima

As condições ambientais, sob as quais uma aeronave é mantida e operada, afetam muito as características da corrosão. Em ambiente predominantemente marítimo (com exposição à água do mar e ao ar marinho), com ar carregado de umidade, é consideravelmente mais danoso para uma aeronave do que se todas as operações fossem conduzidas em clima seco.

As considerações sobre a temperatura são importantes porque a velocidade do ataque eletroquímico aumenta com o calor, em climas úmidos.

Tamanho e tipo de metal

É bastante conhecido o fato de que alguns metais são mais facilmente atacáveis pela corrosão do que outros.

É, porém, menos conhecido, o fato de que variações no tamanho e na forma do objeto metálico, indiretamente afetam sua resistência à corrosão.

Seções estruturais, com paredes grossas, são mais suscetíveis ao ataque corrosivo que as de paredes finas, porque, as variações nas características físicas são maiores.

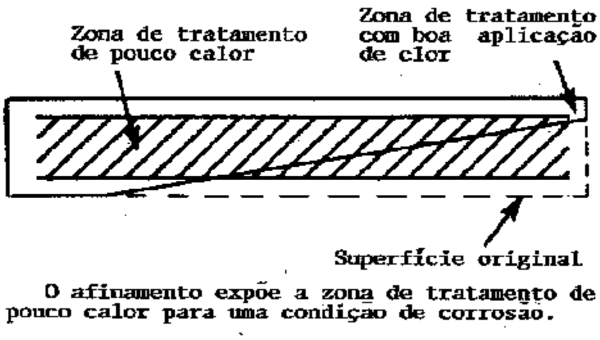

Zona de tratamento de pouco calor
Zona de tratamento com boa aplicação de clor
Superfície original
O afinamento expõe a zona de tratamento de pouco calor para uma condição de corrosão.

Figura 6-59 Efeito da usinagem em grossa ligas de alumínio forjado tratadas a quente.

Quando peças grandes são trabalhadas (à frio ou à quente) ou usinadas quimicamente, após terem recebido tratamento térmico, as seções de paredes mais finas terão características físicas diferentes daquelas de paredes mais grossas (vide Figura 6-59).

Do ponto de vista do controle da corrosão, a melhor aproximação é reconhecer a natureza íntima (metalografia) e a resistência (características mecânicas) dos principais componentes estruturais, e manter proteção permanente sobre tais áreas, para prevenir o início da deterioração.

Presença de material estranho

Dentre os fatores controláveis, os quais afetam o início e o prosseguimento do ataque corrosivo, estão os materiais estranhos que se aderem à superfície do metal:

Como tais materiais estranhos, temos incluídos:

1. Terra e poeira do ar;
2. Óleo, graxa e resíduos do escapamento do motor;
3. Água salgada e condensação de ar saturado de água salgada;
4. Respingos ácidos da bateria e soluções cáusticas de limpeza; e
5. Resíduos de fluxos de soldagem (de vários tipos).

É importante que a aeronave seja mantida limpa. A freqüência e a extensão com que uma aeronave deva ser limpa depende de vários fatores, tais como: localização, modelo da aeronave e tipo de operação.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Muito tem sido feito para melhorar a resistência à corrosão da aeronave: materiais mais bem selecionados, tratamentos superficiais, isolamento e acabamentos de proteção. tudo isso teve como alvo a redução dos trabalhos de manutenção, bem como o incremento da confiabilidade. Destarte dessa melhora, a corrosão e seu controle é um problema real, que demanda manutenção preventiva contínua.

A manutenção preventiva da corrosão inclui as seguintes funções específicas:

(1) Uma limpeza adequada;
(2) Cuidadosa lubrificação periódica;
(3) Detalhada inspeção, pesquisando a corrosão ou a falha dos sistemas de proteção contra a corrosão.

(4) Tratamento rápido da corrosão e retoque das áreas pintadas danificadas;
(5) Manutenção dos orifícios dos drenos desobstruídos;
(6) Drenagem diária dos drenos de cada tanque de combustível;
(7) Limpeza diária de áreas críticas expostas;
(8) Vedação da aeronave contra água durante mau tempo e ventilação apropriada nos dias de bom tempo;
(9) Fazer máximo uso de proteção (cobertura) nas aeronaves estacionadas.

Após qualquer período, em que a manutenção preventiva contra a corrosão é interrompida, uma quantidade maior de manutenção será geralmente necessária para reparar no mesmo nível de proteção, como tinha anteriormente.

INSPEÇÃO

Inspecionar para descobrir a corrosão é um processo contínuo e deve ser conduzido como um assunto diário. Dar muita ênfase a um problema específico de corrosão para, posteriormente, relegá-lo ao segundo plano, costuma ser uma prática insegura, custosa e que trará mais problemas adiante.

A maioria das listas de verificação dos planos de manutenção aprovados, são abrangentes o bastante para cobrir todas as peças da aeronave ou do seu motor e, nada, do que nela consta deve ser deixada sem inspeção.

Use esta lista de verificação como um guia geral, quando uma área específica for inspecionada quanto à corrosão, porventura existente.

Através da experiência percebe-se que a maioria das aeronaves possuem áreas específicas, onde há problemas com corrosão, a despeito das inspeções de rotina.

Junto às inspeções de rotina, aeronaves anfíbias ou hidroaviões devem se submeter a inspeções diárias e, as áreas críticas, limpas e tratadas, como necessário.

ÁREAS PROPENSAS À CORROSÃO

Serão discutidas nessa seção, as áreas típicas de problemas de corrosão na maioria das aeronaves. Entretanto, a discussão não será necessariamente completa e pode ser ampliada, ou expandida, para cobrir as características especiais de um particular modelo de aeronave, conforme referência de seu manual de manutenção.

Áreas posteriores aos dutos de escapamento

Tanto nos motores a jato como nos de pistão, os depósitos provenientes da exaustão são muitos corrosivos e causam problemas específicos, quando, descontinuidades, sulcos, dobradiças e carenagens estão localizadas em áreas posteriores aos dutos de escapamento desses motores, tal que depósitos possam ser formados e não possam ser alcançados pelos métodos normais de limpeza.

Atenção especial deve ser dada nas áreas em torno da cabeça dos rebites e nas juntas das chapas. Carenagens e janelas de inspeção nas áreas de exaustão devem ser removidas para inspeção.

Depósitos formados pela exaustão em áreas remotas, tais como as superfícies das empenagens, não devem ser negligenciadas.

O acúmulo de resíduos sobre essas áreas será lento-, algumas vezes pode até não ocorrer, mas freqüentemente tem se tornado um problema para algumas das aeronaves em uso.

Compartimentos das baterias e orifícios de ventilação da bateria

A despeito do aperfeiçoamento das pinturas de proteção e nos métodos de vedação e aeração, os compartimentos das baterias continuam a ser áreas com problemas de corrosão. Vapores de eletrólito superaquecidos são difícies de contenção e se espalham pelas áreas adjacentes, causando um rápido ataque corrosivo em todas as superfícies metálicas desprotegidas..

Orifícios de ventilação da bateria na superfície (revestimento) da aeronave devem ser incluídos nos procedimentos de inspeção nos compartimentos das baterias.

Uma limpeza regular e a neutralização dos depósitos ácidos irão diminuir a corrosão.

Partes inferiores

Estas são o depósito natural para óleo hidráulico usado, água, sujeira, e toda sorte de pedacinhos. Óleo residual, com freqüência, encobre pequenas quantidades de água que migram para o fundo da aeronave (abaixo do piso) e dão início a uma célula química escondida. As partes inferiores dos hidroaviões e aviões anfíbios são protegidas por pequenos sacos de dicromato de potássio, um inibidor da corrosão, suspensos próximos aos pontos mais baixos de cada compartimento inferior. Esses cristais dissolvem-se em qualquer água residual, e tendem a inibir o ataque em superfícies expostas do metal.

Os procedimentos de inspeção devem incluir a substituição desses saquinhos, quando a maior parte do agente químico tiver sido dissolvida. Atenção particular deve ser dada para áreas localizadas sob as "*galleys*" (espécie de cozinha onde são preparados os lanches) e banheiros, especialmente, na área sob os dutos, por onde são retirados os dejetos humanos.

Esses dejetos, associados aos produtos químicos, usados nos banheiros, são muitos corrosivos para os metais comumente usados nos aviões. É imprescindível que, freqüentemente, essas áreas sejam limpas e a pintura sempre retocada.

Alojamento do trem de pouso e das rodas

Provavelmente esta área recebe mais agressão que qualquer outra, devido à lama, água, sal, cascalho, dentre outros materiais estranhos à aeronave.

Por causa das várias reentrâncias e saliências, montagens e prendedores, fica difícil aplicar e manter uma camada de tinta nessa área.

A aplicação de produtos preservativos tende mais a disfarçar a corrosão do que preveni-la.

Devido ao calor gerado pela ação dos freios, os produtos preservativos não podem ser usados nas rodas do trem de pouso principal. Durante uma inspeção destas áreas, dê particular atenção aos seguintes pontos problemáticos:

1. Rodas de magnésio, especialmente em torno das cabeças dos parafusos, das fixações ao trem de pouso, etc., especialmente quanto à presença de água residual e seus efeitos;

2. Tubos rígidos expostos, especialmente nas ferragens ou reforçadores com dobras de reforço ("*lips*"), embaixo dos prendedores e das etiquetas de identificação coladas.

3. Microinterruptores ("*microswitches*") ou transdutores de posição e outros equipamentos elétricos; e

4. Juntas entre reforçadores, cavernas e partes inferiores das superfícies de revestimento, que são típicos locais de acumulação de água e resíduos.

Áreas de acumulação de água

Especificações de projeto exigem que as aeronaves tenham drenos instalados em todas as áreas, onde a água possa ficar acumulada. Inspeções diárias dos drenos dos pontos baixos devem ser um requisito padrão.

Caso essa inspeção seja negligenciada, os drenos podem se tornar ineficazes, por causa do acúmulo de sujeira, graxa ou selantes.

Área frontal dos motores e tomadas de ar de ventilação

Essas áreas são constantemente agredidas por sujeira e pó, pedacinhos de cascalho das pistas, como também da erosão da chuva, que tendem a remover o acabamento de proteção.

Inspeções nessas áreas devem incluir todas as partes por onde circula o ar forçado (pelas hélices) de ventilação, com especial atenção aos lugares onde os depósitos de sal possam se acumular durante as operações próximas ao mar. É imperativo que a corrosão inicial seja inibida e que o retoque da pintura e a camada mais forte da proteção anticorrosiva seja mantida intacta, sobre as superfícies adjacentes ao motor, especialmente no caso de hidroaviões e aviões anfíbios.

Alojamentos dos flapes de asa e "*Spoilers*"

Sujeira e água podem ficar acumuladas nos alojamentos dos flapes de asa e "*spoilers*", e lá permaneceram desapercebidas, porque estes dispositivos ficam normalmente recolhidos. Por esta razão, estes alojamentos são áreas de problemas potenciais de corrosão.

Áreas do revestimento externo

Superfícies externas são prontamente visíveis e acessíveis para inspeção e manutenção. Mesmo nesse caso, curtos tipos de configurações ou combinações de materiais tornam-se problemáticos sob certas condições de operação e exigem especial atenção.

Relativamente pouca corrosão é experimentada com revestimento de magnésio se a superfície original for revestida, isolada e devidamente mantida. Desamassamento, furação e rebitagem destroem parte do tratamento superficial original, o que nunca é completamente restituído através de procedimentos de retoque. Qualquer inspeção de corrosão deve incluir todas as superfícies de magnésio, com especial atenção aos bordos, áreas ao redor dos reforçadores e pinturas trincadas, raspadas ou que foi esquecida de ser aplicada.

Dobradiças como as de tipo igual à tampa do teclado dos pianos são caracterizadas pelo ataque corrosivo, devido ao contato entre a dobradiça de alumínio e o eixo de aço, (metais dissimilares). São também depósitos disponíveis para sujeira, sal e umidade. A inspeção desse tipo de dobradiça (e também de outros tipos) deve incluir a lubrificação e a movimentação da mesma, com o propósito de se assegurar que houve uma completa penetração do lubrificante.

A corrosão do revestimento metálico soldado por pontos (ponteado), é conseqüência da entrada e fixação dos agentes corrosivos entre as camadas de metal. Esse tipo de corrosão é evidenciado pela presença de produtos da corrosão nas fendas por onde entra o agente corrosivo.

Quanto mais avançado segue a corrosão, maior o estufamento da fenda, causando, inclusive, rompimento no ponto de soldagem. O estufamento do revestimento nos seus estágios iniciais pode ser detectado observando-se ao longo da linha de ponteamento, ou usando-se uma lâmina (passada) entre os pontos de soldagem. A única técnica que previne esta condição é o enchimento da fresta com selante ou composto preservativo.

Áreas gerais de problemas

As cabeças dos rotores dos helicópteros e suas caixas de redução além do fato de serem continuamente expostas às intempéries, possuem superfícies de aço sem revestimento, muitas peças externas que se movimentam e contatos entre metais dissimilares. Essas áreas devem ser inspecionadas com freqüência para se descobrir se há corrosão. A manutenção apropriada, lubrificação correta e o uso de coberturas preservativas podem prevenir a corrosão nessas áreas.

Todos os cabos de controle, quer simplesmente de aço-carbono ou de aço resistente à corrosão, devem ser inspecionados para se determinar sua condição em cada período de inspeção. Os cabos devem ser analisados quanto à corrosão, escolhendo-se aleatoriamente um pedaço dele e fazendo sua limpeza com um pedaço de pano embebido em solvente. Caso a corrosão externa seja muito evidente, sua tensão deve ser aliviada e deve ser analisado quanto à corrosão interna. Cabos com corrosão interna devem ser substituídos. A corrosão externa leve deve ser removida com escova de aço. Assim que os produtos da corrosão tiverem sido removidos, recubra os cabos com preservativo.

REMOÇÃO DA CORROSÃO

Em geral, qualquer tratamento completo de corrosão envolve o seguinte: (1) Exposição e limpeza da área corroída; (2) remoção da maior parte possível dos resíduos da corrosão; (3) neutralização de qualquer material de limpeza residual nos orifícios e frestas; (4) restauração do revestimento de proteção das superfícies; e (5) aplicação de revestimentos, temporários ou definitivos, ou de pintura de acabamento.

Os parágrafos seguintes tratam da corrosão dos efeitos da corrosão nas superfícies das aeronaves e de seus componentes, onde a deterioração não tenha progredido a ponto de necessitar nova usinagem ou reparo estrutural da peça envolvida.

Remoção da pintura e limpeza da superfície

A remoção da corrosão, necessariamente inclui, a remoção do acabamento da superfície que cobre a área atacada, ou suspeita de ter sido atacada pela corrosão. A fim de assumir a máxima eficiência do composto decapante, a área deve ser limpa de graxa, óleo, sujeira ou preservativos. Essa operação preliminar de limpeza é também um auxilio na determinação da extensão do ataque corrosivo, desde que a operação de decapagem seja conduzida da superfície para as partes mais fundas, até o limite do ataque corrosivo.

O espalhamento de uma corrosão extensiva deve ser corrigido pelo completo tratamento de toda a seção atingida.

A seleção do tipo de produtos a serem usados na limpeza irá depender da natureza do material a ser removido. Solventes para limpeza à seco podem ser usados para remover óleo, graxa e compostos leves de preservação. Para os trabalhos pesados de remoção de preservativos ressecados ou espessos, outros compostos do tipo emulsão (solvente) estão disponíveis.

O uso de decapante de emprego geral, lavável em água, é recomendável para a maioria das aplicações. Onde for aplicável, a remoção de tinta de qualquer superfície grande, deve ser realizada em ambiente aberto e, preferencialmente, em área sombreada (não deve ser realizada ao sol).

Caso seja necessário remover a corrosão em ambiente fechado, uma ventilação adequada deve ser providenciada. Superfícies de objetos de borracha sintética (pneus de avião, tela de algodão e acrílico) devem ser cuidadosamente protegidos contra possível contato com removedor de tinta.

Todo cuidado deve ser exercido na aplicação de removedor de tinta próximo a vedadores (de borracha), recipientes de gasolina (tanques) ou os que impeçam a passagem da água; pois, esses removedores tendem a enfraquecer ou destruir a integridade dos selantes (vedadores).

Qualquer abertura pode permitir que o composto de decapagem penetre na aeronave ou em suas cavidades críticas. Os removedores de pintura são tóxicos e contêm ingredientes danosos, tanto à pele quanto aos olhos. Luvas de borracha, aventais de materiais resistentes aos ácidos e óculos de proteção devem ser usados, se qualquer remoção extensiva da pintura for realizada. O que se segue é um procedimento normal para decapagem:

1. Cubra a área inteira a ser tratada com uma cobertura de decapagem na altura de 1/32 a 1/16 de polegada. Qualquer pincel de pintura serve como um aplicador satisfatório, exceto, pelo fato de que parte das suas cerdas serão perdidas pelo efeito do removedor de tinta na sua colagem, além disso, o pincel não deverá ser usado para outros propósitos, após ter sido exposto ao removedor de tinta.
2. Deixe o decapante permanecer na superfície por um intervalo de tempo suficiente para encrespar e levantar a pintura. esse tempo pode variar de 10 minutos a algumas horas, dependendo da temperatura e da unidade, além da condição da pintura a ser removida. Esfregue a superfície com um pincel de cerdas saturadas com removedor de pintura, para remoção da pintura residual que ainda possa ter permanecido aderida ao metal.
3. Reaplique o decapante, como necessário, em área nas quais a tinta permaneceu ainda fixada à superfície ou, onde o decapante secou, repetindo o processo acima. Somente raspadores não metálicos (plástico, madeira, etc) podem ser usados para ajudar na remoção de pinturas de acabamento.
4. Remova a tinta retirada e o decapante residual, lavando e escovando a superfície com água e um pincel ou escova (vassourinha). Se for disponível a pulverização de água sob pressão, use-a diretamente sobre o pincel ou escova, com pressão baixa ou média. Caso esteja disponível um equipamento de limpeza e, a superfície seja suficientemente grande, a limpeza pode ser realizada usando esse equipamento junto com uma solução de composto para limpeza sob pressão. em área pequena, qualquer método pode ser usado, desde que assegure a completa lavagem da área decapada.

CORROSÃO DE METAIS FERROSOS

Um dos tipos mais familiares de corrosão é o óxido de ferro (ferrugem), geralmente o resultado da oxidação atmosférica das superfícies de aço. Certos tipos de óxidos metálicos protegem a superfície do metal base, imediatamente, abaixo dacamada de óxido, mas a ferrugem, absolutamente não é uma cobertura de proteção.

Sua presença, na verdade, suplementa esse ataque na medida em que atrai a umidade do ar e age como um catalizador. Em conseqüência, toda a ferrugem deve ser removida das superfícies de aço, a medida que o controle completo da corrosão é levada a termo.

A ferrugem primeiro aparece na cabeça dos parafusos, porcas fixadas em partes baixas; ou , outra parte estrutural desprotegida da aeronave. Sua presença nessa área não é perigosa e não tem efeitos imediatos na resistência estrutural de quaisquer de seus grandes componentes. Entretanto, é uma indicação da necessidade de manutenção e de um possível ataque corrosivo das principais áreas críticas. É também um detalhe na aparência geral do equipamento. quando ocorre falha na pintura ou um dano (mecânico), superfícies de aço são expostas e submetidas a grandes esforços à atmosfera, mesmo uma quantidade muito pequena de ferrugem, é potencialmente perigosa nessas áreas, e deve ser removida e controlada.

Remoção mecânica da ferrugem

O meio mais prático de controle da corrosão de peças de aço é a completa remoção dos produtos da corrosão, por meios mecânicos, e sua recuperação e proteção através de recobrimentos preventivos contra a corrosão. Exceto em superfícies altamente solicitadas quanto a esforços de aço, o uso de lixas ou compostos abrasivos, pequenos polidores e compostos de polimento, escovas de aço manuais ou palha-de-aço (lã-de-aço), são todos métodos aceitáveis de limpeza.

Entretanto, deve ser reconhecido que no uso de qualquer desses abrasivos, a ferrugem residual permanecerá no fundo das frestas ou dos pequenos buracos causados pela corrosão. É praticamente impossível remover todos os produtos da corrosão somente por métodos de abrasão ou de polimento. como conseqüência, desde que uma parte já tenha sido enferrujada uma vez, ela será corroída depois, mais facilmente.

Tratamento químico das superfícies de aço

Há métodos aprovados para a conversão de ferrugem ativa em fosfatos ou outras coberturas protetoras. O uso de compostos químicos à base de ácido fosfórico é um exemplo de tais tratamentos. Entretanto, esses equipamentos necessitam de instalações especiais em oficinas, e são impraticáveis para serviços externos. Outros compostos comerciais são eficientes conversores de ferrugem, onde não sejam exigidos serviços perfeitos e, onde uma cuidadosa lavagem e neutralização dos ácidos residuais seja possível.

Essas aplicações não são geralmente utilizáveis para aeronaves (mas para suas partes isoladas), posto que sua aplicação pode permitir que haja penetração do composto entre duas partes emendadas de uma montagem, o que é não somente indesejável como perigoso. Esse perigo da infiltração do composto e, as conseqüências de um ataque descontrolado, que possa ocorrer, quando tais produtos são usados em serviços externos (fora da oficina) sobrepassa a qualquer vantagem a ser ganha com seu uso.

Remoção da corrosão das partes e das peças submetidas a esforços elevados

Qualquer indício de corrosão na superfície das partes e das peças de aço, submetidas a esforços elevados, são potencialmente perigosas. Uma cuidadosa remoção dos produtos da corrosão é exigida. Riscos na superfície ou mudança de sua estrutura interna (degeneração da estrutura cristalina), em função de superaquecimento do metal, podem também ser a causa de uma súbita falha dessas peças ou partes.

Produtos da corrosão devem ser removidos cuidadosamente, usando-se lixa fina de óxido de alumínio ou composto de polimento finos, aplicados à politriz. É fundamental que durante o polimento à máquina (politriz), não se permita que, por atrito, a superfície se aqueça demasiadamente. Após a remoção cuidadosa da corrosão superficial, acabamentos com tintas protetoras devem ser aplicados imediatamente.

CORROSÃO DO ALUMÍNIO E DE SUAS LIGAS

Os ataques corrosivos nas superfícies de alumínio são geralmente bastante evidentes, uma vez que os produtos da corrosão são de cor branca e de volume maior que o metal base. Mesmo em seus estágios iniciais, a corrosão do alumínio torna-se evidente como uma mancha, "*pits*" (furinhos cônicos) ou rugosidade na superfície do alumínio.

NOTA: ligas de alumínio comumente formam uma suave oxidação superficial (geralmente de 0,001 a 0,0025 polegada de espessura), o que não é considerado degenerativo, uma vez que essa camada de óxido formada, age como uma forte barreira contra a introdução de elementos corrosivos.

Tal tipo de oxidação não deve ser, confundido com aquela corrosão severa a ser discutida nos próximos parágrafos.

O ataque genérico das superfícies de alumínio penetra relativamente devagar, mas pode ser acelerado na presença de sais dissolvidos. Um ataque considerável pode ter lugar, sem que haja perda considerável da resistência estrutural em andamento. Entretanto, pelo menos três formas de ataque às ligas de alumínio são particularmente sérias: (1) A corrosão tipo "pit" (furinhos cônicos) profunda, através das paredes dos tubos de alumínio. (2) A corrosão sob tensão fraturante, trincando e rachando os materiais submetidos a esforços contínuos; e (3) A corrosão intergranular, característica de ligas de alumínio tratadas termicamente de maneira indevida.

Em geral, a corrosão do alumínio pode ser tratada com mais eficiência do que a corrosão que ocorre em outros materiais estruturais usados em aeronaves. Esse tratamento inclui: a remoção mecânica dos produtos, gerados pela corrosão; e a neutralização e inibição do processo corrosivo, seguida pela restauração da cobertura protetora da superfície.

Tratamento das superfícies de alumínio sem pintura

O alumínio puro tem relativamente mais resistência à corrosão, comparado com as suas ligas, com maior resistência mecânica. Tira-se partido dessa realidade para se laminar uma fina camada de alumínio puro sobre as duas faces de uma chapa, relativamente mais grossa, de uma liga de alumínio com alta resistência mecânica. Esse processo metalúrgico é chamado de "*CLADDING*" ou “*ALCLAD*”. A proteção assim obtida é boa e a superfície pode ser até polida. Quando, porém, da limpeza dessa superfície, cuidados devem ser tomados para evitar o desgaste da parte metálica protetora (alumínio puro), ou sua remoção mecânica, com a conseqüente exposição da liga metálica. Uma seqüência típica para tratamento da corrosão em alumínio é a que se segue:

1. Remova o óleo e a sujeira da superfície com um produto suave de limpeza, antes de limpá-la com um produto abrasivo.
2. Dê início ao polimento das áreas corroídas com abrasivo fino ou polidor de metais. O polidor de metais, usado em superfícies de aeronave de "*ALCLAD*", não deve ser usado em alumínio anodizado, uma vez que esse produto é capaz de remover o filme da proteção por anodização. Ele realmente remove manchas e produz um alto polimento sobre superfícies não pintadas de "*ALCLAD*". Caso a superfície seja difícil de limpar, um composto para limpar, e para lustrar pode ser usado antes do polimento, para reduzir o tempo e o esforço necessário para a obtenção de uma superfície limpa.
3. Trate de qualquer corrosão superficial presente, esfregando-a com material inibidor da corrosão. Um procedimento alternativo é o emprego de solução de dicromato de sódio e de trióxido de cromo. Deixe essa solução permanecer na área corroída por 5 a 20 minutos; depois seque a área com panos limpos.
4. Recubra a superfície polida com graxa à prova d'água.

As superfícies de alumínio, que venham a ser posteriormente pintadas, podem ser submetidas a procedimentos de limpeza mais severos, como também pode ser prestado um tratamento corretivo mais cuidadoso antes da pintura. É usada a seguinte seqüência:

1. Limpe cuidadosamente as superfícies afetadas de todos os resíduos de graxa ou terra, antes de mais nada. Qualquer procedimento geral para limpeza de aeronaves pode ser usado.

2 Caso permaneçam resíduos de partes pintadas, decape a área a ser tratada. Procedimentos para o uso de removedores de pintura e as precauções a serem tomadas, já foram previamente abordadas no capítulo referente à "Limpeza das superfícies e remoção de pintura".

3 Trate a superfície das áreas corroídas com uma solução de ácido crômico e ácido sulfúrico a 10%. Aplique a solução com pincel ou escova. Esfregue a área corroída com uma escova, enquanto ainda estiver úmida. Embora, o ácido crômico seja um bom inibidor para ligas de alumínio e, mesmo que, nem todos os produtos da corrosão tenham sido completamente removidos, é importante que a solução penetre fundo em todas as cavidades ("*pits*"), por baixo de toda a corrosão que possa estar presente. Cuidadosa esfregadela com uma escova de fibra dura deve dissolver ou remover a maior parte da corrosão existente, e assegurar completa penetração do agente inibidor dentro das frestas e cavidades. Permita que o ácido crômico permaneça cinco minutos, pelo menos, no local; então, remova o excesso com jato d'água ou esfregue um tecido úmido. Há diversos compostos químicos comerciais para tratamento de superfícies, semelhantes ao ti-

po descrito anteriormente, os quais também podem ser usados.

4. Seque a superfície tratada e restitua a cobertura de proteção permanente recomendada, conforme sugerido pelos procedimentos estabelecidos pelo fabricante do avião. A restauração de qualquer proteção por pintura deve ser feita, imediatamente, após a realização de tratamento superficial.
   Em qualquer caso, tenha certeza que o tratamento anticorrosivo será realizado ou reaplicado no mesmo dia em que também for programada a pintura de acabamento.

Tratamento de superfícies anodizadas

Conforme previamente estabelecido, a anodização é um tratamento de superfície comum às ligas de alumínio. Quando esta cobertura for danificada em serviço, somente poderá ser parcialmente recuperada por tratamento químico da superfície.

Por essa razão, qualquer reparo em superfície anodizada, que tenha sofrido ataque corrosivo, deve-se evitar a destruição da película de óxido da área que não tenha sido afetada. Evite o uso de palha-de-aço (ou lã-de-aço), escovas de aço ou materiais muito abrasivos.

Lã-de-alumínio, escovas com cerdas de alumínio ou escovas de fibras rígidas são as ferramentas aprovadas para a limpeza de superfícies anodizadas com corrosão.

Deve ser tomado o necessário cuidado, em qualquer processo, para ser evitado o desgaste das películas de proteção em área adjacentes.

Tome todos os cuidados para manter o máximo possível da cobertura de proteção em áreas não afetadas pela corrosão.

Por outro lado, trate as superfícies anodizadas do mesmo modo que outros acabamentos de proteção para o alumínio. O ácido crômico e, outros tratamentos inibidores da corrosão, tendem a recompor a película de óxido (de alumínio) protetora.

Tratamento da corrosão intergranular em superfície de ligas de alumínio tratadas a quente

Como já foi de descrito, a corrosão intergranular é um ataque que ocorre na vizinhança do grão metálico da liga de alumínio, que foi imprópria ou indevidamente tratada a quente, resultando na precipitação de diferentes constituintes após o tratamento térmico. Na sua forma mais grave, realmente acaba ocorrendo separação da camada de metal ou esfoliação. Uma limpeza mais profunda é uma necessidade, quando a corrosão intergranular se faz presente.

A remoção mecânica de todos os produtos da corrosão, bem como das camadas de metal delaminadas, deve ser levada a termo, para determinar a extensão da destruição e para avaliar a resistência estrutural remanescente do componente.

A profundidade da corrosão, bem como os limites possíveis de remoção de material, devem ser estabelecidos para cada aeronave. Qualquer perda de resistência estrutural deve ser avaliada antes do reparo, ou substituição da peça, ou componente.

CORROSÃO DAS LIGAS DE MAGNÉSIO

O magnésio é, dos metais usados na construção aeronáutica, o mais quimicamente ativo; assim sendo, é também o mais difícil de ser protegido.

Quando uma falha na cobertura protetora ocorre, a correção imediata e plena dessa falha é um imperativo para que se evite um sério dano estrutural.

O ataque corrosivo ao magnésio é, provavelmente, o mais fácil tipo de corrosão a ser detetado em seus estágios iniciais, posto que os produtos gerados durante o processo corrosivo, ocupam um volume várias vezes maior que o metal original destruído.

O ataque inicial é mostrado pelo levantamento da pintura (descolamento) e pelo aparecimento de manchas brancas na superfície do metal.

O seu desenvolvimento é rápido, formando produtos como "montículos de neve". Sua proteção envolve a remoção dos produtos da corrosão, a restauração parcial da cobertura de proteção através de tratamento químico; e a reaplicação da cobertura de proteção.

Tratamento de forjados e de perfis conformados a partir de chapas de magnésio

O ataque corrosivo ao revestimento (chapa) de magnésio, geralmente começa pelas bordas desse revestimento, por baixo das arruelas dos rebites ou parafusos de fixação, ou em partes da chapa submetidas a excessiva deformação mecânica causada por cisalhamento (corte por tesoura), furação, abrasão ou impacto. Caso o pedaço da chapa corroída possa ser facilmente removido, isso deve ser feito para assegurar o completo bloqueio do processo corrosivo.

Se houver arruelas de isolamento, seus respectivos parafusos devem ser afrouxados, pelo menos, para permitir a limpeza por escova ou pincel, por baixo dessa arruela.

A remoção completa, por meios mecânicos, dos produtos da corrosão deve ser levada a termo, tanto quanto praticável.

Tal limpeza deve ser limitada a ferramentas não metálicas (plástico, borracha), particularmente se o tratamento for feito na pista (fora do hangar ou oficina). Qualquer resíduo de partículas de aço, oriunda de escovas ou de ferramentas de aço, ou esfregamento excessivo por sujeira abrasiva, podem causar mais problemas que o ataque corrosivo inicial.

O magnésio corroído, geralmente, pode ser tratado da seguinte maneira:

1. Retire a tinta e limpe a área a ser tratada (procedimentos para retirada da pintura estão desenvolvidos no início desse capítulo).
2. Usando uma escova de cerdas curtas e duras, vá espalhando e removendo, simultaneamente, os produtos da corrosão, tanto quanto possível. Escovas de arame de aço, rebolos ou ferramentas de corte (de aço) não devem ser usadas.
3. Trate a área corroída com uma solução generosa de ácido crômico, ao qual foi adicionado uma fração de ácido sulfúrico, esfregando a área onde se concentram as cavidades e rugosidades causadas pela corrosão, enquanto ainda úmida de ácido crômico, sempre usando uma escova não metálica.
4. Deixe o ácido crômico permanecer por 5, até 20 minutos, antes de enxugar o excesso com um tecido suave e limpo. Entretanto, não deixe que o excesso de solução seque e permaneça na superfície, posto que tais depósitos prejudicarão a aderência da pintura posteriormente.
5. Tão logo as superfícies estejam secas, retoque a pintura protetora original.

Tratamento das peças/partes existentes fabricadas com magnésio fundido

Peças de magnésio fundido, em geral, são mais porosas e mais propensas ao ataque corrosivo que os revestimentos de magnésio laminado (ou peças conformadas). Entretanto, para todos os propósitos, o tratamento é o mesmo. Carcaças de motor, balancins, fixações, carenagens diversas e alças são as peças mais comumente fabricadas com magnésio fundido.

Quando o ataque corrosivo incide em uma peça de magnésio fundido, o mais rápido método de tratamento deve ser iniciado; caso se deseje evitar uma corrosão perigosa. Realmente, carcaças de motor submersas em água salgada por uma noite, podem estar completamente comprometidas.

Se isso acontecer, a peça deve ser desmontada e separada, para permitir um bloqueio ao avanço da corrosão, além de prevenir um posterior progresso dessa corrosão. A mesma seqüência de tratamento geral empregada no parágrafo anterior para revestimento (laminado) de magnésio, deve ser seguida em se tratando de peças fundidas.

Caso haja necessidade de uma remoção muito extensa dos produtos da corrosão de peças estruturais, feitas com magnésio fundido; a posição do fabricante, acerca da resistência residual remanescente, será muito importante. Manuais de reparos estruturais específicos, geralmente envolvem limites dimensionais de tolerância para membros críticos de estruturas e devem ser conhecidos, caso qualquer questão sobre segurança esteja envolvida.

TRATAMENTO ANTICORROSIVO DO TITÂNIO E DE SUAS LIGAS

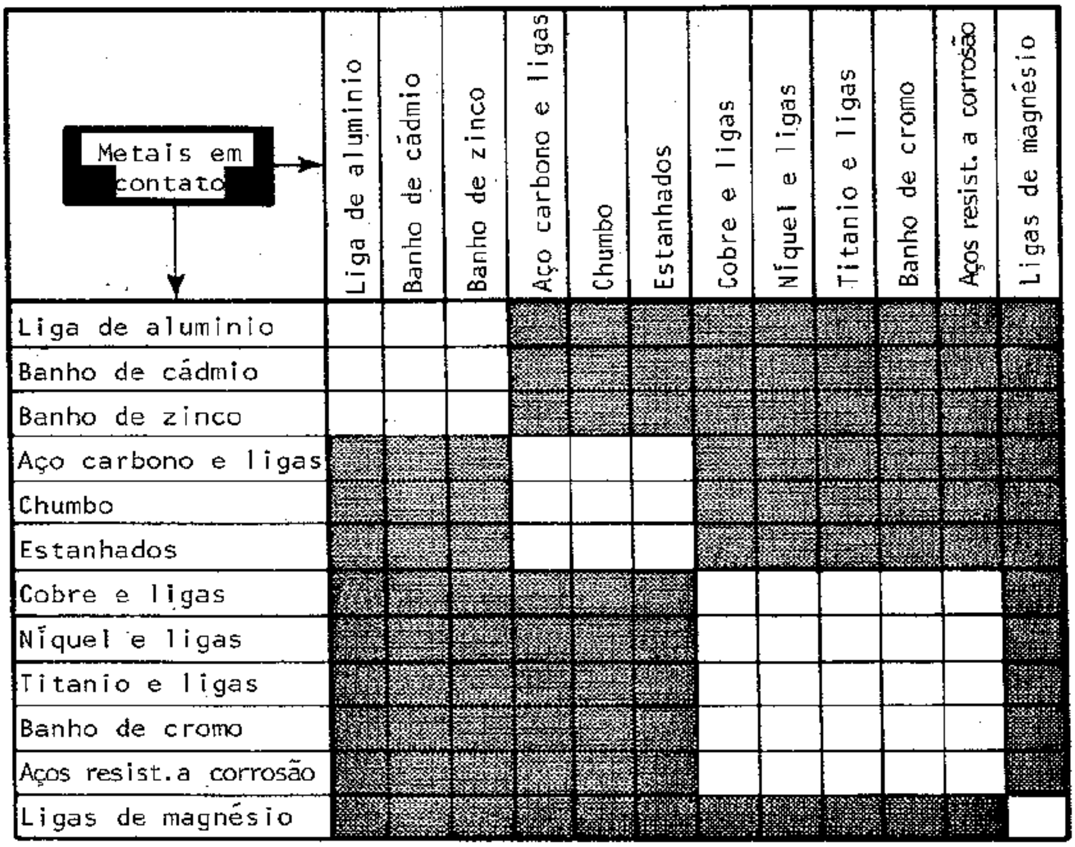
O ataque corrosivo às superfícies de titânio, é, geralmente, difícil de deteção. O titânio, é, por natureza, altamente resistente à corrosão, mas pode apresentar deterioração quando da ocorrência de depósitos de sal e impurezas de metal, particularmente em altas temperaturas. Assim sendo, a utilização de lã-de-aço (palha-de-aço), desencrustadores metálicos, escovas de aço para limpeza ou para a remoção de corrosão dos componentes fabricados em titânio é proibida.

Caso as superfícies de titânio necessitem de limpeza, com polimento manual à base de alumínio (lã-de-alumínio) ou com abrasivo suave somente as escovas de fibra são usadas. Enxugue a superfície tratada com panos secos para remover o excesso de solução, mas não faça lavagem com água.

PROTEÇÃO DO CONTATO ENTRE METAIS DIFERENTES

Certos metais passam a apresentar sinais de corrosão quando colocados em contato com outros metais. É, comumente conhecido como corrosão eletrolítica ou corrosão entre metais diferentes. Contato entre metais diferentes e sem que haja revestimento protetor em um deles (isolante) e, havendo um ambiente úmido (água ou outro fluido condutor), faz com que seja desenvolvida uma ação eletrolítica (como em uma pilha elétrica). Esse contato, geralmente, faz com que um dos metais seja oxidado (o anodo), decompondo-se num processo semelhante à corrosão.

Dependendo dos metais envolvidos, somente o isolamento (pintura, graxa, verniz, etc.) de um ou ambos os metais, evita a corrosão.



Metais em contato	Liga de aluminio	Banho de cádmio	Banho de zinco	Aço carbono e ligas	Chumbo	Estanhados	Cobre e ligas	Níquel e ligas	Titanio e ligas	Banho de cromo	Aços resist. a corrosão	Ligas de magnésio
Liga de aluminio				▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
Banho de cádmio				▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
Banho de zinco				▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
Aço carbono e ligas	▨	▨	▨				▨	▨	▨	▨	▨	▨
Chumbo	▨	▨	▨				▨	▨	▨	▨	▨	▨
Estanhados	▨	▨	▨				▨	▨	▨	▨	▨	▨
Cobre e ligas	▨	▨	▨	▨	▨	▨						▨
Níquel e ligas	▨	▨	▨	▨	▨	▨						▨
Titanio e ligas	▨	▨	▨	▨	▨	▨						▨
Banho de cromo	▨	▨	▨	▨	▨	▨						▨
Aços resist.a corrosão	▨	▨	▨	▨	▨	▨						▨
Ligas de magnésio	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	

Figura 6-60 Contatos de metais diferentes que resultarão em corrosão eletrolítica

Contatos que não envolvem magnésio

Para prevenir ou evitar contatos entre metais diferentes, não sendo nenhum deles o magnésio (ou suas ligas), utiliza-se a cobertura (pintura) de duas camadas de cromato de zinco antes da tinta base normalmente usada. Sua aplicação é feita por pincel ou pulverização e deve-se aguardar seis horas entre cada demão.

Contatos que envolvem o magnésio

Para prevenir ou evitar contatos entre dos metais diferentes, sendo um deles o magnésio (ou suas ligas), cada um deles é isolado da seguinte forma: pelo menos duas camadas de cromato de zinco são aplicadas em cada superfície.

A seguir, uma camada de filme de vinyl, 0,003 polegada, sensível à pressão, é suave, mas firmemente aplicado, para evitar as bolhas de ar e as dobras.

Para evitar um posterior encolhimento, o filme é aplicado sem que seja esticado.

Entretanto, onde a espessura do filme interfere com a montagem das peças ou quando é esperado que a peça trabalhe em temperatura relativamente alta (acima de 250º F), não se usa o filme, mas aplicam-se três camadas de tinta base.

LIMITES DA CORROSÃO

A corrosão, mesmo que suave, é um dano. Assim sendo, o dano causado pela corrosão é classificado, segundo quatro tipos padronizados, tal como qualquer outro dano:

(1) Dano desprezível;
(2) Dano reparável por um remendo;
(3) Dano reparável por um reforço; e
(4) Dano irreparável, necessitando substituição da peça, ou do componente.

O termo "desprezível", como foi usado anteriormente, não quer dizer que pouco ou nada deva ser feito, no sentido de se interromper processo corrosivo ou de se iniciar o reparo. a área corroída deve ser limpa, tratada e pintada como apropriado ao caso. Dano desprezível, geralmente, é a corrosão que tenha riscado ou comido parte da cobertura de proteção e começou a manchar a superfície do metal propriamente dito.

O dano reparável por um remendo extendido ao dano reparável por um reforço, deve ter sua reparação feita conforme o manual de reparo estrutural específico.

Quando, entretanto, o dano exceder aos limites estabelecidos, não sendo possível o reparo, o componente ou a estrutura devem ser substituidos.

MATERIAIS E PROCESSOS USADOS NO CONTROLE DA CORROSÃO

Acabamento do metal

Partes das aeronaves (peças), quase sempre recebem algum tipo de acabamento superficial, dado pelo fabricante. O principal propósito desse acabamento é prover uma resistência à corrosão; entretanto, acabamentos superficiais podem também ser aplicados para aumentar a resistência ao desgastes ou prover uma boa base aderente (primer) para a pintura.

Na maioria dos casos, o acabamento original não pode ser restaurado fora de oficina, devido a dificuldades de utilização do equipamento e de outras limitações. Entretanto, uma boa compreensão sobre os vários tipos de acabamento de metal é necessária, caso deva ser mantido apropriadamente fora da oficina e sejam necessárias técnicas de restauração parcial usadas no controle da corrosão.

Preparação da superfície

Os tratamentos superficiais originais para peças de aço, geralmente, incluem um tratamento de limpeza para remover todos os traços de sujeira, óleo, graxa, óxidos e umidade. É necessário prover uma aderência eficaz, entre a superfície do metal e o acabamento final. O processo de limpeza pode ser, tanto mecânico, quanto químico.

Na limpeza mecânica os seguintes métodos são empregados: escova de aço, palha-de-aço (lã-de-aço), lixa, jato de areia ou jato de vapor.

A limpeza química é preferível em relação à mecânica, uma vez que nada do metal base é removido durante a limpeza. Há vários processos químicos em uso hoje em dia, e o tipo a ser usado vai depender do material a ser limpo, bem como do tipo de matéria estranha a ser removida.

As peças de aço são decapadas para remover crostas, ferrugem ou outros materiais, antes do recobrimento. A solução decapante pode ser tanto o ácido muriático ou ácido sulfúrico.

Considerando-se o custo, o ácido sulfúrico é preferível, sendo porém o ácido muriático mais eficiente para certos tipos de crostas.

A solução decapante é colocada num tanque de cerâmica e, geralmente, é aquecida por resistência elétrica. As peças que não serão submetidas a processos galvânicos, após a decapagem, são imersas em banho de água de cal (alcalino) para neutralizar o ácido da solução decapante.

Eletrolimpeza é um outro tipo de limpeza química usada para remover graxa, óleo ou materiais orgânicos. Nesse processo de limpeza, o metal é posto em suspensão (pó), numa solução alcalina quente, contendo agentes especiais de limpeza, inibidores e materiais, tais que garantam a devida condutividade elétrica. Uma corrente elétrica é, então, passada através da solução de forma similar àquela usada em eletrodeposição metálica.

Peças de alumínio e de magnésio são também limpas usando os métodos já descritos. A limpeza por jateamento (areia, esferas de vidro, até mesmo cereais) não é utilizável para chapas finas de alumínio, especialmente as de "*alclad*". Menos ainda se forem esferas ou limalha de aço, em se tratando de alumínio ou outro metal resistente à corrosão.

O polimento e o tingimento das superfícies metálicas exercem um papel muito importante no acabamento. As operações de polimento são, algumas vezes usadas para preparar a superfície antes de submetê-la a uma eletrodeposição.

Eletrodeposição (galvanoplastia)

A eletrodeposição é o processo de transferência de metal de um objeto para outro, por meios químicos e elétricos. Várias são as razões para se fazer eletrodeposição ou galvanoplastia:

1. Para proteger o metal base (metal a ser recoberto) contra a corrosão. Alguns dos metais mais usados para a formação da cobertura protetora sobre outro metal, por ação eletrolítica, são: estanho, zinco, níquel e cádmio.
2. Para proteger o metal base contra o desgaste, causado por abrasão ou esfregamento. A cromação (ou cromagem) é muito usada como resistência ao desgaste. A niquelagem também pode ser usada com este propósito.
3. Para produzir e conservar uma boa aparência (cor ou lustro), assim como aumentar a resistência ao embaçamento. Recobrimento com ouro, níquel ou cromo, pode ser usado nesse caso.
4. Para proteger o metal base contra alguma reação química especial; por exemplo, recobrimento por cobre é algumas vezes usado para prevenir que certas partes de alguns componentes fabricados em aço, as quais não se deseja que absorvam carbono durante o processo de revenimento a que o componente como um todo será submetido, o façam.
5. Para aumentar as dimensões de uma peça. Este processo, conhecido como enchimento ("*build up*"), pode ser aplicado a peças acidentalmente usinadas abaixo da medida especificada.
6. Para servir como base para posteriores operações de recobrimento eletroquímico (galvanoplastia), reduzir custos de polimento e assegurar brilho a posteriores deposições de níquel e níquel/cromo. O cobre é comumente usado com esse objetivo.

Todos os processos de eletrodeposição são basicamente idênticos. O equipamento a ser usado consiste de um tanque ou banho, contendo uma solução líquida chamada de eletrólito, uma fonte de corrente contínua e um painel de controle.

Quando a corrente atravessa um circuito, o material a ser depositado (o metal de recobrimento) sai do eletrodo positivo (pólo positivo) ou anodo. A peça sobre a qual se fará a eletrodeposição é o eletrodo negativo (pólo negativo) ou cátodo.

A fonte de corrente contínua, o anodo, o cátado e o eletrólito formam o circuito elétrico de recobrimento ou galvânico, que fazem com que minúsculas partículas (íons) do material de cobertura sejam depositadas na superfície da peça a ser recoberta.

O processo é mantido até que o recobrimento atinja a espessura pré-estabelecida. Tanto o eletrólito, quanto o anodo, o cátodo e a corrente do circuito vão variar com o tipo de material de recobrimento que estiver sendo usado.

Algumas operações de recobrimento não usam anodos do metal de cobertura; mas, obtém esse metal do próprio eletrólito (que vai ficando obviamente mais diluído). Recobrimento com cromo (cromagem ou cromação) é um exemplo desse tipo de recobrimento. Anodos de chumbo, ao invés de anodos de cromo (estes não são satisfatórios), são usados para fechar o circuito elétrico. O cromo metálico para o recobrimento sai do ácido crômico do banho (eletrólito).

Metalização por pulverização

A metalização por pulverização ("metal spraying") é a aplicação de metal fundido sobre uma superfície (base) sólida, por aspersão (borrifamento).

É possível aspergir (borrifar) alumínio, cádmio, cobre, níquel, aço ou qualquer do vários metais usados no processo. Na indústria aeronáutica, o processo normalmente usado, é a cobertura de aço por alumínio para melhorar sua resistência à corrosão.

O metal da base deve ser preparado (normalmente por jato de areia) e perfeitamente limpo, tal que o metal líquido aspergido adquira perfeita aderência a esse metal base.

O equipamento de aspersão (borrifamento) do metal líquido consiste de um suprimento de oxigênio e de acetileno, conduzido por tubos para uma pistola de pulverização. Essa mistura de gases, é então, posta a queimar (por faísca), transformando essa pistola em maçarico. Ar comprimido é insuflado através da pistola, acionando simultaneamente um arame de solda em direção à pistola de pulverização. O arame funde-se com o calor da chama oxiacetilênico e é aspergido pelo ar comprimido contra a superfície a ser metalizada.

TRATAMENTOS QUÍMICOS

"Parco Lubrizing"

"*Parco Lubrizing*" é um tratamento químico para componentes de aço e ferro, o qual induz ao surgimento, na superfície do metal, de uma cobertura à base de fosfato, não-metálico e absorvente de óleo. É projetado, inicialmente, para reduzir o desgaste nas peças móveis.

O processo é uma modificação do "*Parkerizing*" e consiste de um tratamento de pré-limpeza, no qual o vapor desengraxante, a solução ácida de decapagem ou o "*spray*" de emulsão são usados, seguindo-se uma submersão por 15 minutos em uma solução (em água) com 10% (em volume) de "*Parco Lubrite*" (marca comercial). Posteriormente, há uma lavagem e enxagüe com água e, nova submersão em óleo solúvel (em água). O fosfato depositado anteriormente na superfície retira o óleo da solução, retendo-o.

Anodização

A anodização é o mais comum dos tratamentos das superfícies, das peças feitas de ligas de alumínio, que não sejam "cladeadas" (feitas de "*alclad*"). Basicamente, a chapa ou peça forjada (ou fundida) de liga de alumínio é fixada ao pólo positivo de um banho eletrolítico, onde a solução ou banho é composto de ácido crômico (ou outro agente oxidante), o que induz a deposição de uma cobertura de óxido de alúminio sobre a superfície do metal. O óxido de alumínio é naturalmente o seu protetor (da superfície do alumínio), e o processo de anodização tão somente aumenta a espessura e a densidade dessa cobertura natural.

Quando essa cobertura é danificada em serviço, ela pode ser, somente em parte, restaurada por tratamentos químicos da superfície.

Assim sendo, qualquer serviço envolvendo superfícies que foram anodizadas, inclusive remoção de corrosão, deve evitar a destruição desnecessária da cobertura de óxido.

A cobertura deixada pelo processo de anodização revela-se como excelente resistência à corrosão. Porém, essa cobertura é macia e muito fácil de ser raspada (ou arranhada), devendo ser tratada com muito cuidado antes da aplicação da tinta base.

Lã de alumínio e esponja de nylon impregnadas com abrasivo a base de óxido de alumínio ou, escovas com cerdas duras, são aprovadas para a limpeza de superfícies anodizadas. O uso de lã-de-aço, escovas de aço ou material abrasivo áspero em qualquer superfície de alumínio não é permitido; assim como, realizar um acabamento com polidor ou escova de cerdas de arame, também não é permitido. Afora isso, as superfícies anodizadas, podem ser tratadas do mesmo modo que os outros acabamentos dados às superfícies de alumínio em geral.

Complementarmente às suas qualidades de resistir à corrosão, o recobrimento anódico (anodização) é uma excelente base ("*primer*") para a pintura. Na maioria dos casos, inclusive, as superfícies são pintadas (com "*primer*"e acabamento) tão logo ficam prontas no processo de anodização.

A cobertura anódica é um mau condutor elétrico. Assim sendo, caso o componente necessite aterramento ou outro tipo de condutividade elétrica, há necessidade de remoção da camada anodizada no ponto de ligação à fiação.

Superfícies de "*alclad*", que permanecerão sem pintura, não precisam passar por tratamento anódico; entretanto, se houver intenção de pintá-las, deverão ser anodizadas a fim de se garantir uma boa aderência à tinta.

Alodização

A alodização é um tratamento químico simples para todas as ligas de alumínio, para aumentar a resistência à corrosão e melhorar a aderência da pintura. Por causa da sua simplicidade, está substituindo rapidamente a anodização no reparo de aeronaves.

O processo consiste em uma pré-limpeza, com removedor ácido ou alcalino, aplicado por pulverização ou imersão da peça, que após, é enxaguada com jato d'água por 10 a 15 segundos.

Após certificar-se que a peça foi cuidadosamente enxagüada, “alodine” é aplicado por pulverização, pincelamento ou imersão. Uma cobertura fina, mas resistente, aparece com uma coloração levemente azul esverdeada, com fraca iridescência (coloração tipo arco-íris, como se fosse gasolina/óleo sobre água), em ligas praticamente sem cobre, até um verde oliva em ligas ricas em cobre.

A peça é, então, lavada com água limpa, fria ou quente, por um período de 15 a 30 segundos. Após, passa por um banho de "*DEOXYLYTE*". isso objetiva neutralizar o material alcalino existente, convertendo a superfície de alumínio alodizado para uma situação de ligeira acidez, após a secagem.

Tratamento químico da superfície e inibidores

Como já foi comentado, as ligas de alumínio e de magnésio são protegidas, originalmente, por uma variedade de tratamentos superficiais.

O aço deve ser submetido ao processo “*PARCO LUBRIZING*” ou ser oxidado de outra forma durante a fabricação.

A maioria dessas coberturas de proteção somente podem ser restauradas através de processos completamente impraticáveis fora da oficina. Entretanto, área corroídas, onde a cobertura de proteção tenha sido destruída, requerem algum tipo de tratamento antes do acabamento.

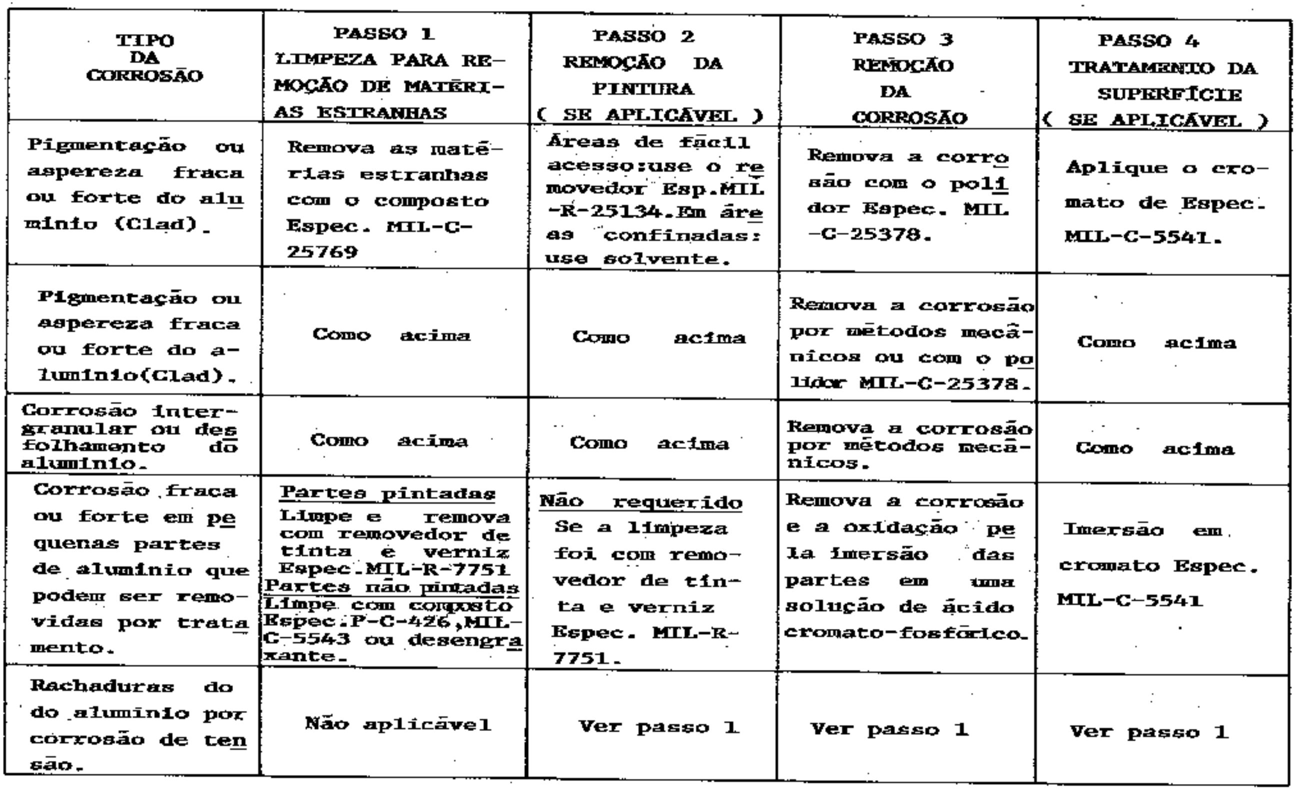
Os materiais inibidores a seguir, são particularmente eficazes para tratamento do alumínio fora da oficina, são benéficos para as partes de magnésio expostas e, têm algum valor, até mesmo, para partes de ferro ou aço expostas.

As etiquetas nas embalagens dos produtos químicos para tratamento superficial, informam se o material a ser usado é tóxico ou inflamável.

Entretanto, a etiqueta deve ser bastante grande para acomodar uma lista de todos os possíveis danos que podem acontecer, caso esses materiais venham a ser misturados a substâncias incompatíveis.

Por exemplo: alguns produtos químicos usados em tratamento superficial, podem reagir violentamente, caso inadvertidamente seja misturado com diluídor de pintura ("*thinner*").

Produtos químicos para tratamento superficial devem ser manuseados com extremo cuidado e misturados exatamente de acordo com as instruções.



TIPO DA CORROSÃO	PASSO 1 LIMPEZA PARA REMOÇÃO DE MATÉRIAS ESTRANHAS	PASSO 2 REMOÇÃO DA PINTURA (SE APLICÁVEL)	PASSO 3 REMOÇÃO DA CORROSÃO	PASSO 4 TRATAMENTO DA SUPERFÍCIE (SE APLICÁVEL)
Pigmentação ou aspereza fraca ou forte do aluminio (Clad).	Remova as matérias estranhas com o composto Espec. MIL-C-25769	Áreas de fácil acesso:use o removedor Esp.MIL-R-25134.Em áreas confinadas: use solvente.	Remova a corrosão com o polidor Espec. MIL-C-25378.	Aplique o cromato de Espec. MIL-C-5541.
Pigmentação ou aspereza fraca ou forte do aluminio(Clad).	Como acima	Como acima	Remova a corrosão por métodos mecânicos ou com o polidor MIL-C-25378.	Como acima
Corrosão intergranular ou desfolhamento do aluminio.	Como acima	Como acima	Remova a corrosão por métodos mecânicos.	Como acima
Corrosão fraca ou forte em pequenas partes de aluminio que podem ser removidas por tratamento.	Partes pintadas Limpe e remova com removedor de tinta e verniz Espec.MIL-R-7751 Partes não pintadas Limpe com composto Espec.P-C-426,MIL-C-5543 ou desengraxante.	Não requerido Se a limpeza foi com removedor de tinta e verniz Espec. MIL-R-7751.	Remova a corrosão e a oxidação pela imersão das partes em uma solução de ácido cromato-fosfórico.	Imersão em cromato Espec. MIL-C-5541
Rachaduras do do aluminio por corrosão de tensão.	Não aplicável	Ver passo 1	Ver passo 1	Ver passo 1

Figura 6-61 Procedimentos típicos de remoção e tratamento da corrosão em ligas de alumínio.

Inibidor - ácido crômico

Uma solução a 10% (em massa) de ácido crônico, ativada por uma pequena quantidade de ácido sulfúrico é particularmente eficaz no tratamento de superfícies expostas (corroídas) de alumínio. Pode também ser usada para tratar magnésio corroído.

Este tratamento tende a restaurar a cobertura de óxido protetor na superfície do metal. Tal tratamento deve ser seguido por um acabamento a base de pintura (tinta) normal, tão logo quanto possível, e nunca no dia seguinte, após o tratamento com ácido crômico. Trióxido de cromo em flocos é um agente oxidante enérgico e um ácido relativamente forte. Deve ser guardado separado de produtos combustíveis, como solventes orgânicos. Panos usados na limpeza ou manuseio de ácido crônico, devem ser cuidadosamente lavados após o seu uso; ou, jogados fora.

Solução de dicromato de sódio

Uma mistura menos ativa de produtos químicos para tratamento de superfícies de alumínio é a solução de dicromato de sódio com ácido crômico. Soluções com essa mistura são menos agressivas que soluções de ácido crômico.

Tratamento químico de superfícies

Diversas misturas comerciais, baseadas no ácido crômico ativado, estão disponíveis sob a especificação MIL-C-5541 para tratamento fora da oficina de superfícies de alumínio, corroídas ou danificadas. Precauções devem ser tomadas para se ter certeza de que os panos ou esponjas usadas sejam, cuidadosamente, lavados e enxagüados, a fim de que seja evitado um possível perigo de fogo após a secagem (veja a Figura6-61)

ACABAMENTO COM TINTAS PROTETORAS

Um acabamento bem feito com tinta protetora é a mais eficiente barreira entre a superfície do metal e o meio corrosivo. Os três tipos de acabamento por pintura, com tinta protetora mais comuns, são a base de: nitrocelulose, nitrocelulose acrílica e epoxy. Complementarmente, pigmentos fluorescente de alta visibilidade podem ser usados, combinados com os tipos de acabamento acima. Podem também ser usadas, coberturas resistentes à chuva e à erosão, nos bordos de ataque metálicos, bem como vários tipos de acabamento com verniz, alguns curados a quente, nas carcaças dos motores e nas rodas.

LIMPEZA DA AERONAVE

Limpar uma aeronave e mantê-la limpa é extremamente importante. Uma fixação de trem de pouso trincada, coberta com lama e graxa pode facilmente ficar encoberta. A sujeira pode acobertar trincas no revestimento. Poeira e areia causam desgaste excessivo nas dobradiças (flapes, ailerons) e em outras peças móveis. Uma camada de pó que permaneça sobre o revestimento da aeronave prejudica o desempenho aerodinâmico, além de adicionar um peso a mais.

Sujeira e dejetos sendo revolvidos pelo vento em torno da aeronave são incômodos e perigosos. Pequenos pedaços de sujeira soprados para dentro dos olhos do piloto em uma situação criítica do vôo, podem dar origem a um acidente.

O recobrimento das peças móveis por uma camada de sujeira, misturada à graxa, age como um composto abrasivo que causa um desgaste excessivo. Água salgada produz um efeito corrosivo muito danoso nas partes metálicas expostas da aeronave e, assim sendo, deve ser lavada imediatamente.

Há vários tipos de agentes de limpeza aprovados para serem usados na limpeza da aeronave. Entretanto, não cabe uma discussão específica sobre cada um deles, posto que o uso de cada um deles depende de vários fatores, como o tipo de material (sujeira) a ser removido, o tipo de acabamento da superfície da aeronave, bem como se a limpeza é interna ou externa.

Em geral, os tipos de agentes de limpeza, usados nas aeronaves são solventes, emulsões de limpeza, sabões e detergentes sintéticos. Cada uso deve estar em conformidade com o manual de manutenção aplicável. Os tipos de agentes de limpeza, anteriormente mencionados, são também classificados como sendo suaves ou para serviços pesados. Sabões e detergentes sintéticos são indicados para limpezas suaves, enquanto, solventes e emulsões de limpeza são indicados para serviços pesados. Não obstante, sempre que possível devem ser usados os produtos de limpeza indicados para serviços suaves, por não serem nem inflamáveis nem tóxicos.

Limpeza exterior

Há três métodos de limpeza exterior em aeronaves:

(1) Lavagem úmida
(2) Lavagem seca
(3) Polimento

O polimento pode ser dividido em polimento manual ou polimento mecânico. O tipo e a extensão da sujeira, bem como a aparência final desejada, é que determinarão o método a ser usado.

A lavagem úmida vai remover o óleo, a graxa ou os depósitos de carvão, assim como a maior parte das sujeiras, com excessão da corrosão e das coberturas por óxidos. Os compostos de limpeza usados são, geralmente, aplicados por pulverização, por jato ou esfregão, após os que são removidos por jato de alta pressão. Produtos de limpeza alcalinos ou por emulsão podem ser usados pelo método de lavagem úmida.

Lavagem a seco é usada para remover poeira, ou pequeno acúmulo de sujeira e terra, quando o uso de líquidos não é, nem desejável nem prático. Este método não é conveniente para a remoção de depósito espessos de carvão, graxa ou óleo, especialmente nas áreas de escapamento do motor.

Produtos empregados em lavagem a seco são aplicados com pulverizador, escovão ou pano, e são removidos também por escovamento ou por panos limpos e secos.

O polimento devolve o brilho às superfícies pintadas ou sem pintura da aeronave e é, geralmente, realizado após a superfície ter sido limpa. O polimento é também usado para remover a oxidação e a corrosão. Produtos usados no polimento estão disponíveis em várias formas ou graus de abrasão. É importante que as instruções do fabricante do avião sejam usadas em aplicações específicas.

A lavagem de uma aeronave deve ser feita à sombra, sempre que possível; posto que os compostos de limpeza tendem a manchar a superfície se a mesma estiver quente, especialmente, se esses compostos secarem sobre essa superfície. Não se deve esquecer de tampar todas as aberturas pelas quais a água ou os agentes de limpeza possam penetrar e causar danos.

Várias partes da aeronave, como a carenagem do radar (em geral de plástico reforçado), bem como a parte adiante da cabine de comando, que são recobertas com uma pintura inerte (que não causa interferência no radar ou nos equipamentos de navegação), não devem ser limpas, além do necessário, e não devem nunca ser esfregados com escovas de cerdas duras ou com um trapo grosseiro. Uma esponja suave, ou gaze de algodão, com o mínimo esfregamento manual é o desejável.

Qualquer mancha de óleo ou sujeira do escapamento na superfície, deve ser antes removida com um solvente como o querosene ou outro solvente similar à base de petróleo. As superfícies devem ser imediatamente lavadas e enxagüadas após a limpeza, de forma a ser evitada a secagem dos produtos de limpeza sobre essas superfícies.

Antes de aplicar sabão e água em superfícies de plástico, lave esta superfície com água limpa, para dissolver depósitos de sal, e limpar as partículas de poeira. Superfícies de plástico devem ser lavadas com água e sabão, preferencialmente à mão.

Enxágüe com água limpa e seque com camurça ou algodão hidrófilo. Considerando a fragilidade da superfície do plástico, esta não deve ser esfregada com pano seco, não só pelos riscos e demais danos que podem ser causados, mas principalmente pela eletricidade estática, que surte dessa ação e que atrai partículas de sujeira justamente para essa superfície. A carga elétrica (eletrostática), assim como a poeira aderida, pode ser removida ou evitada, se forem dadas umas pancadinhas suaves; ou, abanadas com uma camurça, limpa e macia.

Em nenhuma hipótese use jato de pó abrasivo ou outro material que possa comprometer o acabamento. Remova óleo e graxa esfregando suavemente com um tecido umedecido com água e sabão. Nunca use acetona, benzina, tetracloreto de carbono, diluidor de tinta ("*thinner*"), limpa-vidros em "*spray*", gasolina, extintor de fogo ou fluido para degelar, posto que esses produtos, via de regra, afetam o plástico, quimicamente, e causam fissuras.

Óleo da superfície, fluido hidráulico, graxa ou combustível podem ser removidos dos pneus das aeronaves, lavando-os com uma solução de sabão com água (não muito forte).

Após a limpeza, lubrifique com graxa os fixadores, encaixes, dobradiças, etc., onde se suspeita que o lubrificante original tenha sido removido pela lavagem da aeronave.

LIMPEZA DO INTERIOR DA AERONAVE

Manter a aeronave limpa por dentro é tão importante quanto mantê-la limpa por fora. A corrosão pode se estabelecer dentro de uma aeronave de forma mais grave que pela superfície externa, porque dentro da aeronave há mais áreas de acesso difícil, para limpeza. Porcas, parafusos, pontas de fio ou outros objetos metálicos, displicentemente ativados e esquecidos, mais a unidade (como eletrólito), agindo sobre a superfície de um metal diferente, podem causar corrosão eletrolítica.

Quando estiver sendo realizado um serviço na estrutura interna de uma aeronave, devem ser removidos os cavacos e toda a limalha deixada, tão rápido quanto possível. Para tornar a limpeza mais fácil e para prevenir que partículas de metal (cavacos) e limalha penetrem em áreas inacessíveis da aeronave, um tecido felpudo (como estopa, flanela, etc.) pode ser usado embaixo da área onde está sendo realizado o serviço, a fim de ir pegando os cavacos e a limalha à medida que estes são produzidos.

Um aspirador de pó pode ser usado para retirar poeira e sujeira do interior da cabine de comando, e do interior da aeronave (cabine dos passageiros, porões de carga, etc.)

A limpeza do interior das aeronaves apresenta certos problemas durante a sua execução. O requisito básico para o entendimento desses problemas é o fato de que os compartimentos da aeronave são pequenos em termos de cubagem. Esse fato representa a possibilidade de pouca ventilação desses compartimentos e, com isso, a formação de misturas perigosas de vapores inflamáveis com ar, onde tenham sido usados solventes ou outros agentes de limpeza inflamáveis. Caso exista a possibilidade do surgimento de uma fonte de ignição, quer sob a forma de uma falha elétrica, eletricidade estática, atrito entre materiais que produzam faíscas dessa forma, quer sob a forma de qualquer tipo de ignitor, o perigo torna-se maior.

Consequentemente, sempre que possível, agentes de limpeza não inflamáveis devem ser usados nessa operação para reduzir ao mínimo o tipo perigo (de fogo ou explosão).

Tipos de operações de limpeza

As principais áreas da aeronave que necessitam de limpeza periódica, são:

1. **Área da cabine dos passageiros** - assentos, carpetes, painéis laterais, encosto de cabeça, bagageiros superiores, cortinas, cinzeiros, janelas, painéis biombos de plástico ou madeira.

2. **Áreas da cabine de comando** - os mesmos materiais encontrados na cabine de passageiros, e mais o painel de instrumentos, pedestal das manetas, parabrisas, revestimento do piso, superfícies metálicas dos instrumentos e equipamentos de controle do vôo, cabos elétricos e contatos, etc.

3. **Banheiro e cozinha** - os mesmos materiais, como aqueles encontrados na cabine dos passageiros, mais os materiais dos banheiros, com seus acessórios, lixeiras, gabinetes, lavatórios, sanitários, espelhos, formas de aquecimento, etc.

Solventes e agentes não inflamáveis para limpeza da cabine

1. **Detergentes e sabões**. Há amplo espectro de aplicação para a maioria das operações de limpeza, envolvendo tecidos, encosto de cabeça, tapetes, janelas e superfícies similares, que não são suscetíveis a dano quando molhadas, desde que não encolham e nem percam a cor. Cuidados devem ser tomados para que não sejam retirados os sais que foram usados nos produtos empregados, para retardar a propagação das chamas, e que podem ser solúveis em água. A remoção de tais sais pode alterar as características de retardamento da propagação das chamas.
2. **Produtos alcalinos de limpeza**. Muitos desses agentes são solúveis em água e, dessa forma, não tem perigo de causarem incêndio. Podem ser usados em tecidos, encostos de cabeça, tapetes e superfícies semelhantes, do mesmo modo, que sabões e detergentes, considerando porém as características cáus-

ticas dos produtos, que se por um lado aumentam sua eficiência, por outro tem um maior efeito de deterioração sobre tecidos e plásticos.

3. **Soluções ácidas** - São normalmente soluções ácidas leves destinadas a remoção de fuligem (de carbono) ou manchas de produtos corrosivos (alcalinos). Sendo soluções aquosas, não iniciam a combustão, mas exigem uma utilização judiciosa, não só para prevenir danos aos tecidos, plásticos e outras superfícies, como também à pele e as vestimentas dos aplicadores dos produtos.
4. **Desodorantes e desinfetantes** - Um considerável número de produtos utilizados na desinfecção e desodorização das cabines das aeronaves não são inflamáveis. Muitos deles são projetados para serem aplicados por pulverização (tipo aerossol) e tem um propelente não inflamável, mas é bom sempre verificar cuidadosamente esse detalhe.
5. **Abrasivos** - Alguns abrasivos (pasta para polir) são disponíveis para polir superfícies, pintadas ou desnudas. Cuidados devem ser tomados verificando se há ou não compostos (solventes) inflamáveis na mistura (a menos que sejam simplesmente pós).
6. **Produtos de limpeza a seco** - Percloroetileno e Tricloroetileno usados a temperaturas ambientes são exemplos de produtos de limpeza não inflamáveis para uso a seco. Estes produtos realmente têm um nível de toxidade perigoso e seu uso exige cuidados especiais. Materiais tratados com retardadores de propagação de chamas podem ter suas características afetadas com a aplicação desses produtos, tal como os produtos solúveis em água.

Produtos combustíveis e inflamáveis

1. **Solventes com alto ponto de fulgor** - Produtos derivados do petróleo, especialmente refinados, inicialmente desenvolvidos como "Solventes *Stoddard*", hoje em dia comercializado por várias companhias com diferentes designações comerciais, tem características de solvente, como a gasolina, mas com o mesmo risco de incêndio do querosene (desde que não seja aquecido).

   Muitos deles são produtos estáveis que têm ponto de fulgor entre 40º C e 60º C (100º F e 140º F), com relativamente baixo grau de toxidade.
2. **Solventes com baixo ponto de fulgor** - Líquidos inflamáveis classe I (ponto de fulgor abaixo de 40º C (100º F), não devem ser usados para limpeza ou renovação. Os produtos mais conhecidos dessa categoria são: acetona, gasolina de aviação, metil etil cetona, nafta e toluol.

   Nos casos onde é necessário o uso de líquidos inflamáveis, deve-se preferir aqueles com alto ponto de fulgor. Ponto de fulgor de, 40º C (100º F), ou mais.
3. **Líquidos misturados** - Alguns solventes comerciais são misturas de líquidos com diferentes taxas de evaporação, tal como uma mistura de nafta com material clorado.

   As diferentes taxas de evaporação podem apresentar problemas de toxidade e perigo de fogo, e tais misturas, não devem ser usadas, a menos que, sejam guardadas e manuseadas com pleno conhecimento desses perigos e que as devidas precauções sejam tomadas.

Embalagens

Os líquidos inflamáveis deverão ser manuseados somente em embalagens aprovadas e devidamente rotuladas.

Precauções para a prevenção de fogo

Durante a limpeza ou remoção (substituição de partes do carpete, tecidos, revestimentos muito usados), onde líquidos inflamáveis forem usados, os seguintes procedimentos de segurança são recomendados.

1. O interior das aeronaves deve estar suficientemente ventilado para prevenir a acumulação de vapor no seu interior. Com esse propósito, todas as portas e demais aberturas do interior da aeronave devem ser mantidas abertas para que se tire partido da ventilação natural. Entretanto, onde a ventilação natural for insuficiente, meios mecânicos aprovados (ventiladores ou ventoinhas) devem estar disponíveis para serem usados. A acumulação de vapores inflamáveis, acima de 25%, do limite inferior de inflamabilidade de específico vapor (de um material que esteja sendo usado), medido em um ponto a cinco

pés (um metro e meio aproximadamente) do local em que esteja sendo usado, deve resultar numa revisão dos procedimentos de emergência para a situação.

2. Todos os equipamentos ou aparelhos que possam ser utilizados, e que em operação produzem chamas ou faíscas, devem ser retirados, ou evitada sua operação, durante o período em que vapores inflamáveis possam existir.
3. Equipamentos elétricos, portáteis ou manuais, utilizados no interior da aeronave devem ser do tipo aprovado, ou enquadrados no Código Americano de Eletricidade, na classe I, grupo D, Localizações Perigosas.
4. Ligações elétricas para equipamentos a serem utilizados na aeronave, assim como os próprios equipamentos inerentes a aeronave, não devem ser conectados, ligados ou desligados durante as operações de limpeza.
5. Sinais de alarme convenientes devem ser colocados, em lugares proeminentes das portas da aeronave, para indicar que líquidos inflamáveis estão sendo ou vão ser utilizados nas operações de limpeza ou renovação (de materiais do revestimento interno desgastados) em andamento.

Recomendações de proteção contra o fogo

Durante as operações de limpeza ou renovação da aeronave, onde líquidos inflamáveis são utilizados, as seguintes orientações gerais de proteção contra o fogo são recomendadas:

1. Aeronaves sendo submetidas a operações de limpeza ou renovação devem ser, preferencialmente, localizadas fora do hangar, desde que as condições meteorológicas o permitam. Esse procedimento também facilita uma melhor aeração da aeronave (ventilação natural), da mesma forma que assegura um mais rápido acesso na eventualidade de fogo a bordo.
2. Recomenda-se que, durante tais operações de limpeza ou renovação em uma aeronave, fora do hangar, extintores de incêndio portáteis e apropriados (especificação americana 20-B) devem estar disponíveis nas entradas da aeronave, além disso, mangueiras de água com bicos de pulverização, com comprimento suficiente para alcançar o interior da aeronave, devem também estar disponíveis e serem capazes de controlar qualquer incêndio, pelo menos até que chegue a equipe contra-incêndio (bombeiros) do aeroporto (da INFRAERO, no caso brasileiro).

OBSERVAÇÃO 1: Extintores de emprego geral (pó químico) devem ser evitados onde a corrosão do alumínio venha a se constituir em um problema.

OBSERVAÇÃO 2: Equipamentos de deteção e combate a incêndio tem sido desenvolvidos, testados e instalados para garantir proteção à aeronave durante sua construção ou sua manutenção. Os operadores estão analisando a possibilidade de utilização de tais equipamentos durante as operações de limpeza e renovação do interior da aeronave.

OBSERVAÇÃO 3: Aeronaves sendo submetidas a operações de limpeza ou renovação, onde o serviço só possa ser realizado dentro do hangar, deve contar com equipamento automático de proteção contra o fogo (chuveiros dentro do hangar).

LIMPEZA DOS MOTORES

A limpeza dos motores é uma atividade importante e deve ser feita cuidadosamente. O acúmulo de graxa e sujeira nas aletas dos motores refrigerados a ar, age como um isolante térmico, impedindo a efetiva refrigeração pelo ar que flui sobre o motor. Esse acúmulo, pode mascarar trincas ou outras falhas porventura existentes.

Quando se for limpar um motor, antes retira-se a sua carenagem aerodinâmica. Começando pela parte superior, o motor é lavado, por pulverização, com solvente ou querosene. Uma escova ou pincel de cerdas duras pode ser usado como auxílio para a limpeza de algumas superfícies.

Sabão e água limpa, além de solventes aprovados, podem ser usados para limpeza de hélices ou pás de rotor. A menos que seja um processo de marcação (gravação ou decapagem), material cáustico não deve ser usado em uma hélice. Raspadores, politrizes, escovas-de-aço ou qualquer ferramenta ou substância que possam danificar ou arranhar superfícies não devem ser usados nas pás das hélices, exceto quando tal for recomendado para reparo.

Pulverização de água, chuva ou algum material abrasivo choca-se com uma hélice em movimento com tal força que pequenos orifícios se formam nos bordos de ataque de suas pás. Se medidas preventivas não forem tomadas, a corrosão tende a aumentar rapidamente o tamanho desses orifícios. E esses orifícios podem se tornar tão grandes que seja necessário que as pás tenham seus bordos de ataque limados até se tornarem lisos novamente.

As pás de hélice feitas de aço são mais resistentes à abrasão e à corrosão que aquelas de liga de alumínio. Se elas forem untadas com óleo após cada vôo, conservarão sua superfície lisa por mais tempo.

As hélices devem ser examinadas regularmente, uma vez que trincas, nas pás de hélice de aço ou liga de alumínio, podem vir a ser enchidas com óleo, o qual tende a se oxidar. Isto pode ser facilmente verificado quando a pá é inspecionada. Esfregando a superfície com óleo, atinge-se um objetivo de segurança, uma vez que as trincas ficam mais evidentes.

Cubos de hélices devem ser inspecionados regularmente, com relação a trinca e outros defeitos. A menos que esses cubos sejam mantidos limpos, os defeitos podem não ser tão evidentes.

Eles devem ser limpos com água e sabão ou com solventes de limpeza aprovados, sendo que estes podem ser aplicados com panos ou escovas. Entretanto, devem ser evitados ferramentas ou abrasivos que risquem ou danifiquem o revestimento de sua superfície.

Em casos especiais, onde um polimento esmerado é o que se deseja, o uso de um polidor de boa qualidade é recomendado. Após terminado o polimento, todos os resíduos do polidor devem ser rapidamente removidos, as pás das hélices limpas e recobertas com óleo de motor limpo.

Todas as substâncias usadas na limpeza devem ser removidas imediatamente de qualquer parte da hélice, após as operações de limpeza.

Sabão, em qualquer forma (líquido, pastoso, espuma, etc.), deve ser removido através de um enxagüe repetido com água limpa, e depois, as superfícies, devem ser secas e cobertas com óleo de motor limpo.

Após o motor ter sido limpo, todas as hastes de controle, balancins e, outras partes móveis, devem ser lubrificadas de acordo com as instruções contidas no manual de manutenção aplicável.

SOLVENTES DE LIMPEZA

Em geral, solventes de limpeza usados na limpeza de aeronaves devem ter um ponto de fulgor, no mínimo, de 105º F, caso haja possibilidade de explosão a ser evitada. Solventes clorados não são inflamáveis, porém são tóxicos; logo, precauções de segurança devem ser observadas para seu uso. O emprego de tetracloreto de carbono deve ser evitado.

Solventes para limpeza a seco

O solvente tipo "*Stoddard*" é o mais comum solvente, a base de petróleo, usado na limpeza de aeronaves; seu ponto de fulgaor é ligeiramente acima de 40º C (105º F) e pode ser usado para remover graxa, óleo e um leve acúmulo de terra.

Os solventes para limpeza a seco são preferíveis ao querosene, para todos os propósitos de limpeza, mas da mesma forma que o querosene, deixa um ligeiro resíduo após a evaporação, o qual pode interferir com a aplicação de uma camada posterior de acabamento.

Nafta alifática e aromática

Nafta alifática é recomendada para ser passada em superfícies limpas, pouco antes da pintura.

Esse produto também pode ser usado para a limpeza de borracha e materiais acrílicos. Sua temperatura de fulgor é de aproximadamente 25º C (80º F) e deve ser usado com cuidado.

Nafta aromática não deve ser confundida com nafta alifática. Aquela é tóxica e ataca materiais acrílicos e borracha, e só deve ser usada com controle adequado.

Solventes de segurança

Solventes de segurança, como o tricloroetano (ou metil clorofórmio), são usados para a limpeza geral e remoção de graxa. Em condições normais não é inflamável, sendo utilizado em substituição ao tetracloreto de carbono. Precauções de segurança devem ser tomadas quando usando solventes clorados. O seu uso prolongado pode causar problemas de pele em pessoas sensíveis.

Metil etil cetona (MEK)

O MEK serve também como solvente de limpeza para superfícies metálicas, bem como para a remoção de pintura em pequenas proporções.

O MEK é um solvente e um limpador de metais muito ativo, com ponto de fulgor ao redor de 0º C (24º F). É tóxico quando inalado, e as devidas precauções de segurança devem ser observadas durante seu uso.

Querosene

Usa-se o querosene, misturado com agentes de limpeza tipo emulsão, como emoliente de preservativos de cobertura, difíceis de serem removidos. É também usado como solvente para limpeza em geral, mas o seu uso deve ser seguido pela cobertura ou enxagüe com outros tipos de agente de proteção.

O querosene não evapora rapidamente, como os solventes de limpeza a seco, e, geralmente, deixa um resíduo apreciável nas superfícies limpas, resíduo esse que pode ser corrosivo. Esses, resíduos podem ser removidos com solventes de segurança, agentes de limpeza a base de emulsão de água ou mistura com detergentes.

Compostos de limpeza para sistemas de oxigênio

Compostos de limpeza para uso em sistemas de oxigênio são feitos à base de álcool etílico anidro (desidratado), álcool isopropílico (fluido anticongelante), ou uma mistura de álcool isopropílico com freon. Estes podem ser usados para limpar os componentes do sistema de oxigênio, tais como: máscaras dos tripulantes, linhas, etc.

Não se pode usar esses fluidos dentro de tanques ou reguladores. Não use nenhum composto de limpeza que deixe uma cobertura oleosa, quando limpando equipamentos de oxigênio.

Um contato prolongado da pele com a mistura freon/álcool é prejudicial. Instruções dos fabricantes dos equipamentos de oxigênio, ou dos compostos de limpeza, devem sempre ser seguidas.

AGENTES DE LIMPEZA EM EMULSÃO

Compostos de solventes, e emulsão de água, são usados na limpeza geral de aeronaves. Solventes em emulsão são particularmente úteis na remoção de depósitos bastante adensados, como carvão, óleo, graxa ou alcatrão. Quando usados de acordo com as instruções, esses solventes em emulsão não afetam uma pintura de boa qualidade, nem um acabamento feito com materiais orgânicos.

Agentes de limpeza em emulsão de água

Produtos disponíveis, sob a especificação MIL-C-22543 A, são compostos de limpeza em emulsão de água, para ser usado tanto em superfícies de aeronaves pintadas ou não pintadas.

Esses produtos são também indicados para a limpeza de superfícies pintadas, com tinta fluorescente, e é segura também, para acrílicos. Entretanto, essas propriedades vão variar em função do produto disponível, e uma verificação (teste), deve ser feita em uma amostra, antes do emprego do produto.

Agentes de limpeza em emulsão de solvente

Um dos tipos de agente de limpeza em emulsão de solvente é o não fenólico e pode ser usado com segurança, em superfícies pintadas, sem afetar (amolecer) a pintura base.

O seu uso continuado pode afetar os acabamentos acrílicos em laca (verniz) nitrocelulose, como age amolecendo e decapando, superficialmente, coberturas de preservação espessas. Em materiais persistentes, deve ser aplicado, novamente, por duas ou três vezes, como necessário.

Um outro tipo de agente de limpeza em emulsão de solvente é o de base fenólica, que é mais eficaz em serviços pesados, mas que também tende a afetar (amolecer e desbotar) as pinturas de cobertura.

Deve ser usado com cautela, onde haja borracha, plástico ou outro material não metálico.

Luvas de borracha (ou látex) e óculos de proteção devem ser usados ao utilizar agentes de limpeza de base fenólica.

SABÕES E DETERGENTES

Há um grande número de produtos empregados em limpezas leves. Nessa seção serão discutidos os produtos mais comuns.

Compostos de limpeza para superfícies de aeronaves

Produtos especificados, conforme as normas MIL-C-5410, Tipo I e Tipo II, são usados na limpeza geral de superfícies de aeronaves, pintadas ou não, para a remoção de resíduos (lama) leves para médios, além de películas normais de óleo e graxa.

São de uso seguro para quaisquer superfícies, como tecido, couro e plásticos transparentes.

Superfícies transparentes, com filtros de luminosidade incorporados ao material (como pára-brisas), não devem ser lavadas mais do que o necessário, e nunca devem ser limpos com escovas duras.

Agentes de limpeza com detergentes amônicos (não iônicos)

Esses produtos podem ser tanto solúveis em água quanto em óleo. O agente de limpeza com detergente solúvel em óleo, é eficaz quando em solução de 3% a 5%, em solvente para limpeza a seco, para promover o amolecimento e a remoção de coberturas fortes de preservação. O desempenho dessa mistura é idêntico ao dos agentes de limpeza, por emulsão, já previamente mencionados.

PRODUTOS PARA A LIMPEZA MECÂNICA

Quando desejamos evitar danos ao acabamento ou à superfície da aeronave, o emprego de produtos para limpeza mecânica deve ser feito com cuidado, e conforme instruções específicas.

Produtos levemente abrasivos

Nenhum destaque será dado nessa seção para fornecer instruções detalhadas sobre o emprego dos vários produtos listados. Entretanto, alguns prós e contras são incluídos como auxilio na seleção de produtos, para operações específicas de limpeza.

Pedra-pomes pulverizada é usada para a limpeza de superfícies de alumínio corroídas. Abrasivos com características semelhantes podem também ser usados.

Chumaços de algodão impregnados de produtos são empregados para a remoção de sujeira de escapamentos e polimento de superfícies de alumínio corroídas.

O polidor para alumínio é usado para produzir um alto brilho, persistente, em superfícies não pintadas de alumínio cladeado ("*cladding*").

Não deve, entretanto, ser usado em superfícies anodizadas, porque remove a cobertura de óxido.

Três tipos de lã-de-alumínio (grosseiro, médio e fino) são usados para a limpeza geral das superfícies de alumínio.

Tiras de nylon, impregnadas de produtos, são preferidas em relação à lã-de-alumínio, para a remoção dos produtos da corrosão e pinturas velhas e incrustadas, assim como para a preparação (abrasão) da pintura já existente, sobre a qual se aplicará um retoque.

Produtos compostos para remoção de verniz, podem ser usados para remover resíduos de exaustão do motor e pequenas oxidações.

Remoções intensas sobre a cabeça dos rebites, ou extremidades, onde coberturas protetoras podem ser desgastadas, devem ser evitadas.

Papéis abrasivos (lixas d'água)

Papéis abrasivos (lixas d'água), usadas nas superfícies das aeronaves, não devem conter abrasivos pontudos ou tipo agulhas, os quais podem fixar-se, tanto no metal base, quanto na cobertura de proteção a ser preservada.

Os abrasivos usados não devem corroer o material a ser limpo.

Lixa d'água, grão 300 ou mais fino, é disponível em várias formas e é segura para ser usada na maioria das superfícies.

O uso de carborundum (carboneto de silício) em lixas, usadas em alumínio ou magnésio, deve ser evitado, uma vez que a estrutura do grão do carborumdum é muito afilada.

Além de ser esse material tão duro quanto os grãos individuais ele pode penetrar até mesmo na superfície do aço.

O uso de papel de esmeril, em alumínio ou magnésio, pode causar corrosão séria nesses metais, pela inclusão do óxido de ferro.

PRODUTOS QUÍMICOS DE LIMPEZA

Produtos químicos de limpeza devem ser usados com muito cuidado na limpeza das montagens das aeronaves.

O perigo da penetração de produtos corrosivos em junção de superfícies e frestas contrapõe-se a qualquer vantagem na sua velocidade e efetividade.

Qualquer produto deve ser relativamente neutro e de fácil remoção. Dá-se ênfase, que todo resíduo deve ser removido.

Sais solúveis de tratamentos químicos superficiais, como o ácido crômico ou dicromato, vão se liquefazer e empolar a pintura posterior.

Ácido cítrico fosfórico

Uma mistura de ácido cítrico-fosfórico está disponível e pronta para o uso, assim que é desembalada (Tipo I). Já o Tipo II é um concentrado que deve ser diluído com água e solventes minerais.

O contato com a pele deve ser evitado através do uso de luvas de borracha e óculos.

Qualquer queimadura por ácido deve ser lavada com bastante água limpa e neutralizada, a seguir, com uma solução diluída de bicarbonato de sódio.

Bicarbonato de sódio

O bicarbonato de sódio pode ser usado para neutralizar depósitos ácidos nos compartimentos de baterias chumbo-ácidas, bem como para tratar de queimaduras causadas por agentes químicos de limpeza e inibidores de corrosão.

ESTRUTURA DOS METAIS

Conhecimento dos seus usos, resistências, limitações e outras características da estrutura dos metais é vital para construir corretamente, e manter qualquer equipamento, especialmente estruturas aeronáuticas. Na manutenção e reparo, um pequeno desvio das especificações do projeto, ou a utilização de materiais de qualidade inferior, pode resultar na perda de equipamentos e vidas.

A utilização de materiais impróprios pode facilmente deteriorar o mais requintado acabamento.

A seleção do material correto para um trabalho específico de reparo, requer familiaridade com as mais divulgadas propriedades físicas dos diversos metais.

Propriedade dos metais

Uma das primeiras preocupações na manutenção de aeronaves é com as propriedades gerais dos metais e suas ligas, como: dureza, maleabilidade, ductilidade, elasticidade, contração e expansão, e etc.

Esses termos foram expostos para estabelecer as bases para a posterior discussão da estrutura dos metais.

Explicação dos termos

- **Dureza**: refere-se a capacidade de um metal resistir a abrasão, penetração, corte e a distorção permanente. A dureza pode ser aumentada por trabalhos a frio e, no caso do aço e de determinadas ligas de alumínio, através de tratamento térmico. Componentes estruturais são freqüentemente conformados de metais, a partir de sua forma de menor dureza; após, são endurecidos, mantendo a mesma forma. Dureza e resistência são propriedades dos metais, intimamente ligadas.

- Fragilidade: é a propriedade dos metais que lhes impede flexionar ou deformar sem que estilhacem. Um metal frágil quebra ou trinca sem mudar de forma. Considerando que os metais estruturais estão freqüentemente sujeitos a cargas de choque (impactos), a fragilidade não é uma propriedade desejável. O ferro fundido, alumínio fundido e aços muitos duros, são exemplos de materiais frágeis.

- **Maleabilidade**: um metal que possa ser martelado, laminado ou prensado de várias maneiras, sem que trinque, quebre ou sofra outro efeito degenerativo semelhante, é dito ser maleável.

Essa propriedade é necessária para chapas de metal, que sejam trabalhadas a formar curvas, como carenagens de motor, de trem de pouso e pontas de asa. O cobre é um exemplo de metal maleável.

- **Ductilidade**: é a propriedade de um metal que lhe permite ser esticado, flexionado ou torcido de várias maneiras, sem quebrar. Essa propriedade é essencial para metais usados na fabricação de arames e tubos.

Metais dúcteis têm grande aceitação na indústria aeronáutica por causa de sua facilidade de conformação e resistência a falhas por cargas de choque (impactos). Por essa razão, as ligas de alumínio, são usadas para carenagens de motor, revestimento da fuselagem e das asas, e componentes conformados ou extrudados, como: nervuras, longarinas e cavernas. Aço cromo molibdênio é também facilmente moldado nas formas desejadas. A ductilidade assemelha-se à maleabilidade.

- **Elasticidade**: é aquela propriedade que permite ao metal voltar a sua forma original, assim que a força que o deforma é removida. Essa propriedade é extremamente valiosa quando se deseja que o componente volte a ter sua forma original, tão logo cesse a ação da força que o deforma. Cada metal tem um ponto conhecido como limite de elasticidade, além do qual qualquer excesso de carga causa deformação permanente. Na construção aeronáutica, peças e componentes estruturais são de tal forma projetados que as cargas máximas, sob as quais estarão sujeitas, não os deformarão além do limite elástico. Essa propriedade é característica de molas helicoidais de aço.

- **Resistência**: um material que tem resistência vai se contrapor ao corte e à ruptura e pode ser esticado, ou de qualquer maneira deformado sem se romper. A resistência é uma propriedade desejável para todos os metais usados na construção aeronáutica.

- **Densidade**: é a massa (peso) por unidade de volume de um material. Na construção aeronáutica, a massa específica de um material, em relação a um volume unitário é usada para se determinar (ou estimar) a massa (ou peso) de uma peça ou componente, antes de sua fabricação.

É também uma propriedade considerada, durante o projeto de uma peça ou componente, quando se objetiva manter o peso e o balanceamento da aeronave.

- **Fusibilidade**: é a capacidade que tem um metal de tornar-se líquido quando submetido ao calor, especialmente durante o processo de soldagem. O aço se funde em torno de 1425º C, as ligas de alumínio, 595º C.

- **Condutividade**: é a propriedade que permite ao metal conduzir calor ou eletricidade. A condutividade de calor de um metal é especialmente importante na soldagem; porque ela determina a quantidade de calor que será necessária para a fusão. A condutividade (térmica) dos metais também vai determinar o tipo de gabarito que será usado para controlar sua expansão e contração. Na aeronave, a condutividade (elétrica) deve também ser considerada na junção das partes, para eliminar a interferência no equipamento rádio.

- **Contração e expansão**: são reações produzidas nos metais como resultado de aquecimento ou resfriamento. O calor aplicado a um metal leva-o a expandir-se, tornando-se maior. O resfriamento e o aquecimento afetam o projeto dos gabaritos soldados, peças fundidas e tolerâncias necessárias para materiais conformados a quente.

Fatores de seleção

Resistência, peso e confiabilidade são três fatores que determinam os requisitos a serem observados, para qualquer material a ser usado na construção e reparo de células. As células devem ser fortes, mas ao mesmo tempo, leves. Uma célula muito pesada que não pudesse transportar alguns quilogramas, seria certamente de pouco uso.

Todos os metais, complementarmente ao fato de que tenham uma boa relação peso/resistência, devem ter uma acurada confiabilidade, então minimizando a possibilidade de falhas inesperadas e perigosas. Além dessas propriedades gerais, o material selecionado para uma aplicação definida deve possuir características específicas, convenientes ao seu emprego.

O material deve possuir a resistência necessária de acordo com suas dimensões, peso e utilização. Há cinco esforços básicos aos quais os metais devem ser obrigados a atender. São: tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção.

- **Tração**: a resistência de um material à tração é a resistência à força que tende a separá-lo. A resistência à tração é medida pela força necessária, para romper um corpo de prova feito com o mesmo material dividido pela área da seção onde houve a ruptura. Normalmente, é medido em p.s.i. (libras por polegada quadrada).

- **Compressão**: a resistência à compressão de um material é a resistência a uma força de esmagamento, contraria em sentido à força de tração.

É também expressa da mesma forma em p.s.i. (libras por polegada quadrada).

- **Cisalhamento**: quando um pedaço de metal é cortado com uma tesoura de chapa, as duas lâminas da tesoura exercem sobre o metal uma força conhecida como cisalhamento. O cisalhamento é a ação de duas forças paralelas muito próximas (tangentes), porém, de sentidos opostos uma da outra, que acabam fazendo com que, na interface entre essas duas forças, o material comece a deslizar entre si até a ruptura. A resistência ao cisalhamento é expressa como a força em que o material falha, dividida pela seção (área) do corpo de prova submetida à força. Expressa-se também em libras por polegada quadrada (p.s.i).

- **Flexão**: pode ser descrita como a deflexão ou curvatura de um membro, devido a forças atuando sobre ele. A resistência a flexão de um material é a resistência que ele oferece as forças de deflexão.

- **Torção**: pode ser descrita como a deflexão de um membro devido a um binário (e não a forças), atuando sobre ele. A resistência à torção é a resistência que um material oferece a um binário (ou conjugado) que tenta torcê-lo.

A relação que existe entre a resistência de um material e sua densidade expressa como uma razão, é também conhecida, como a razão entre resistência e peso. Essa razão forma a base para comparação entre vários materiais, para uso na construção e reparo em células. Nem a resistência, tampouco o peso, isoladamente, podem ser usados como meios de verdadeira comparação.

Em algumas aplicações, como no revestimento de estruturas monocoque, a espessura é mais importante que a resistência e, em última análise, o material de peso mais leve para uma dada espessura ou calibre é o melhor. A espessura é necessária para prevenir flambagem (enrugamento da chapa), ou dano causado pelo manuseio pouco cuidadoso.

A corrosão faz com que o metal fure ou fique carcomido, ou que sua estrutura granular se degenere.

Considerando as seções finas e os fatores de segurança envolvidos no projeto e construção aeronáutica, seria perigoso escolher um material pouco resistente à corrosão.

Um outro fator a ser considerado na manutenção e reparo, é a capacidade do material ser conformado, dobrado ou trabalhado segundo diversas formas. Esses materiais, assim tratados, endurecem por trabalho a frio.

Praticamente todo trabalho mecânico realizado na conformação de partes e peças aeronáuticas, causam endurecimento, por trabalho a frio. Ás vezes, isso é desejável, entretanto o metal ao mesmo tempo em que endurece, torna-se quebradiço.

Caso o metal tenha sido muito trabalhado a frio, ou seja: tenha sido dobrado de um lado para outro, muitas vezes; ou, tenha sido martelado além da conta, fatalmente vai trincar ou quebrar. Geralmente, quanto mais ductil e maleável é um metal, mais trabalho a frio ele pode suportar.

Qualquer processo que envolva aquecimento e resfriamento, controlados de um metal, para induzir ao surgimento de certas características desejáveis (como endurecimento, amolecimento, ductilidade, resistência à tração ou variação da estrutura granular) é chamado tratamento a quente. No caso do aço, o termo tratamento a quente, tem amplo significado, e inclui processos, como normalização, têmpera, revenimento, recozimento, etc.

Já o tratamento a quente, das ligas de alumínio, envolve basicamente dois processos: o de endurecimento e o de amaciamento. O endurecimento é chamado tratamento térmico a quente e o amaciamento é chamado recozimento.

Os metais usados na aviação, estão sujeitos, tanto a choques (impactos), quanto a fadiga (vibração). A fadiga ocorre nos materiais sujeitos à aplicação cíclica de cargas, quando o limite de fadiga é alcançado ou excedido.

A repetição das vibrações ou flexões vão induzir o surgimento de uma pequena trinca no ponto mais fraco.

A continuação da vibração fará com que a trinca vá sendo ampliada até a ruptura. É a chamada falha por fadiga. A resistência a essa condição é chamada resistência à fadiga.

O material usado na fabricação de peças críticas deve ser resistente a essa condição.

PROCESSOS USADOS NA CONFORMAÇÃO METÁLICA

Há três métodos de confirmação metálica: (1) trabalhos a quente; (2) trabalhos a frio; e (3) extensão. O método usado vai depender do tipo de metal envolvido e do componente, embora em alguns casos, tanto os métodos de conformação a quente e a frio possam ser usados na confecção de uma única peça.

Trabalho a quente

Quase todo aço é trabalhado a quente, a partir do lingote até um estágio de conformação intermediário; e, após trabalhado, tanto a frio quanto a quente, até a forma final.

Quando um lingote é retirado do seu molde, sua superfície é sólida, mas o seu interior não. O lingote é então colocado em um buraco preparado no chão da aciaria, tal que, a perda de calor pelo lingote é reduzida, enquanto seu interior vai gradualmente se solidificando.

Após esse procedimento, a temperatura fica equalizada através do lingote, que então é reduzido a uma forma intermediária através de um laminador, fazendo-o mais facilmente manuseável.

Peças de seção quadrada, menor que 6x6 polegadas, são chamadas barras. Peças laminadas com seção retangular, sendo a largura maior que o dobro da altura são chamadas placas. A partir das placas, em processos seqüenciais de laminação, são produzidas as chapas.

Os tarugos, barras e placas são novamente aquecidos até a temperatura apropriada e, mais uma vez, laminados numa variedade de perfis.

Como será visto adiante, materiais laminados a quente, freqüentemente recebem acabamento por laminação a frio ou trefilamento, o que lhes permite um controle dimensional preciso, e um acabamento superficial liso e brilhante.

Seções complicadas que não possam ser laminadas, ou seções das quais se necessite um pequeno pedaço são geralmente, forjadas.

O forjamento do aço é um trabalho mecânico em temperaturas acima da temperatura crítica, para conformar o metal como desejado.
O forjamento é feito tanto por pressão, quanto por martelamento do aço aquecido, até que a forma desejada seja obtida.

O forjamento por pressão é usado quando o componente a ser forjado é grande e pesado; esse processo também substitui o martelamento, onde aço de alta qualidade é exigido. Posto que a prensa atua lentamente, sua força é transmitida uniformemente para o centro da seção, afetando tanto o grão interno como o externo, gerando a melhor estrutura possível (mais uniforme).

O forjamento por martelamento pode ser usado para peças relativamente pequenas. Uma vez que o martelamento transmite sua força quase instantaneamente, seu efeito é limitado a pequena profundidade. Assim, faz-se necessário a uso de um martelo muito pesado; ou, sujeitar a peça a sucessivas pancadas, para se assegurar o completo trabalho da seção.

Caso a força aplicada seja muito fraca para alcançar seu centro, o acabamento da superfície forjada será côncavo. Caso o centro, tenha sido apropriadamente trabalhado, a superfície ficará convexa ou estufada. A vantagem do martelamento é que o operador tem controle tanto sobre a quantidade de pressão aplicada, quanto da temperatura de acabamento; sendo assim, capaz de produzir pequenas peças de alta qualidade. Esse tipo de forjamento é geralmente chamado de forjamento de ferreiro. É usado extensamente, somente onde um pequeno número de peças faz-se necessário. Considerável tempo de máquina e material são economizados quando as peças são forjadas a martelo até aproximadamente sua forma final.

O aço é freqüentemente mais duro que o necessário e, muito quebradiço, para a maioria das aplicações práticas, quando colocado sob condições que afetem sua estrutura interna (ou criem tensões internas). Para aliviar essas tensões e reduzir sua fragilidade, o aço é revenido após ter sido temperado. Isso consiste em aquecer o aço em um forno até uma temperatura específica e, resfriado ao ar, óleo, água ou solução especial. O grau de revenimento se refere a relação do metal ou liga metálica com relação ao seu endurecimento. A laminação, forjamento, etc. dessas ligas, ou seu tratamento térmico ou envelhecimento, faz com que se torne mais rígido ou tenaz. Nessa hora, essas ligas se tornam duras para a conformação e têm que ser reaquecidas ou recozidas (normalizadas).

Os metais são recozidos ou normalizados para aliviarem suas tensões internas; reduzindo-lhes a dureza, fazendo-os mais ducteis e refinando-lhes a estrutura dos grãos. O recozimento ou normalização, consiste no aquecimento do metal até uma determinada temperatura, mantendo essa temperatura algum tempo, até que o metal esfrie à temperatura ambiente. A fim de ser obtido o maior grau de amaciamento (menor dureza), o metal deve ser resfriado o mais lentamente possível. Alguns metais devem ser resfriados no forno, já outros podem ser resfriados ao ar.

O revenimento se aplica a metais ou ligas a base de ferro. Consiste no aquecimento da peça até uma temperatura pré-determinada, na qual é mantida, a fim de que seja garantido um homogêneo aquecimento, sendo, após, resfriada em ar calmo. O revenimento é usado para aliviar tensões do metal (e reduzir sua dureza).

Trabalho a frio

Trabalho a frio é o trabalho de deformação mecânica do metal, realizado abaixo da temperatura crítica. Cria tensões residuais de endurecimento no grão deformado. Na verdade o metal fica tão endurecido, que se torna difícil continuar o processo de conformação sem que haja o amaciamento do metal pelo recozimento (normalização).

Uma vez que no processo de trabalho a frio não há encolhimento (por resfriamento) das peças, estas podem ser produzidas bem próximas das dimensões desejadas. A resistência e a dureza, assim como o limite elástico são aumentados, porém a ductilidade é reduzida. Assim sendo, já que o metal vai se tornando quebradiço, faz-se necessário que, entre uma e outra etapa do trabalho a frio a peça seja aquecida até a temperatura crítica, para aliviar as tensões internas e permitir que a mesma seja continuamente conformada sem que surjam trincas ou outros defeitos.

Embora existam vários processos de trabalhos a frio, os dois mais comumente usados na indústria aeronáutica são: laminação a frio e trefilação a frio. Esses processos desenvolvem no metal qualidades que não poderiam ser obtidas por trabalhos a quente.

Laminação a frio é feita a temperatura ambiente. Nessa operação, os materiais que serão laminados para suas dimensões finais, são decapados para remoção de crostas (sujeiras, borra da fundição, etc.), após o que passam por vários rolos de laminador que lhes vão dando a forma final. Isso tudo garante às peças laminadas, não só um controle dimensional acurado, como também proporciona um bom acabamento superficial. Desse processo saem em geral as chapas, barras chatas, etc.

Trefilação a frio é usada para a fabricação de tubos sem costura, arames, perfis e outros. Arames são feitos a partir de hastes laminadas a quente de vários diâmetros. Essas hastes são decapadas por ácido para a remoção da crosta, mergulhadas em água de cal e secas a vapor (estufa), aí estão prontas para a trefilação. A cobertura de cal (calcáreo), aderente ao metal, serve como lubrificante para a operação de trefilação.

O tamanho da haste usada na trefilaria depende do diâmetro final desejado para o arame. Para reduzir a haste à forma desejada, faz-se a trefilação através de uma matriz. Um dos extremos da haste é afilado (limado, esmerilhado ou martelado) e introduzido pelo trefilador, onde garras serrilhadas forçam sua introdução pela matriz. Esse processo prossegue através de passagens simultâneas, por matrizes com seções cada vez menores, até a matriz final. Como o metal vai encruando após cada passagem pelo trefilador a frio, faz-se necessário o seu aquecimento, de tempos em tempos, para normalizá-lo. Embora o trefilação a frio reduza a ductilidade, é maior a resistência a tração do arame. Na fabricação de tubos sem costura para a indústria aeronáutica usa-se o processo Mannesmann.

Extrusão

A extrusão é um processo em que o metal é pressionado através de uma matriz, tomando sua forma. Alguns metais relativamente macios, como chumbo, estanho e alumínio podem ser extrudados a frio, mas geralmente os metais são aquecidos antes da extrusão, o que facilita o processo.

A principal vantagem do processo de extrusão é a sua flexibilidade. O alumínio, por causa de sua capacidade de ser trabalhado, além de outras características favoráveis, pode ser economicamente extrudado nas formas e tamanhos dos mais intricados, o que não é verdadeiro para outros metais.

Peças extrudadas podem ser produzidas segundo perfis simples ou muito complexos. Nesse processo, um cilindro de alumínio é aquecido entre 400º C e 450º C (750º F e 850º F), sendo então forçado através de uma matriz, com o perfil que se deseja, por um pistão hidráulico.

Muitos componentes, como reforçadores com perfil em "T", em "Z", em "U", com lábios, especiais, etc., são obtidos dessa maneira.

METAIS FERROSOS USADOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Diferentes tipos de metal são exigidos para reparar uma aeronave. Isso decorre com a necessidade de atender a variáveis de projeto, como resistência, peso, durabilidade, etc. Além disso, a forma específica do componente dita, às vezes, um tipo especial de metal. Na seleção de materiais para reparar uma aeronave, esses fatores, dentre outros, são considerados com relação as suas propriedades físicas e mecânicas. Entre os materiais comuns a serem encontrados, estão aqueles chamados metais ferrosos, ou seja; ligas metálicas que têm o ferro como base, e mais alguns elementos de liga, que conferem ao produto final características especiais.

Identificação

Caso o carbono seja adicionado ao ferro em percentagens até mais ou menos 1%, a liga resultante será amplamente superior ao ferro puro, sendo chamado aço-carbono. O aço-carbono forma a base daquelas ligas de aço, produzidas pela combinação de aço-carbono com outros elementos conhecidos por melhorar as propriedades do aço. A adição de outros metais muda ou melhora as propriedades químicas ou físicas do metal base para um uso particular.

Nomenclatura e composição química dos aços

A fim de facilitar a discussão sobre os aços, é necessário ter uma certa familiaridade sobre sua nomenclatura. Um índice numérico, estabelecido pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) e pela AISI (*American Iron and Steel Institute*), é usado para identificar composições químicas de aços estruturais. Nesse sistema, uma série de quatro números é usada para designar do aço-carbono até o aço de liga especial; já, cinco números, são usados para ligas específicas de aço. Os dois primeiros números indicam o tipo de aço, sendo que, o segundo desses números, em geral (mas não obrigatoriamente) dá a quantidade aproximada do maior elemento de liga; já os dois últimos (ou três últimos) indicam a quantidade de carbono. Entretanto, um desvio da regra da indicação da percentagem de carbono, algumas vezes acontece.

Pequenas quantidades de alguns elementos estão algumas vezes presentes em ligas de aços, mas são especificadas conforme necessário. Na verdade esses elementos são considerados acidentais e podem estar presentes em proporções máximas como se segue: cobre, 35%; níquel, 25%; cromo, 20%; e molibdênio, 0,06%. A lista de aços padronizados é alterada de tempos em tempos para acomodar aços de mérito comprovado (aceitos pela indústria) e para acomodar mudanças nos requisitos metalúrgicos e de engenharia, propostos pela indústria. Essa lista se apresenta conforme a tabela 6-62. Os elementos estruturais metálicos são fabricados de diferentes formas e dimensões, como chapas, barras, hastes, tubos, extrudados, forjados e fundidos. As chapas metálicas são feitas em grande número de tamanhos e espessuras. As especificações designam a espessura em milésimos de polegada. Barras e hastes são fornecidas numa grande variedade de formas (redondas, quadradas, retangulares, hexagonais, etc.). Os tubos têm seção quadrada, retangular, redonda, oval, etc. A especificação dos tubos é feita considerando-se o diâmetro externo e a espessura da parede. As chapas são, geralmente, conformadas a frio em prensas, rolos de laminação, calandras, etc. Os forjados são produzidos em prensas ou martelos hidráulicos, colocando-se o metal aquecido em matrizes. Os fundidos são produzidos depositando-se o metal fundido em moldes ou fôrma.

O acabamento dos fundidos é feito por usinagem mecânica. O teste das fagulhas é um método comum de identificação de vários metais ferrosos. Nesses testes, um pedaço de ferro ou aço é mantido contra um rebôlo que gira, sendo o metal identificado pelas fagulhas que são produzidas. As fagulhas variam de pequenas a curtas, até uma chuva delas.

OBS: Poucos metais não-ferrosos produzem fagulhas quando em contato com o rebôlo. Esses metais, portanto, não se prestam a esse teste. A identificação do ferro ou aço pelo tipo de fagulha é freqüentemente inexata - a menos que realizada por pessoa experiente - caso contrário, corre-se o risco de uma identificação mal feita.

Séries	Tipos	Séries	Tipos
10xx	Aços carbono sem enxofre	10xx	Aços carbono sem enxofre
11xx	Aços carbono resulfurizado (não trabalhado)	11xx	Aços carbono resulfurizado (não trabalhado)
12xx	Aços carbono resulfurizado e refosforizado (não trabalhado)	12xx	Aços carbono resulfurizado e refosforizado (não trabalhado)
13xx	Manganês 1,75%	13xx	Manganês 1,75%
*23xx	Níquel 3,50%	*23xx	Níquel 3,50%
*25xx	Níquel 5,00%	*25xx	Níquel 5,00%
31xx	Níquel 1,25%, cromo 0,65%	31xx	Níquel 1,25%, cromo 0,65%
33xx	Níquel 3,50%, cromo 1,55%	33xx	Níquel 3,50%, cromo 1,55%
40xx	Molibidênio 0,20 ou 0,25%	40xx	Molibidênio 0,20 ou 0,25%
41xx	Cromo 0,50 ou 0,95, Molibidênio 0,12 ou 0,20%	41xx	Cromo 0,50 ou 0,95, Molibidênio 0,12 ou 0,20%
43xx	Níquel 1,80%, cromo 0,50 ou 0,80%, molibidênio 0,25%	43xx	Níquel 1,80%, cromo 0,50 ou 0,80%, molibidênio 0,25%
44xx	Molibidênio 0,40%	44xx	Molibidênio 0,40%
45xx	Molibidênio 0,52%	45xx	Molibidênio 0,52%
46xx	Níquel 1,80%, molibidênio 0,25%	46xx	Níquel 1,80%, molibidênio 0,25%
47xx	Níquel 1,05%, cromo 0,45%, Molibidênio 0,20 ou 0,35%	47xx	Níquel 1,05%, cromo 0,45%, Molibidênio 0,20 ou 0,35%
48xx	Níquel 3,50%, Molibidênio 0,25%	48xx	Níquel 3,50%, Molibidênio 0,25%
50xx	Cromo 0,25 ou 0,40 ou 0,50%	50xx	Cromo 0,25 ou 0,40 ou 0,50%

*** Não incluídos na relação de aços padronizados.**

Figura 6-62 Índice numérico SAE

Ferro forjado produz fagulhas longas - cor de palha esmaecida, junto da pedra, e brancas na extremidade. Ferro fundido produz fagulhas vermelhas junto à pedra que se esmaecem, tomando cor de palha na extremidade.

Aumentando-se o teor de carbono no aço, aumentam as ramificações das fagulhas, tornando-se brancas em suas extremidades. Aços com níquel produzem fagulhas com centelhas brancas brilhantes no seu interior.

Tipos, características e usos das ligas de aço

Aço contendo carbono na faixa de 0,10% a 0,30% é chamado de aço de baixo carbono. Pela classificação SAE/AISI seria entre aço 1010 e 1030. Aços com esse teor de carbono são usados para a fabricação de arame de freno, algumas porcas, embuchamento de cabos e extremidades de hastes rosqueadas. Esse tipo de aço, na forma de chapa, é usado em estruturas secundárias e braçadeiras, e, na forma de tubos, para componentes estruturais, moderadamente tencionadas.

Aços contendo carbono na faixa de 0,30% a 0,50% é chamado de aço de médio carbono. Esse aço é especialmente adaptado para usinagem ou forjaria, onde a dureza superficial é desejável. Algumas extremidades de hastes e forjados leves são feitos de aço S.A.E. 1035.

Aços contendo carbono na faixa de 0,50% a 1,05% são classificados como aço de alto carbono. A adição de outros elementos em quantidade variável aumenta a dureza desses aços. Sendo plenamente tratados a quente tornam-se muito duros, resistindo a elevados esforços de cisalhamento e ao desgaste, deformando-se muito pouco. Aços SAE 1095, na forma de chapas, são usados como lâminas de feixes de molas; na forma de arames, são usados para molas helicoidais.

Os vários aços ao níquel são produzidos pela combinação de níquel com aço carbono. Aços contendo 3% a 3,75% de níquel são comumente usados.

O níquel aumenta a dureza, a resistência à tração e o limite de elasticidade do aço, sem apreciável diminuição de ductilidade. Também intensifica o efeito de endurecimento causado pelo tratamento térmico. Aços SAE 2330 são extensivamente usados para componentes de aeronaves, como parafusos, terminais, pinos, orelhas, etc.

Aço-cromo tem elevada dureza e resistência à corrosão, sendo particularmente indicado para tratamento a quente de forjados, os quais exigem mais dureza e resistência. Pode ser usado como esferas ou roletes de rolamentos.

Aço cromo-níquel ou aço inoxidável são resistentes à corrosão. O grau de resistência à corrosão é determinado pelas condições da superfície do metal, assim como pela composição, temperatura e concentração do agente corrosivo.

O principal elemento de liga do aço inoxidável é o cromo. O aço resistente à corrosão mais freqüentemente usado na construção aeronáutica é conhecido como 18-8, justamente por conter 18% de cromo e 8% de níquel. Uma das características distintas do aço inoxidável 18-8, é que ele só pode ser endurecido por trabalhos a frio (não pega têmpera).

Aço inoxidável pode ser laminado, trefilado, dobrado ou moldado em qualquer forma. Uma vez que esses aços têm um coeficiente de expansão térmica 50% maior que o aço comum, conduzem o calor com 40% menos rapidez que esses mesmos aços comuns, são consequentemente mais difíceis de serem soldados. Algumas das aplicações mais comuns dos aços inoxidáveis são: os coletores de exaustão, os dutos de admissão, peças estruturais e usinadas, molas, fundidos, tirantes e cabos de controle.

O aço cromo-vanádio é produzido com aproximadamente 18% de vanádio e 1% de cromo. Quando tratado a quente torna-se resistente, endurecido - além de resistente ao uso e à fadiga. Um tipo especial desse aço em forma de chapa, pode ser conformado a frio em formas complicadas. Pode ser dobrado sem sinais de quebra ou falha. O aço SAE 6150 é usado na fabricação de molas; já o aço SAE 6195 é usado para rolamentos de esferas ou roletes.

O molibdênio em pequenas porcentagens é usado, em combinação com o cromo, para formar o aço-cromo-molibdênio, o qual tem vários usos em aviação. O molibdênio é um elemento de liga forte. Ele alcança os limites finais de resistência do aço sem afetar a ductilidade e a maleabilidade.

Os aços-molibdênio são duros e resistentes ao desgaste, sendo mais endurecidos quando tratados a quente. São especialmente adaptáveis à soldagem e, por essa razão, são usados principalmente para componentes e montagens estruturais soldadas.

Esse tipo de aço tem praticamente substituído os aços-carbonos na fabricação de tubos para estrutura de fuselagem, berços de motor, trem de pouso, dentre outras partes estruturais. O aço SAE X4130, tratado a quente, é aproximadamente quatro vezes mais forte que um aço SAE 1025 de mesmas dimensões.

O tipo de aço cromo molibdênio mais usado na construção aeronáutica possui carbono entre 0,25% e 0,55%, molibdênio entre 0,15% e 0,25% e cromo entre 0,50% e 1,10%. Esses aços, quando convenientemente tratados ficam profundamente endurecidos, facilmente usináveis, rapidamente soldáveis, tanto por solda elétrica quanto oxiacetilênica, além de serem aptos para trabalharem em ambiente com temperatura elevada.

O INCONEL é uma liga de níquel-cromo-ferro com aparência bem próxima ao aço inoxidável. Posto serem essas duas ligas muito parecidas, faz-se freqüentemente necessário um teste para diferenciá-las.

Um dos métodos usuais de identificação é a utilização de uma solução de 10 gramas de cloreto cúprico em 100 centímetros cúbicos de ácido hidroclórico.

Com um conta-gotas, colocamos uma gota da solução em uma amostra de cada metal a ser testado, deixando permanecer por dois minutos.

Findo esse tempo, vagarosamente diluímos essa gota com 3 ou 4 gotas de água, pingadas uma a uma; após, as amostras são lavadas e secadas. Caso a amostra seja de aço inoxidável, o cobre da solução do cloreto cúprico ficará depositado na amostra, deixando uma mancha característica (cor de cobre). Caso a amostra seja de INCONEL, aparecerá uma mancha diferente.

A resistência à tração do INCONEL normalizado é de 100.000 p.s.i. (libras por polegada quadrada); quando laminado a frio, 125.000 p.s.i.

É altamente resistente à água salgada e é capaz de suportar temperaturas da ordem de 870º C (1600º F). O INCONEL é facilmente soldável e tem características de utilização bastante semelhantes àquelas dos aços resistentes à corrosão.

METAIS NÃO FERROSOS DE UTILIZAÇÃO AERONÁUTICA

O termo "não ferroso" se refere a metais que tenham outros elementos, que não o ferro, como base da liga ou como principal constituinte. Esse grupo inclui metais como alumínio, titânio, cobre e magnésio, bem como ligas metálicas como *MONEL* e *BABBIT*.

Alumínio e ligas de alumínio

O alumínio comercialmente puro é um metal branco, lustroso, que ocupa o segundo lugar na escala de maleabilidade; sexto em ductilidade, e uma boa posição em resistência à corrosão.

Ligas de alumínio, nas quais o principal ingrediente seja o magnésio, o manganês, o cromo ou o silício, apresentam alguns desgastes em ambientes corrosivos. Já ligas com consideráveis percentagens de cobre são mais susceptíveis ao ataque corrosivo. A percentagem total de ingredientes nas ligas de alumínio é da ordem de 6% a 7% (em média).

O alumínio é um dos metais mais largamente usados na construção aeronáutica. Tornou-se vital na indústria aeronáutica por causa de sua alta resistência em relação ao peso, bem como sua facilidade de manuseio. A característica que sobressai no alumínio é a sua leveza. O alumínio se funde a uma temperatura relativamente baixa 650º C (1250º F). É um metal não magnetizável e um excelente condutor (térmico e elétrico).

O alumínio comercialmente puro tem uma resistência à tração de cerca de 13.000 p.s.i., mas se sofrer processo de conformação a frio, sua resistência pode ser dobrada. Quando ligado a outros elementos, ou sofrendo tratamento térmico, a resistência à tração pode subir até 65.000 p.s.i., ou seja, na mesma faixa do aço estrutural.

As ligas de alumínio, embora resistentes, são facilmente trabalhadas, porque são maleáveis e dúcteis. Podem ser laminadas em chapas até 0,0017 de polegada ou trefiladas em arames de 0,004 de polegada em diâmetro. A maioria das chapas de liga de alumínio em estoque usadas na construção aeronáutica, situa-se na faixa de 0,016 a 0,096 de polegada de espessura; entretanto, muitas das grandes aeronaves, usam chapas de até 0,356 de polegada.

Os vários tipos de alumínio podem ser divididos em duas classes gerais: (1) ligas de fundição (aquelas indicadas para fundição em areia, molde permanente ou fundição sob pressão); (2) ligas de forjaria (aquelas que podem ser conformadas por laminação, trefilação ou forjaria). Desses dois tipos, os mais largamente usados são as ligas de forjaria, principalmente sob a forma de longarinas, revestimentos, suportes, rebites e seções extrudadas.

Ligas de fundição de alumínio são divididas em dois grupos básicos. No primeiro; as propriedades físicas das ligas são determinadas pelos ingredientes da liga e não podem ser mudadas após a fundição do metal.

No segundo; os ingredientes permitem sua mudança através de tratamento térmico do fundido, para se obter propriedades físicas desejadas.

As ligas de fundição são identificadas por uma letra, precedendo o número de classificação da liga. Quando uma letra preceder um número, isso significa uma ligeira variação na composição da liga original. Essa variação na composição é simplesmente para destacar alguma qualidade desejável. Na liga de fundição 214, por exemplo, a adição de zinco para melhorar suas qualidades deficientes é indicada pela letra A, em frente ao número de classificação, passando sua designação a A 214.

Quando os fundidos forem tratados a quente, o tratamento térmico e a composição do fundido é indicada pela letra T, seguida pelo número de classificação da liga. Um exemplo disso é a liga de fundição 355, a qual tem várias composições e tratamentos diferentes, e é designada por 355-T6, 355-T51 ou C355-T51.

Ligas de alumínio de fundição são produzidas por um dos seguintes três métodos: (1) moldagem em areia; (2) molde permanente; e (3) fundição sob pressão. Na fundição do alumínio deve ser levado em conta que, na maioria dos casos, diferentes tipos de ligas são usadas em diferentes processos de fundição.

Na fundição em areia ou molde permanente as peças são produzidas derramando-se metal fundido em um molde previamente preparado, permitindo que o metal se solidifique - logo após a peça é removida. Se o molde é feito de areia, a fundição é dita "em areia"; se o molde é metálico (geralmente de ferro fundido), a fundição é dita "em molde permanente". Fundição em areia ou molde permanente, são produzidos, colocando-se o metal líquido na fôrma ou molde pela ação da gravidade.

Os dois tipos mais usuais de ligas fundidas em areia são a 112 e a 212. Há pouca diferença entre ambas, do ponto de vista mecânico, posto que ambas são adaptáveis a uma vasta gama de produtos.

O processo de fundição em molde permanente é um desenvolvimento atual do processo de fundição em areia, sendo que a diferença básica entre ambos é o material do molde. A vantagem desse método é que a porosidade superficial (rugosidade) é diminuída em relação ao uso do molde de areia. A areia e o elemento de ligação, entre os seus grãos (que mantém rígida a fôrma de areia) libera uma certa quantidade de gás quando o metal, à alta temperatura, penetra pelo molde, causando a porosidade.

Os fundidos em molde permanente são usados para se obter melhores propriedades mecânicas, melhor acabamento superficial ou dimensões mais acuradas. Há dois tipos de fundição em molde permanente: (1) o molde metálico permanente com suas partes internas também em metal; e (2) aqueles com molde metálico permanente externo com miolo em areia. Uma vez que estruturas cristalinas com grãos mais finos (menores) são produzidas, quando o resfriamento é mais rápido, os fundidos em molde permanente são de melhor qualidade. As ligas 122, A132 e 142 são comumente usadas em moldes permanentes, sendo o seu principal emprego, algumas peças internas dos motores a combustão.

Os fundidos sob pressão, usados em aviação, são geralmente, ligas de alumínio ou magnésio. Se o peso for de importância principal, dá-se preferência às ligas de magnésio, por serem mais leves que as ligas de alumínio. Entretanto, as ligas de alumínio são freqüentemente usadas por serem, em geral, mais resistentes que as de magnésio.

A fundição sob pressão é produzida forçando-se o metal líquido, sob pressão, para dentro de um molde metálico, permitindo que então se solidifique; após então, o molde é aberto e a peça separada.

A diferença básica, entre os fundidos sob pressão e os fundidos em molde permanente, é justamente o fato, em que no primeiro caso, o metal será pressionado para dentro do molde; ao passo que no segundo caso, o metal líquido fluirá por gravidade.

Os forjados de alumínio e de ligas de alumínio são divididos em duas classes gerais - aqueles que podem ser tratados termicamente e aqueles que não podem.

Nas ligas, que não se pode tratar termicamente as propriedades mecânicas, são melhoradas por trabalhos a frio. Quanto mais trabalhadas a frio (laminadas, trefiladas, extrudadas, etc.) após a normalização, melhores, em geral, ficam suas propriedades. Entretanto, aquecendo-se essas ligas até determinadas temperaturas, e após, normalizando-as, as melhoras introduzidas pelo trabalho a frio se perdem, e somente por novo trabalho a frio é possível recuperá-las. O endurecimento máximo depende da maior capacidade de trabalho a frio que possa ser praticado economicamente. O metal (liga) entregue em forma de barras, chapas, perfis, etc. partiu de um lingote e, dependendo de sua espessura, houve variável trabalho a frio, o que torna variável a melhora em suas propriedades.

Para o tratamento térmico das ligas de alumínio, as propriedades mecânicas são melhoradas a uma temperatura conveniente, mantendo-se a liga nessa temperatura, por determinado período de tempo, para se permitir que os componentes da liga se misturem em solução sólida, após o que a temperatura é rapidamente baixada, mantendo-se esses componentes em solução.

O metal é deixado em um estado supersaturado, instável, sendo então endurecido por envelhecimento natural a temperatura ambiente, ou então, envelhecido artificialmente em temperatura elevada.

Designação das ligas de alumínio

Alumínio ou ligas de alumínio trabalhadas (laminadas, forjadas, extrudadas, etc.) são designadas por um sistema de índices de quatro dígitos, sendo esse sistema dividido em três grupos distintos: o grupo 1xxx, o grupo 2xxx até 8xxx e o grupo 9xxx, sendo este último não usado até o presente.

O primeiro dígito é usado para identificar o tipo da liga; já o segundo dígito indica uma modificação específica da liga, que se for zero irá indicar que não houve controle especial sobre impurezas.

Dígitos de um ao nove, como segundo dígito, indica o número de controles sobre as impurezas no metal.

Os últimos dois dígitos do grupo 1xxx são usados para indicar, em centésimos de 1% acima dos originais 99% (de alumínio puro) designado pelo primeiro dígito. Assim, se os últimos dois dígitos forem 30, por exemplo, a liga poderá conter 99% mais 0,30% de alumínio puro, ou seja, 99,30%. Alguns exemplos seguem sobre esse grupo:

1100 - 99,00% de alumínio puro com um controle sobre impurezas individuais.
1130 -99,30% de alumínio puro com um controle sobre impurezas individuais.
1275 - 99,75% de alumínio puro com dois controles sobre impurezas individuais.

No grupo que vai de 2xxx até 8xxx, o primeiro dígito indica o elemento de maior proporção na liga, conforme a convenção abaixo:

2xxx - cobre
3xxx - manganês
4xxx - silício
5xxx - magnésio
6xxx - magnésio e silício
7xxx - zinco
8xxx - outros elementos

Nesse grupo, de 2xxx a 8xxx, o segundo dígito indica modificações na liga, a menos que esse dígito seja 0, pois nesse caso a liga é a original. Os últimos dois dígitos identificam as diferentes ligas do grupo. (Figura 6-63).

Efeito dos elementos de liga

SÉRIE 1000 - 99% ou maior. Excelente resistência à corrosão, elevada condutividade térmica e elétrica, propriedades mecânicas, excelente capacidade de ser trabalhado, sendo o ferro e o silíco as impurezas predominantes.

SÉRIE 2000 - O cobre é o principal elemento de liga. Instável a quente, propriedades ótimas equivalendo ao aço doce, pouco resistência à corrosão se não for cladeada (*cladding*). Geralmente é cladeada com liga 6000 ou de maior pureza. Dessa série a mais conhecida é a 2024.

SÉRIE 3000 - O manganês é o principal elemento de liga. Não é tratável a quente (geralmente). A percentagem de manganês que começa a dar características especiais à liga é de 1,5%.

A liga mais comum dessa série é a 3003, que tem resistência moderada e boa capacidade de ser trabalhada.

SÉRIE 4000 - O silício é o principal elemento de liga, o que reduz sua temperatura de fusão. Seu principal uso é na soldagem. Quando usada na soldagem de ligas termicamente tratáveis, a solda vai responder pelo limitado desempenho desse tratamento a quente.

SÉRIE 5000 - O magnésio é o principal elemento de liga. Tem boas características de soldabilidade e resistência à corrosão. Altas temperaturas (acima de 65º C ou 150º C) ou trabalhos a frio excessivos irão aumentar sua susceptibilidade à corrosão.

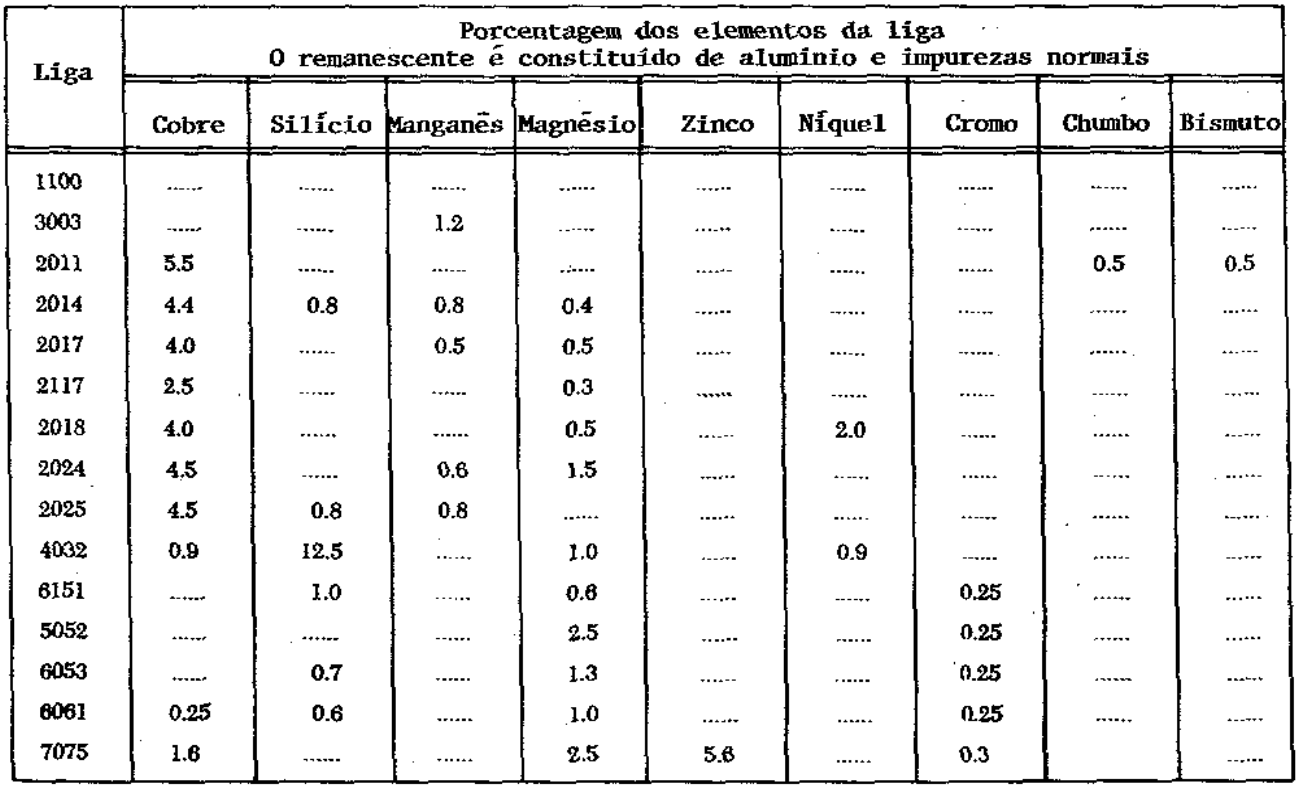
SÉRIE 6000 - O silício e o magnésio formam um composto (silicato de magnésio) que faz com que a liga seja termicamente tratável. Tem resistência média, boa capacidade de ser conformado, além de resistência à corrosão. A mais popular é a liga 6061.

SÉRE 7000 - O zinco é o principal elemento da liga. Quando associado ao magnésio resulta numa liga tratável termicamente, de resistência muito elevada. Geralmente, há cobre e cromo adicionados. A principal liga desta série é a 7075.

Identificação de dureza

Quando usada, a designação do endurecimento segue a designação da liga e é separada por um traço. Exemplo: 7075-T6, 2024-T4, etc.

A designação do endurecimento consiste de uma letra indicando o endurecimento básico, o qual pode ser mais especificamente definido pela adição de um ou mais dígitos.



Liga	Porcentagem dos elementos da liga O remanescente é constituído de alumínio e impurezas normais								
	Cobre	Silício	Manganês	Magnésio	Zinco	Níquel	Cromo	Chumbo	Bismuto
1100	......	......	......	......	......	......	......	......	......
3003	......	......	1.2	......	......	......	......	......	......
2011	5.5	......	......	......	......	......	......	0.5	0.5
2014	4.4	0.8	0.8	0.4	......	......	......	......	......
2017	4.0	......	0.5	0.5	......	......	......	......	......
2117	2.5	......	......	0.3	......	......	......	......	......
2018	4.0	......	......	0.5	......	2.0	......	......	......
2024	4.5	......	0.6	1.5	......	......	......	......	......
2025	4.5	0.8	0.8	......	......	......	......	......	......
4032	0.9	12.5	......	1.0	......	0.9	......	......	......
6151	......	1.0	......	0.6	......	......	0.25	......	......
5052	......	......	......	2.5	......	......	0.25	......	......
6053	......	0.7	......	1.3	......	......	0.25	......	......
6061	0.25	0.6	......	1.0	......	......	0.25	......	......
7075	1.6	......	......	2.5	5.6	......	0.3		......

Figura 6-63 Composição nominal das ligas de alumínio.

Essas designações são as seguintes:

F. como saídas da fábrica.
O. normalizada, recristalizada (somente produtos trabalhados a frio).
H. endurecido por trabalho a frio.
H1. endurecido por trabalho a frio somente (pode ter um ou mais dígitos).
H2. endurecido por trabalho a frio e parcialmente normalizado (pode ter um ou mais dígitos).
H3. endurecido por trabalho a frio e estabilizado (pode ter um ou mais dígitos).

OBS: O dígito que segue H1, H2 ou H3 indica o grau de deformação a frio e conseqüente endurecimento.

O dígito "0" indica o estado de recozimento (normalização) pleno.

O dígito "8" representa a máxima resistência a tração possível, após o trabalho a frio.

Identificação do tratamento térmico

Na sua forma acabada (trabalhada a frio), o alumínio comercialmente puro é conhecido como 1100. Tem alto índice de resistência à corrosão e é facilmente conformado em formas complicadas. Tem resistência relativamente baixa e não tem as propriedades necessárias para ser componente estrutural de uma aeronave. Altas ligas resultantes têm mais dificuldade em serem conformadas (com algumas exceções) e têm menor resistência à corrosão que o alumínio 1100.

A utilização de ligas (a inserção de outros elementos) não é o único método de aumentar a resistência do alumínio.

Como outros materiais metálicos, o alumínio torna-se mais forte e mais duro quanto mais for laminado, conformado, etc, ou seja, trabalhado a frio. Uma vez que a dureza depende do trabalho a frio realizado, a série 1100 (e algumas outras séries) pode ser encontrada em vários graus de dureza. A condição normalizada é indicada por "0". Caso seja endurecido por trabalho a frio, sua condição é indicada por "H".

As ligas mais amplamente usadas na construção aeronáutica são endurecidas, mais por tratamento térmico, que por trabalhos a frio.

Essas ligas são designadas por símbolos um pouco diferentes: "T4" e "W" indicam solução (sólido) tratada a quente e temperada, mas não envelhecida, e "T6" indica uma liga endurecida por tratamento a quente.

W. Solução (sólida) tratada a quente, endurecimento instável.

T. Tratado para produzir endurecimento estável, outros que não F, O ou H

T2 - Normalizado (somente para produtos forjados).

T3 - Solução (sólida) tratada a quente e, após, trabalhada a frio.

T4 - Solução (sólida) tratada a quente.

T5 - Somente envelhecida artificialmente.

T6 - Solução (sólida) tratada a quente e, após artificialmente envelhecida.

T7 - Solução (sólida) tratada a quente e, então estabilizada.

T8 - Solução (sólida) tratada a quente, trabalhada a frio e , então, envelhecida artificialmente.

T9 - Solução (sólida) tratada a quente, artificialmente envelhecida e, então, trabalhada a frio.

T10 - Artificialmente envelhecida e, então, trabalhada a frio.

Dígitos adicionais podem ser adicionados do T1 até o T10 para indicar a variação no tratamento, o qual significativamente altera as características do produto.

Na forma industrial (já trabalhada a frio) as chapas de ligas de alumínio comercializadas são marcadas com o número da especificação em cada pé quadrado (ft^2) do material.

Se por acaso não constar essa identificação, é possível identificar-se uma liga, termicamente tratada, de outra que não tenha recebido tratamento térmico, imergindo-se uma amostra do material em uma solução de soda cáustica (hidróxido de sódio) a 10% (em massa).

Àquela que foi tratada termicamente, porque em geral possui cobre, vai ficar preta, enquanto as outras (por não possuírem cobre) continuam brilhantes.

No caso de material cladeado (*cladding*) sua superfície se mantém brilhante, mas olhando-se nos bordos, verificar-se á que os mesmos possuem uma camada interna preta.

Alumínio cladeado (*cladding*)

Os termos "*ALCLAD*" e "*PURECLAD*" são usados para designar chapas que consistem numa chapa interna de liga de alumínio, ensanduichada por duas chapas com espessura de 5,5% da espessura da chapa do miolo.

As chapas de alumínio puro proporcionam uma dupla proteção ao miolo, evitando, o contato com qualquer agente corrosivo, e protegendo o miolo eletroliticamente contra algum ataque causado por arranhões ou outras matérias abrasivas.

Titânio e ligas de titânio

O titânio foi descoberto por um religioso inglês chamado *Gregot*. Porém, o primeiro método comercial de produção do titânio metálico, a partir de seu minério, só ocorreu em 1925.

O Bureau de Minas dos Estados Unidos começou a produzir esponja de titânio em 1946, sendo que só após 4 anos começou sua fundição efetiva.

O emprego do titânio é muito abrangente. É usado em muitos empreendimentos comerciais e sua demanda tem aumentado muito, especialmente para bombas e outros itens sujeitos a ambientes corrosivos.

Na construção ou reparo de aeronaves, o titânio é usado no revestimento de fuselagens, carenagens de motores, paredes de fogo, longarinas, estruturas primárias, reforçadores, elementos de fixação e dutos de ar.

O titânio é usado para a fabricação de discos de compressores, anéis de espaçamento (de motor), palhetas do compressor (as fixas e as do disco), alojamento das turbinas e mais uma vintena de pequenas peças do motor.

A aparência do titânio é a mesma do aço inoxidável. Um método rápido usado para identificar o titânio é o teste da centelha ou fagulha.

Raspado no esmeril, o titânio solta uma fagulha branca, brilhante, sendo que a parte final dessa chispa espouca em várias pequenas fagulhas brancas e brilhantes.

É também possível sua identificação, umedecendo o titânio, usando-o para traçar uma linha sobre um pedaço de vidro. Sendo titânio, ficará uma linha escura semelhante a um traço de pincel.

Em termos de elasticidade, densidade e resistência à temperatura elevada, o titânio se situa entre o alumínio e o aço inoxidável. Tem um ponto de fusão entre 1500º C (2730º F) e 1730º C (3155º F) baixa condutividade térmica e pequeno coeficiente de expansão. É aproximadamente 60% mais pesado que o alumínio e cerca de 50% mais leve que o aço inoxidável.

Por causa do seu alto ponto de fusão, suas propriedades em altas temperaturas são desapontadoras.

O limite máximo de resistência do titânio cai rapidamente acima de 430º C (800º F). A absorção de oxigênio e nitrogênio do ar em temperaturas acima de 540º C (1000º F) fazem o metal tão quebradiço (após um relativamente longo intervalo de tempo) que cedo ele se torna incapaz de ser trabalhado. Entretanto, se a exposição for breve, o titânio pode ser exposto até 1650º C (3000º F) sem significativa perda de resistência.

Essa é uma característica que atende aos requisitos para paredes de fogo das aeronaves.

O titânio não é magnetizável e sua resistividade elétrica é comparável a do aço inoxidável. Algumas das principais ligas de titânio são bastante duras.

O tratamento térmico ou emprego de ligas não desenvolve características de dureza na mesma proporção que as ligas de aço Foi só recentemente que uma liga de titânio, tratada termicamente, foi desenvolvida.

Antes do desenvolvimento dessa liga, o aquecimento e a laminação eram os únicos métodos de conformação que poderiam ser realizados. Entretanto, é possível produzir-se uma nova liga maleável nas condições ambientais e endurecê-las por tratamento térmico.

Ferro, molibdênio e cromo são usados para estabilizar o titânio e produzir ligas que serão endurecidas por têmpera ou envelhecimento. A adição desses metais também adiciona ductilidade.

A resistência a fadiga do titânio é maior que a do aço ou do alumínio. O titânio torna-se mais macio quanto maior for o seu grau de pureza. Não é, porém, um procedimento prático a distinção entre os vários graus de titânio, comercialmente puro, ou sem liga, através de análise química; mais fácil é fazê-lo através de suas propriedades mecânicas.

Designações do titânio

A classificação A-B-C das ligas do titânio foi estabelecida para dar um conveniente e simples método, para descrever todas a ligas de titânio. O titânio e suas ligas possuem três tipos básicos de cristais: A (alfa), B (beta) e C (combinação de alfa e beta). Suas características são:

A (alfa) - Bom desempenho geral, boa soldabilidade; resistente e forte, tanto frio quanto quente; resistente à oxidação.

B (beta) - flexibilidade; excelente ductilidade em flexão; forte, tanto frio quanto quente, porém vulnerável à contaminação.

C (combinação entre alfa e beta, com relação ao desempenho) - forte quando frio ou morno, porém fraco quando quente, boa flexibilidade, moderada resistência à contaminação; excelente forjabilidade.

O titânio é fabricado para propósitos comerciais em duas composições básicas: titânio comercialmente puro e liga de titânio. A-55 é um exemplo de uma liga de titânio comercialmente puro.

Tem um limite de resistência de 55.000 a 80.000 p.s.i. e é de emprego geral para conformação de moderada a severa. É, algumas vezes, usado para componentes não-estruturais da aeronave e para todos os tipos de aplicações, onde se faça necessário a resistência à corrosão, como em tubulações.

O tipo A-70 é intimamente relacionado ao tipo A-55 (anteriormente descrito), mas tem um limite de resistência entre 70.000 e 95.000 p.s.i. É usado onde a máxima resistência é requerida e é especificado para componentes da aeronave moderadamente solicitados. Para aplicações onde se pressupõe que haja corrosão, é feita uma substituição pelo A-55. Tanto o A-55 quanto o A-70 são soldáveis.

Uma da ligas à base de titânio mais amplamente utilizadas é chamada de C-110M. É utilizada para componentes da estrutura primária e revestimento da aeronave, tendo seu limite de resistência da ordem de 110.000 p.s.i. Contém 8% de manganês.

Tipo A-110 AT é uma liga que contém 5% de alumínio e 2,5% de estanho. Tem um elevado limite de resistência em elevadas temperaturas, com as excelentes características de soldabilidade, típicas das ligas tipo A (alfa).

Características em relação à corrosão

A resistência à corrosão do titânio merece uma especial atenção. A resistência do metal à corrosão decorre da formação de um filme de proteção de óxido estável ou de oxigênio quimicamente absorvido. Esse filme é normalmente produzido pela presença de oxigênio e de agentes de oxidação.

A corrosão do titânio é uniforme. Há pouca evidência da formação de orifícios ("*pitting*") ou de uma outra forma séria de corrosão localizada. Normalmente, é imune à corrosão sob tensão fraturante, corrosão em fadiga, corrosão intergranular ou corrosão galvânica. Sua resistência à corrosão é igual ou superior a do aço inoxidável 18-8.

Testes de laboratório com soluções ácidas e salinas mostram que o titânio rapidamente se polariza. O efeito global, em geral, e a diminuição do fluxo de corrente em células galvânicas e de corrosão.

Correntes de corrosão na superfície do titânio e pares metálicos são naturalmente restritos. Nisso, particularmente, deve ser considerada a boa resistência a muitos produtos químicos; pode ser também usado com metais diferentes sem nenhum efeito danoso em ambos.

Cobre e ligas de cobre

O cobre é um dos metais de mais vasta gama de emprego. É o único de cor avermelhada e o de melhor condutividade elétrica, após a prata. Seu emprego, como elemento estrutural, é limitado por sua densidade relativamente elevada. Entretanto, algumas de suas características de destaque, como as condutividades térmicas e elétrica, compensam o fator peso.

Sendo muito dúctil e maleável, o cobre é ideal para a confecção de fios e arames. É corroído por água salgada, mas não é afetado por água doce. A resistência máxima à tração, do cobre, varia muito. Para o cobre fundido, a resistência à tração é de 25.000 p.s.i., enquanto para o cobre laminado ou extrudado a resistência à tração sobe para uma faixa de 40.000 p.s.i. a 67.000 p.s.i.

Na construção aeronáutica, o cobre é usado, principalmente nos sistemas elétricos, para barras de ligações elétricas, conectores e arames de freno.

A principal liga de cobre é feita com o berílio. É de desenvolvimento relativamente recente contendo, cerca de 97% de cobre, 2% de berílio e níquel.

A principal característica dessa liga é a de que suas propriedades físicas podem ser amplamente melhoradas através do tratamento térmico, subindo a resistência à tração de 70.000 p.s.i., com o metal normalizado, até à 200.000 p.s.i. com tratamento térmico. A resistência da liga à fadiga e ao desgaste, fazem dela, conveniente para a confecção de diafragmas, rolamentos e buchas de precisão, gaiolas das esferas e molas de pressão.

Latão é uma liga de cobre contendo zinco e uma pequena quantidade de alumínio, ferro, chumbo, manganês, níquel, fósforo e estanho. Latão contendo 30% a 35% de zinco é muito dúctil, mas se essa percentagem subir para 45%, sua resistência aumenta bastante.

O metal MUNTZ é o latão contendo 60% de cobre 40% de zinco. Tem qualidades excelentes de resistência à corrosão na água salgada. Sua resistência é aumentada por tratamento térmico.

Quando fundida essa liga tem resistência limite à tração de 50.000 p.s.i. e pode sofrer um alongamento de 18%. É usada na fabricação de parafusos e porcas, assim como de componentes que venham a ter contato com a água salgada.

O latão vermelho, algumas vezes chamado de bronze por causa do seu teor de estanho, é usado em braçadeiras das linhas de combustível e óleo. Esse metal presta-se bem a fundição, com bom acabamento, dispensando, algumas vezes, a usinagem.

Os bronzes são ligas de cobre contendo estanho. Os bronzes verdadeiros têm até 25% de estanho, mas aqueles com menos de 11% são mais utilizáveis, especialmente para braçadeiras de tubos.

Entre as ligas de cobre estão as ligas de cobre-alumínio, das quais os bronzes ao alumínio são de grande uso em aviação. Teria uma maior utilização em estruturas, se não fosse a relação peso-resistência comparada com ligas de aço.

Bronzes de alumínio trabalhados a frio são quase tão fortes e dúcteis como o aço de médio carbono, além de possuir elevada resistência à corrosão por ar, água salgada e produtos químicos. São facilmente forjáveis, lamináveis a quente ou a frio, sendo que algumas reagem favoravelmente ao tratamento térmico.

Essas ligas de cobre contêm até 16% de alumínio (entre 5% e 11%, normalmente), a qual outros metais, como o ferro, o níquel ou o manganês, podem ser adicionados.

Os bronzes ao alumínio têm qualidades, como resistência à ruptura, grande resistência à tração, dureza, além de resistir bem a impactos e à fadiga. Graças a essas qualidades, esses bronzes são utilizados na fabricação de diafragmas, engrenagens e bombas.

Os bronzes ao alumínio são disponíveis em hastes, barras, placas, chapas, tiras e forjados.

Bronze ao alumínio fundido, formado de 89% de cobre, 9% de alumínio e 2% de outros elementos, tem alta resistência à tração, além de ductilidade, resistência à corrosão, aos impactos e à fadiga.

Graças a essas características, bronzes ao alumínio fundidos são usados como embruchamento e componentes de bombas. Têm também aplicação em meios agressivos, como água salgada e gases corrosivos.

Bronze ao manganês tem resistência à tração excepcionalmente elevada, flexibilidade e resistência à corrosão.

É uma liga que pode ser conformada, laminada ou extrudada em qualquer forma. É geralmente usado na fabricação de engrenagens e outros componentes do sistema de trem de pouso.

Bronze-silício é um desenvolvimento relativamente recente, composto de 95% de cobre, 3% de silício, além de manganês, ferro, zinco, estanho e alumínio.

Embora não seja propriamente um bronze (considerando a pequena quantidade de estanho), o bronze-silício tem elevada resistência à tração e à corrosão.

Monel

O MONEL, a principal liga tendo por metal base o níquel, combina as propriedades desse metal de alta resistência, à tração com excelente resistência à corrosão. Essa liga consiste de 68% de níquel, 29% de cobre, 0,2% de ferro, 1% de manganês e 1,8% de outros elementos. Não pode ser endurecida por tratamento térmico.

O MONEL pode ser fundido, trabalhado a quente e a frio, podendo também ser soldado. O seu emprego, quanto às suas características mecânicas, equivale ao aço.

Quando forjado e normalizado tem resistência à tração de 80.000 p.s.i. Esse valor pode ser aumentado, por trabalho a frio, para 125.000 p.s.i., suficiente para ser qualificado como uma liga flexível.

O MONEL tem sido utilizado com sucesso para engrenagens e correntes para operar trens de pouso retráteis e para componentes estruturais sujeitos à corrosão.

Em aviação, o MONEL é usado para componentes submetidos a esforços que exijam resistência á tração e à corrosão, como dutos de exaustão, além de partes de carburadores, como válvulas de agulha (dosadores), etc.

K - Monel

O K-MONEL é uma liga não-ferrosa, contendo principalmente níquel, cobre e alumínio. É produzida pela adição de uma pequena quantidade de alumínio à formulação do MONEL. É resistente à corrosão e capaz de ser endurecido por tratamento térmico.

O K-MONEL tem sido usado com sucesso em engrenagens e componentes estruturais de aeronaves que sejam sujeitos a ataques corrosivos. É uma liga não-magnetizável, qualquer que seja a temperatura a ser exposta. Chapas de K-MONEL podem ser soldadas com sucesso, tanto por solda elétrica, quanto por solda oxi-acetilênica.

Magnésio e ligas de magnésio

O magnésio, o metal estrutural mais leve que existe, é um metal cor prata esbranquiçada que pesa só dois terços do que pesaria uma peça de alumínio de mesmas dimensões. O magnésio não possui suficiente resistência para fins estruturais em seu estado puro, porém pode ser ligado ao zinco, alumínio ou manganês, produzindo ligas de altíssima relação resistência/peso, inigualável, comparativamente aos metais comumente usados.

O magnésio é, provavelmente, o mais largamente distribuído pela natureza, que qualquer outro metal. Pode ser obtido de minérios, como a dolomita e a magnesita, ou da água do mar, salmouras e soluções usadas de potassa. Uma milha cúbica de água do mar contém 10 milhões de libras de magnésio.

Algumas das aeronaves empregadas hoje em dia chegam a empregar meia tonelada, para ser utilizado numa centena de pontos vitais. Alguns painéis das asas são inteiramente fabricados de ligas de magnésio, pesando 18% menos que os painéis de alumínio, tendo voado muitas horas sem problemas. Entre os componentes de uma aeronave que são fabricados com magnésio com substancial redução de peso, estão: portas do alojamento da bequilha, revestimento dos flapes e dos ailerons, pontas de asa, carenagens do motor, tanques de óleo do motor e hidráulico, painéis de instrumentos, alojamento das garrafas de oxigênio, dutos e assentos.

As ligas de magnésio possuem boas características de fundição. Suas propriedades, em comparação ao alumínio, lhes são favoráveis. Na forjaria são normalmente usadas prensas hidráulicas, embora, sob certas condições, o forjamento possa ser efetivado com prensas mecânicas ou martelos.

As ligas de magnésio são susceptíveis a tratamentos térmicos como recozimento (normalização), têmpera, envelhecimento, etc. Chapas e placas de magnésio são normalizados antes de serem laminadas.

O tratamento de solubilização a quente é realizado com o propósito de diluir, na liga, a maior quantidade possível de ingredientes, o que resulta em máxima resistência a tração e ductilidade. O envelhecimento é aplicado para fundidos após um tratamento térmico, onde a máxima dureza e resistência à deformação são desejadas.

O magnésio encerra em si o perigo de queimar-se, de forma imprevisível. Quando o componente tem uma seção grande, sua alta condutividade térmica impossibilita a auto-ignição, evitando a combustão. Ele não se incendeia até que o ponto de fusão seja alcançado, em torno de 650º C (1200º F). Entretanto, magnésio em pó ou pedaços pequenos, entra em auto-ignição facilmente.

Precauções devem ser tomadas para evitar, se possível, que tal ocorra. Havendo a possibilidade de ocorrer fogo, ele pode ser extinto com extintor de pó, como pedra-sabão em pó ou grafite em pó. Extintores de água, líquidos em geral e espuma, tendem a fazer com que o magnésio se queime mais rapidamente, podendo causar até explosão.

Ligas de magnésio produzidas nos Estados Unidos, consistem de magnésio ligados em proporções variáveis ao alumínio, manganês e zinco. Essas ligas são designadas por uma letra do alfabeto, seguida do número 1, indicando alta pureza e máxima resistência à corrosão.

Muitas das ligas de magnésio fabricadas nos Estados Unidos são produzidas pelo "*Dow Chemical Company*" e têm o nome genérico comercial de ligas *Dowmeta*l. A distinção entre essas ligas é feita por uma letra após a marca. Assim tem-*se Dowmetal J, Dowmetal M*, etc.

Outro fabricante americano de ligas de magnésio é *American Magnesium Corporation*, uma subsidiária da *ALCOA* (*Aluminum Company of America*). Essa companhia usa um sistema de identificação idêntico ao usado para ligas de alumínio, com a exceção de que a designação das ligas de magnésio são precedidas das letras AM. Assim, AM240C é uma liga fundida; já AM240C4 é a mesma liga tratada termicamente. AM3S0 é uma liga trabalhada e normalizada; já AM3SRT é a mesma liga laminada após tratamento térmico.

REPOSIÇÃO DE METAIS DE UTILIZAÇÃO AERONÁUTICA

Na seleção de metais substitutos para a manutenção e reparo de aeronaves, é muito importante verificar o manual de reparos estruturais apropriado.

Os fabricantes de aeronaves projetam os membros estruturais para atender um requisito específico de carga para uma aeronave específica. Os métodos para reparação desses membros, aparentemente idênticos na construção, vão variar muito para aeronaves diferentes.

Quatro requisitos devem ser levados em conta, quanto a seleção de metais substitutos. O primeiro, e mais importante deles, é a manutenção da resistência da estrutura original. Os três outros são: (1) Manutenção do contorno ou forma aerodinâmica; (2) Manutenção do peso o mais próximo possível do original (admitindo-se um pequeno acréscimo); e (3) Manutenção das características de resistência à corrosão.

PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico é uma série de operações, envolvendo o aquecimento e o resfriamento de metais no estado sólido. Seu propósito é o de mudar as propriedades mecânicas ou a combinação de propriedades mecânicas, tal que o metal se torne mais adaptável e seguro para um propósito definido.

Através do tratamento térmico suas características de dureza resistência à tração, resistência ao impacto, etc. são melhoradas. Também pode torná-lo mais macio, mais dútil. Na verdade, o tratamento térmico não cria características para o metal, mas melhora algumas em detrimento de outras. Por exemplo: ao ser endurecido, o metal torna-se quebradiço.

Os vários processos de tratamento térmico são semelhantes no sentido de todos envolverem aquecimento e resfriamento do metal. Entretanto, as diferenças aparecem com as diferentes temperaturas de aquecimento, a velocidade com que são resfriados às temperaturas a que são resfriados, etc. Tudo afeta o resultado final.

Os tipos mais comuns de tratamento térmico para metais ferrosos são: têmpera, revenimento, normalização, recozimento e cementação.

A maioria dos metais não ferrosos pode ser recozida e muitos deles podem ser endurecidos por tratamento térmico. Entretanto, há somente um metal não ferroso, o titânio, que pode ser cementado; porém nenhum pode ser revenido ou normalizado.

Estrutura Interna dos Metais

Os resultados obtidos pelo tratamento térmico dependem em grande parte da estrutura do metal, e da maneira através da qual essa estrutura muda quando é aquecida ou resfriada. Um metal puro não pode ser temperado (endurecido) por tratamento térmico, porque há pouca mudança em sua estrutura interna causada pelo aquecimento.

Já a maioria das ligas metálicas responde bem ao tratamento térmico, posto que o aquecimento e o resfriamento produzem mudanças significativas nas suas estruturas internas.

Uma liga metálica pode estar na forma de uma solução sólida, de uma mistura mecânica ou de uma combinação dessas duas. Quando uma liga metálica está na forma de uma solução sólida, os elementos e compostos que formam a liga são dissolvidos, um no outro, da mesma forma que uma colher de sal se dissolve na água, não sendo possível identificá-los nem mesmo ao microscópio.

Quando dois ou mais elementos ou compostos são misturados, mas podem ser identificados através do exame ao microscópio, temos uma mistura mecânica.

Uma mistura mecânica pode ser comparada a uma mistura de areia e brita usada no concreto.

Tanto a areia como a brita são visíveis e distintas. Tal como a areia e a brita, que são mantidas ligadas por uma matriz de cimento, outros materiais de uma liga podem ser a ela ligados na matriz formada pelo metal base.

Uma liga na forma de mistura mecânica em temperatura normal pode mudar para uma solução sólida, uma vez aquecida.

Quando resfriada até a temperatura ambiente, a liga metálica pode voltar a sua estrutura original.

Pode também ocorrer que, sendo resfriada, permaneça em solução sólida ou forme uma combinação de solução sólida com mistura mecânica.

Uma liga metálica que consiste da combinação de solução sólida com mistura mecânica, em temperatura normal, pode transformar-se em solução sólida quando aquecida.

Quando resfriada, a liga pode permanecer como solução sólida, retornar a sua estrutura original ou formar uma solução complexa.

EQUIPAMENTO PARA TRATAMENTO TÉRMICO

A eficiência do tratamento térmico exige um controle acurado sobre todos os fatores que controlam o aquecimento e o resfriamento do metal. Tal controle só é possível quando o equipamento apropriado está disponível, e o equipamento fica a disposição para atender um trabalho específico.

Assim, o forno deve ter tamanho e tipo apropriados, além de ter controle sobre a temperatura de operação, mantendo-a rigorosamente dentro dos limites prescritos.

Até mesmo a atmosfera que envolve o forno, afeta o tratamento térmico, no qual a peça está sendo submetida. Posteriormente, o equipamento de têmpera e o fluido refrigerante a ser usado para a têmpera (água, óleo, salmoura, etc.) devem ser selecionados para determinar os parâmetros a serem alcançados pelo tratamento térmico.

Finalmente, deverão existir equipamentos apropriados para o manuseio das peças e dos materiais, para a limpeza dos metais e para o desempenamento dessas peças.

Fornos e banhos de sal

Há muitos tipos e tamanhos diferentes de fornos usados para tratamento térmico. Como regra geral, os fornos são projetados para operar em determinadas faixas de temperatura; a sua utilização em outras faixas que não as previstas no projeto original, resulta em trabalhos de baixa qualidade.

Além disso, a sua utilização em temperaturas muito elevadas (próxima ou acima da temperatura máxima) reduz a vida do forno e aumenta seus custos de manutenção.

Fornos alimentados a combustível (óleo ou gás) necessitam de ar insuflado por ventoinha ou compressor, para manter a combustão adequadamente.

Nesses fornos a combustão tem lugar externamente à câmara de trabalho. Quando é utilizado um forno desse tipo, deve-se ter o cuidado de evitar que a chama penetre na câmara, onde as peças estão sendo submetidas a tratamento.

Em fornos elétricos, geralmente o calor é desprendido de resistências elétricas. Projetos bem feitos de fornos elétricos prevêem o emprego de resistências adicionais nos pontos onde há perda de calor. Esses fornos operam até 2500º F (cerca de 1350º C) utilizam-se resistências sinterizadas de carbonetos.

Medida da temperatura e controle

A temperatura de um forno é medida através de um pirômetro, um instrumento termoelétrico. O pirômetro baseia-se na diferença de potencial criada por um par termoelétrico (termopar), tanto maior quanto maior for a temperatura. Um pirômetro completo é composto do termopar, cabos elétricos e medidor.

Os fornos projetados para basicamente fazerem o revenimento podem ser aquecidos à gás ou à eletricidade, sendo que alguns possuem uma ventoinha para a circulação do ar aquecido.

Banhos de sal são disponíveis, tanto para têmpera quanto para revenimento. Dependendo da composição do banho de sal, a temperatura de aquecimento pode ser conduzida de 325º F (cerca de 160º C) até 2450º F (cerca de 1350º C). Ao invés do sal pode ser usado o chumbo fundido de 650º F (cerca de 345º C) até 1700º F (cerca de 925º C). A taxa de aquecimento nos banhos de sal ou chumbo fundidos é bastante rápida nos fornos (mais rápidas do que aquecimento ao ar).

Os fornos para tratamento térmico diferem em tamanho, forma, capacidade, construção, operação e controle. Podem ser circulares ou retangulares; podem ser montados sobre pedestais, ou diretamente no chão, ou mesmo enterrados no chão.

Quando o metal estiver pronto para receber tratamento térmico, deverá ser imerso no banho de sal ou chumbo, para aumento de temperatura; o banho é feito dentro de cadinho ou pote apropriado.

O tamanho e a capacidade de um forno para tratamento térmico dependem do uso que se queira fazer dele. Um forno deve ser capaz de aquecer rápida e uniformemente, independente do tamanho da peça a ser submetida a tratamento térmico.

Como regra geral, os fornos mais comuns, devem ter o dobro do comprimento e três vezes a largura da peça a ser tratada.

A precisão na medida da temperatura é essencial a um bom tratamento térmico. O método mais comum é com a utilização de um termopar, como cobre-constantan (até 700º F ou 370º C), ferro-constantan (até 1400º ou 760º C) ou cromel-alumel (até 220º F ou 1200º C). O termopar constituído de um contato formado da liga de platina (90%) e ródio (10%) e outro contato formado da liga de platina (87%) e ródio (13%), medem temperaturas até 2800º F ou 1540º C.

A vida útil de um termopar é afetada pela temperatura máxima de sua faixa de utilização (freqüentemente sobrepassa-se essa temperatura) bem como pela atmosfera que envolve o forno.

O ferro-constantan é mais indicado para uso em atmosfera redutora; o cromel-alumel, para atmosfera oxidante.

Os termopares são comumente encapsulados por material cerâmico, na sua extremidade mais quente para protegê-los da atmosfera dos fornos. Faz-se necessário conectar os dois contatos do termopar a um microvoltímetro para que seja medida a diferença de potencial gerada. Para que a temperatura da peça submetida ao tratamento térmico seja acurada, faz-se necessário a aproximação do termopar à mesma.

É desejável também um eficiente sistema de controle da temperatura do forno, de modo a mantê-la ajustada no valor desejado.

Há pirômetros que indicam a temperatura no momento da medição (instantânea); outros fazem o registro da variação da temperatura durante o tratamento térmico.

Os pirômetros modernos são acoplados aos sistemas de ajuste do forno, mantendo-o à temperatura desejada. Instrumentos desse tipo são pirômetros com potenciômetro de controle. Eles possuem incorporados, um regulador de corrente e um mecanismo de operação como relé.

Aquecimento

O objetivo do aquecimento é transformar a perlita (uma mistura mecânica do carbono de ferro que existe numa condição microscópica) em austenita, tão logo o aço atinja uma temperatura crítica.

Uma vez que essa transição demanda um certo lapso de tempo, o incremento de temperatura, próximo à temperatura crítica, deve ser vagaroso. Geralmente a peça a ser tratada termicamente é inserida (estando na temperatura ambiente) com o forno em temperatura 300º F a 500 F (1500º C/250º C), abaixo da temperatura crítica, evitando-se assim que a temperatura da peça ultrapasse rapidamente a temperatura crítica.

Caso não haja um equipamento (pirômetro) para medir a temperatura, faz-se necessário estimá-la por outros meios.

Um meio barato, embora pouco acurado, é a observação da coloração do aço enquanto é tratada a peça. A pouco acurocidade deve-se, principalmente, ao fato da coloração ser afetada por vários fatores, como as condições de iluminação (natural ou artificial), o tipo de carepa (casca de óxido que se forma sobre a peça), etc.

O aço torna-se vermelho esmaecido a 1000º F (aproximadamente 540º C); com o aquecimento aumentando, a temperatura vai subindo, passando a coloração pelos vários matizes de vermelho, daí ao amarelo até o branco. Essa descrição está demonstrada, de modo esquemático, na Figura 6-64.

É também possível ter-se alguma idéia da temperatura de uma peça de carbono ou aço de baixo teor de carbono, para baixas temperaturas (usadas para revenimento), pela cor de uma fina camada de óxido que se forma em uma superfície limpa de aço, quando aquecida nessa faixa de temperatura.

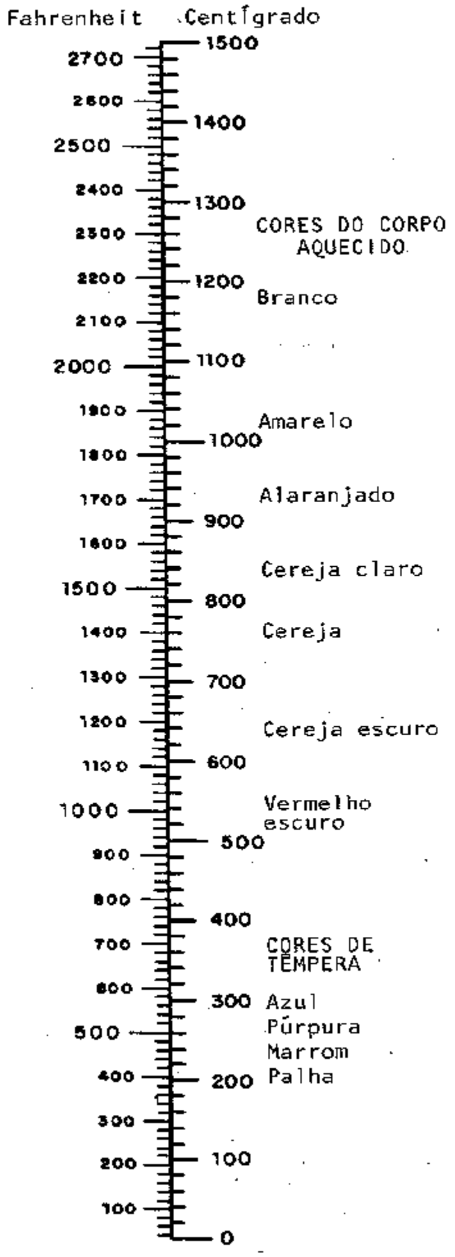


Figura 6-64 Conversão de temperatura e escala de cores de corpos para têmpera e revenimento

Atmosferas protetoras

É freqüentemente necessário ou desejável proteger o aço ou o ferro fundido da oxidação superficial (carepa) e perda de carbono das superfícies externas das peças. Fornos comerciais, entretanto, são geralmente equipados com alguns meios de controle da atmosfera.

O vapor d'água, um produto da combustão, é degenerador das peças trabalhadas (afeta sua superfície); assim, muitos fornos possuem meios de eliminá-lo. Para fornos não equipados com controle de atmosfera, uma variedade de fontes externas de gases específicos para substituição dessa atmosfera contaminada é disponível. Caso não haja nenhum controle disponível da atmosfera, alguma proteção pode ser dada recobrindo-se a peça a ser tratada com limalha ou cavacos de ferro fundido.

No caso em que o trabalho seja realizado em banho de sal ou chumbo fundido, o problema da prevenção da carepa ou descarburização fica simplificado.

Fornos a vácuo também são usados para recozimento (ou outro tratamento) dos aços, especialmente quando se deseja obter uma superfície livre de qualquer oxidação.

Rearranjamento da estrutura interna ("*soaking*")

Ao atingir a temperatura crítica (varia com a liga do aço), começa a haver um rearranjamento de sua estrutura interna. O período de tempo que a peça deve ser mantida nessa temperatura é o necessário para que haja o rearranjamento completo de sua estrutura interna. Depende, pois, da constituição da liga e das suas dimensões. Como regra geral, de 30 minutos a 1 hora, é um tempo suficiente.

Resfriamento

A velocidade de resfriamento vai determinar a estrutura interna, que será mantida no aço submetido a tratamento térmico. Várias velocidades são estabelecidas em função dos resultados que se deseje obter. O ar calmo (ar ambiente) é um meio lento de refrigeração, mas é mais rápido do que o resfriamento, dentro (e junto) com o próprio forno.

Os líquidos são os meios mais rápidos de resfriamento, sendo os mais usados para a têmpera do aço.

Os meios líquidos de resfriamento mais usados são: a água, a salmoura e o óleo. A salmoura é o meio mais rápido de resfriamento, seguido da água e do óleo.

Geralmente o banho de óleo é usado para aços-liga; a salmoura e a água, para aços-carbono.

Banhos

Os banhos têm ação somente pela sua capacidade de resfriar o aço. Não há nenhuma ação química, tampouco nenhuma qualidade é transferida do banho ao metal. A maior parte dos requisitos para banhos são atendidas pela água, pelas soluções aquosas de sal (cloreto de sódio) ou soda cáustica e por alguns tipos de óleo.

A salmoura é geralmente preparada com 5% a 10% de sal em água. Em adição à sua grande velocidade de resfriamento, a salmoura tem capacidade de remover a carepa do aço durante o banho. Já a capacidade de resfriamento, tanto da água como da salmoura, mais especificamente da água é consideravelmente afetada pela temperatura. Ambas devem ser mantidas abaixo de 60º F (cerca de 15º C).

Caso a massa do aço que está sendo imersa, tender a aumentar a temperatura do banho, este deve ser mantido em baixa temperatura, pela adição de gelo ou outro meio de refrigeração.

Há muitos banhos de óleo, especialmente preparados, no mercado; suas taxas de resfriamento não diferem muito entre si. Geralmente são usados óleos minerais com viscosidade ("saybolt") com índice 100 a 100º F (38º C). Ao contrário da água e da salmoura, o óleo tem sua mais rápida taxa de resfriamento em temperaturas mais elevadas; entre 100º F (38º C) a 140º F (60º C), por causa da diminuição da viscosidade nessa faixa de temperatura.

Quando o aço é imerso no banho, o líquido imediatamente em contato com a superfície aquecida se vaporiza. Esse vapor reduz sugnificativamente a absorção de calor. A agitação vigorosa da peça ou o uso de pulverização com líquido do banho são necessários para deslocar a camada de vapor, permitindo, então, a desejada taxa de resfriamento.

A tendência do aço para empenar ou trincar durante o resfriamento no banho é difícil de se prevenir, porque algumas partes das peças resfriam mais rapidamente que outras. As recomendações que se seguem auxiliam a reduzir a tendência ao empenamento:

1. A peça nunca deve ser atirada no banho de resfriamento. Deixando que a peça permaneça no fundo do banho, há tendência para que ocorra uma taxa de resfriamento na sua parte superior, causando empenamento e surgimento de trincas.
2. A peça deve ser agitada rapidamente para evitar que surja uma camada de vapor entre a peça e o banho, o que reduz a taxa de res-

friamento. Isso vai permitir a saída do calor para a atmosfera.

3. Peças com formas irregulares devem ser imersas no banho, de tal forma, que aquelas partes mais "massudas" (com maior volume) entrem primeiro em contato com o banho.

Equipamentos de resfriamento

O tanque de resfriamento deve ser de tamanho apropriado para permitir o manuseio do material a ser resfriado. Banhos de circulação de fluido e refrigeradores podem ser usados para manter a temperatura desejada, aproximadamente constante, quando o serviço exige uma grande quantidade de banhos.

A fim de se evitar a concentração de sal nos banhos de salmoura, deve ser providenciada a adição de água nesses banhos.

A localização do tanque de banho, com relação ao forno, onde se dá o tratamento térmico é importante.

O tanque deve estar localizado, de tal forma, que permita a rápida transferência da peça do forno ao banho. Um lapso de tempo maior que alguns segundos acarretará, em alguns casos, a perda da eficiência do tratamento térmico.

Quando um material de pouca espessura estiver sendo tratado, deve ser agregado a uma massa maior de metal, de sorte a manter o calor (e a temperatura) durante o percurso do forno ao tanque. Um tanque de lavagem adicional deve existir por perto para a remoção do sal que se deposita sobre a peça, assim que sai do banho de salmoura.

TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS FERROSOS

A primeira consideração importante no tratamento térmico de uma peça de aço é o conhecimento de sua composição química. Com isso ficará determinado o seu ponto crítico superior.

Sendo o ponto crítico superior conhecido, a próxima consideração é a taxa de aquecimento e resfriamento a ser usada.

A condução dessas operações envolve+ o uso de formas de aquecimento uniforme, controles apropriados de temperatura e banhos de resfriamento convenientes.

Comportamento do aço durante o aquecimento e o resfriamento

A mudança na estrutura interna de um metal ferroso ocorre pelo aquecimento a uma temperatura acima de seu ponto crítico, onde o metal é mantido por um determinado intervalo de tempo, durante o qual ocorre o reordenamento de sua estrutura, após o que, é resfriado até a temperatura ambiente, segundo condições predeterminadas.

Em temperatura ambiente, o carbono participa do aço na forma de carboneto de ferro, como partículas espalhadas através da estrutura cristalina do ferro (ferrita). A quantidade, tamanho e distribuição dessas partículas determinam a dureza do aço.

Em temperaturas elevadas, o carbono participa do aço dissolvido na estrutura cristalina do ferro, na forma de uma solução sólida chamada "austenita", aparecendo as partículas de carboneto somente após o aço ter sido resfriado.

Caso o resfriamento seja lento, a partículas de carboneto apresentam-se grosseiras e em pequena quantidade; o aço resultante é macio (pouco duro). Caso o resfriamento seja rápido, quando se usa banho de água ou óleo, o carbono se precipita como uma névoa de partículas muito finas de carboneto; o aço resultante é duro.

A capacidade que têm os carbonetos de se dissolverem em austenita é a base do tratamento térmico do aço. As temperaturas nas quais esta transformação tem lugar são chamadas críticas e dependem da composição do aço, sendo que basicamente, o teor de carbono é quem dita essa temperatura.

Endurecimento (têmpera)

Ferro puro, ferro forjado ou aços com baixíssimo teor de carbono não podem ser apreciavelmente endurecidos pelo tratamento térmico, quando há pouco dos elementos capazes de endurecê-lo (carbono). O ferro fundido pode ser endurecido, porém sua capacidade de endurecimento é pequena.

Quando o ferro fundido é resfriado rapidamente, forma-se ferro branco, que é duro e quebradiço; quando resfriado lentamente, forma-se ferro cinzento, que é macio mas quebradiço (com impactos).

Como já foi dito, o endurecimento do aço depende do seu teor de carbono. Aumentando o seu teor de carbono, aumentará a capacidade do aço endurecer.

Isso vai até um certo limite de carbono. Acima de 0,85% de carbono não há mais aumento do endurecimento.

Para a maioria dos aços, o tratamento de endurecimento (têmpera) consiste do aquecimento do aço a uma temperatura pouco acima da temperatura crítica, onde aguarda um determinado espaço de tempo, após, é rapidamente resfriado em óleo, água ou salmoura. Embora a maior parte dos aços deva ser resfriada rapidamente para têmpera, alguns poucos podem ser resfriados ao ar ambiente. A têmpera aumenta a dureza e a resistência do aço, mas a faz menos dútil.

Quando temperando um aço carbono, deve-se abaixar sua temperatura para menos de 1.000º F (540º C) em menos de 1 segundo. Caso o tempo de resfriamento para menos de 1.000º F exceda 1 segundo, a austenita começa a se transformar em perlita de grão muito fino.

Essa perlita varia em dureza, mas é mais dura que a perlita formada pelo recozimento, porém muito mais macia que a martensita desejada. Após atingida a temperatura de 1000 º F (quando do resfriamento), o resfriamento deve continuar com bastante velocidade, caso a estrutura final desejada seja toda martensitica.

Quando elementos de liga são adicionados ao aço, o lapso de tempo para a queda de temperatura até 1000º F aumenta em 1 segundo em relação aos aços-carbono. Assim, um meio refrigerante (banho) não muito severo, é capaz de produzir a têmpera de aços-liga.

Por causa das elevadas tensões internas causadas pela têmpera, o aço pode ser revenido antes de esfriar totalmente. Nesse caso, a peça deve ser removida do banho de resfriamento a uma temperatura de 200º F (cerca de 95ºC), posto que dessa temperatura para baixo, até a temperatura ambiente, é quando começam a surgir as trincas.

As temperaturas de têmpera e dos banhos de refrigeração estão listadas na tabela 6-65.

Precauções com a têmpera

É necessário que se tenham disponíveis uma variedade de formas e tamanhos de tenazes para manusear o aço aquecido. Deve ser lembrado que o resfriamento da parte da peça que fica em contato com as tenazes é alterado, sendo que tal área pode não ser endurecida, principalmente se o aço que está sendo tratado requeira tratamento somente superficial. Peças pequenas podem ser amarradas ou mergulhadas, estando dentro de cestos de arame.

A fim de se evitar distorção da peça de aço, durante o banho de resfriamento, em alguns casos são usados suportes especiais e fixações para manter a peça com sua forma original.

Quando se deseja que somente uma parte da peça seja endurecida, partes dessa peça devem ser protegidas através da cobertura com cimento "alundum" (alumina fundida em forno elétrico) ou qualquer outro material isolante. O endurecimento seletivo também pode ser através de jatos de água, ou óleo, projetados para direcionar esses jatos de resfriamento diretamente para os pontos ou áreas a serem endurecidos. Também pode ser feito de outra forma (não pelo resfriamento de áreas específicas mas pelo aquecimento de áreas selecionadas), usando-se aquecimento por indução elétrica ou chama dirigida, muito usada em produção seriada em larga escala.

Alguns aços-carbono e algumas ligas de aço têm uma taxa de resfriamento tão crítica que têm de ser resfriados em água ou salmoura. Em geral, peças de seção muito complicadas não devem ser feitas com esses tipos de aço por causa da tendência que os aços têm em empenar ou trincar durante o endurecimento. Tais peças devem ser feitas de aços capazes de serem temperados em óleo ou ar.

Revenimento

O revenimento reduz a fragilidade conferida pela têmpera, da mesma forma que introduz características físicas definidas ao aço. O revenimento sempre segue (nunca precede) o processo de têmpera. Além de reduzir a fragilidade, o revenimento reduz a dureza do aço.

O revenimento é sempre conduzido a temperatura menores que aquela do ponto crítico do aço. Com respeito a isso, o revenimento difere da normalização, do recozimento e da têmpera, os quais requerem temperaturas acima do ponto crítico.

Quando o aço temperado é reaquecido, o revenimento começa a 212º F (± 100º C) e continua a medida que a temperatura é aumentada até o ponto crítico. Pela seleção de uma temperatura definida, a dureza e a resistência resultantes podem ser determinadas. Temperaturas aproximadas para várias resistências à tração estão listadas na Figura 6-65. O tempo mínimo na temperatura de revenimento deve ser de uma (1) hora.

Caso a peça tenha mais de uma polegada de espessura, o tempo deve ser aumentado em uma hora para cada polegada adicional de espessura.

Aços revenidos usados pela indústria aeronáutica devem ter de 125.000 a 200.000 libras por polegada quadrada de resistência final à tração.

Geralmente, a taxa de resfriamento do revenimento não tem efeito na estrutura final; entretanto, o aço é geralmente resfriado em ar calmo após ter sido removido do forno.

Recozimento

O recozimento do aço resulta num metal de grão fino, macio e dúctil, sem tensões internas ou deformações. No estado de recozimento, o aço tem a sua menor resistência. Em geral, o recozimento é o oposto da têmpera.

O recozimento do aço é levado a termo através do aquecimento do metal pouco acima do limite superior de temperatura do ponto crítico, permitindo-se, durante um determinado intervalo de tempo, que toda a massa metálica atinja essa temperatura, após o que, o material é resfriado muito lentamente (em geral, mantido e resfriado junto com o próprio resfriamento natural do forno).

A Figura 6-65 apresenta valores diversos de temperaturas para correspondentes ligas de aço.

O tempo de permanência, à temperatura acima do ponto crítico, é de aproximadamente uma hora por polegada de espessura do material. Para que seja conseguida a maior maciez do aço, o metal deve ser resfriado lentamente.

O resfriamento lento é obtido desligando-se o forno (se for elétrico) ou retirando-se a chama, aguardando-se o resfriamento natural do conjunto forno/metal até 900º F (± 480º C) ou menos, após, deve-se retirar o metal do forno, aguardando o seu resfriamento ao ar. Outro método usado é de enterrar o aço aquecido em cinzas, areia ou, outra substância, má condutora de calor.

Normalização

A normalização remove as tensões internas causadas pelo tratamento térmico, soldagem, fundição, conformação mecânica ou usinagem em geral. Tensões, caso não sejam controladas, fatalmente resultarão em falha. Por causa da necessidade de se obterem as melhores propriedades físicas, os aço na indústria aeronáutica são, geralmente, usados no estado normalizado; raramente, entretanto, no estado recozido.

Um dos usos mais importantes do processo de normalização, em trabalhos aeronáuticos, diz respeito a peças e componentes soldados. A soldagem desenvolve tensões junto aos materiais adjacentes. Como se isso não bastasse, a soldagem, por si mesma, é uma estrutura de fundição ao passo que o material soldado é, via de regra, de estrutura de laminação. Esses dois tipos de estruturas têm diferentes tamanhos de grãos; assim, para refinar o grão e também aliviar as tensões internas, todas as partes soldadas devem ser normalizadas após terem sido fabricadas.

A normalização é realizada pelo aquecimento do aço acima da temperatura do ponto crítico superior, sendo, após, resfriado ao ar. Como o resfriamento em ar calmo é mais rápido que aquele em que o metal resfria junto com o forno, o metal resfriado ao ar é mais duro e resistente que o metal recozido. As temperaturas recomendadas para a normalização para os vários tipos de aços aeronáuticos são listados na Figura 6-65.

CEMENTAÇÃO

A cementação é um processo que cria uma camada dura, resistente ao desgaste, sobre uma superfície ou envolvendo um miolo forte, mas flexível. A cementação é ideal para componentes que requeiram uma superfície resistente ao desgaste e, ao mesmo tempo, devam ser bastante flexíveis internamente para resistir as cargas aplicadas.

Os aços mais convenientes para cementação são os de baixo teor de carbono e os de baixa liga. Se aços de alto carbono forem cementados, a camada endurecida pode ser tão espessa que atinja o miolo da peça tornando-a quebradiça.

Na cementação, a superfície do metal é alterada quimicamente pela introdução de elevada quantidade de carbono. Se, ao invés de carbono, introduzir-se nitrogênio, o processo chama-se nitretação. O miolo (abaixo da superfície alguns *angstrons*) não é afetado quimicamente, ou seja: a introdução de carbono ou nitrogênio não atinge o interior da peça. Quando tratada termicamente, a superfície responde ao endurecimento, enquanto o miolo se manterá flexível. As formas comuns de cementação são: a carbonetação (com carbono); a cianetação (com cianetos, compostos de carbono e nitrogênio); e a nitretação (com nitrogênio). Entretanto, em trabalhos aeronáuticos, a cianetação não é usada.

Carbonetação

A carbonetação comumente chamada cementação. É um processo em que o carbono é adicionado a uma superfície de aço de baixo teor de carbono.

Assim, após a introdução do carbono, a superfície da peça passa a ter aço de alto teor de carbono, e seu miolo continua como antes, ou seja, com baixo teor de carbono. Quando essa peça passa por um tratamento térmico, como a têmpera, cada parte age como agiriam seus tipos de aço isoladamente. A parte externa (superfície), endurece ou pega têmpera; e a parte interna (miolo) não pega têmpera, permanecendo macia e flexível.

Um dos métodos comuns de carbonetação é chamado de "*pack carburizing*". Nesse método, a peça a ser tratada é confinada num recipiente cheio de carvão em pó ou outro material rico em carbono, que é selado com argila refratária, colocado em um forno aquecido aproximadamente a 1700º F (± 925º C), sendo mantido nessa temperatura por várias horas.

A medida que a temperatura do recipiente aumenta, forma-se monóxido de carbono no seu interior, que sendo incapaz de liberar-se, acaba por se combinar com o ferro gama (δ Fe), uma das estruturas cristalinas do ferro, que existe nessa faixa de temperatura, na superfície da peça de aço.

Aço Nº	Temperaturas			Banhos de resfriamento médio (n)	Temperatura de revenimento para resistência a tensão (p.s.i.)				
	Normalizaçao	Recozimento	Têmpera		100,000	125,000	150,000	180,000	200,000
	°F	°F	°F		°F	°F	°F	°F	°F
1020	1,650-1,750	1,600-1,700	1,575-1,675	Water	—	—	—	—	—
1022(x1020)	1,650-1,750	1,600-1,700	1,575-1,675	Water	—	—	—	—	—
1025	1,600-1,700	1,575-1,650	1,575-1,675	Water	(a)	—	—	—	—
1035	1,575-1,650	1,575-1,625	1,525-1,600	Water	875	—	—	—	—
1045	1,550-1,600	1,550-1,600	1,475-1,550	Oil or water	1,150	—	—	(n)	—
1095	1,475-1,550	1,450-1,500	1,425-1,500	Oil	(b)	—	1,100	850	750
2330	1,475-1,525	1,425-1,475	1,450-1,500	Oil or water	1,100	950	800	—	—
3135	1,600-1,650	1,500-1,550	1,475-1,525	Oil	1,250	1,050	900	750	650
3140	1,600-1,650	1,500-1,550	1,475-1,525	Oil	1,325	1,075	925	775	700
4037	1,600	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil or water	1,225	1,100	975	—	—
4130(x4130)	1,600-1,700	1,525-1,575	1,575-1,625	Oil (c)	(d)	1,050	900	700	575
4140	1,600-1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	1,350	1,100	1,025	825	675
4150	1,550-1,600	1,475-1,525	1,500-1,550	Oil	—	1,275	1,175	1,050	950
4340(x4340)	1,550-1,625	1,525-1,575	1,475-1,550	Oil	—	1,200	1,050	950	850
4640	1,675-1,700	1,525-1,575	1,500-1,550	Oil	—	1,200	1,050	750	625
6135	1,600-1,700	1,550-1,600	1,575-1,625	Oil	1,300	1,075	950	800	750
6150	1,600-1,650	1,525-1,575	1,550-1,625	Oil	(d)(e)	1,200	1,000	900	800
6195	1,600-1,650	1,525-1,575	1,500-1,550	Oil	(f)	—	—	—	—
NE8620	—	—	1,525-1,575	Oil	—	1,000	—	—	—
NE8630	1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	—	1,125	975	775	675
NE8735	1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	—	1,175	1,025	875	775
NE8740	1,625	1,500-1,550	1,500-1,550	Oil	—	1,200	1,075	925	850
30905	—	(g)(b)	(i)	—	—	—	—	—	—
51210	1,525-1,575	1,525-1,575	1,775-1,825 (j)	Oil	1,200	1,100	(k)	750	—
51335	—	1,525-1,575	1,775-1,850	Oil	—	—	—	—	—
52100	1,625-1,700	1,400-1,450	1,525-1,550	Oil	(f)	—	—	—	—
(16-2) (1)	— —	— —	— 1,700-1,725	— Oil	(m)	—	—	—	—

a) Retirar a 1150º F para resistência a tensão de 70.000 p.s.i.

b) Para a têmpera de molas retirar de 800º a 900º F Dureza Rockwell C-40-45.

c) Barras ou forjados podem ser banhados em água de 1.500º a 1.600º F.

d) O resfriamento a ar da temperatura de normalização produzirá uma resistência a tensão de aproximadamente 90.000 p.s.i.

e) Para a têmpera de molas retirar de 850º a 950º F Dureza Rockwell.

f) Retirar de 350º a 450ºF para remover deformações causadas pelo banho. Dureza Rockwell C-60-65.

g) Recozimento de 1.600º a 1.700º F para remover estresses causados por soldas ou usinagem a frio. Só pode ser aplicado ao aço contendo titanio ou "columbium)".

h) Recozimento de 1.900º a 2.100º F, para produzir o máximo amolecimento e resistência a corrosão. Resfriar no ar ou banho em água.

i) Endurecimento somente por usinagem a frio.

j) O menor valor para chapas de 0,06" e mais finas. O valor médio para chapas e arames de 0,125". O maior valor para forjados.

k) Não recomendado para resistência a tensão causadas por fracos impactos.

l) AN-QQ-S-770 - é o recomendado para, antes da têmpera, o aço resistente a corrosão (16 Cr-2 Ni) seja banhado em óleo da temperatura de 1,875º a 1.900º F, em seguida, em período de resfriamento de ½ hora nessa temperatura. Para obter uma resistência a tensão de 115.000 p.s.i., a temperatura da têmpera deverá ser de aproximadamente 525º F. Manter nessa temperatura por 2 horas é o recomendado. Temperatura de têmpera entre 700º e 1.000º F não serão aprovadas.

m) Retirar a aproximadamente 800º F e resfriar em ar frio para uma dureza Rockwell de C-50.

n) A água usada para banhos não deverá exceder 65º F. O óleo usado para banhos deverá estar entre 80º e 150º F de temperatura.

Figura 6-65 Procedimentos no tratamento a quente dos aços.

A profundidade, até aonde o carbono penetra na peça, vai depender do tempo em que a peça é mantida no forno a essa temperatura

Para se ter uma idéia, quando a peça de aço é mantida nessas condições de aquecimento por oito horas, o carbono penetra a uma profundidade de 0,062 in (cerca de 1,6 milímetros)

Outro método de carbonetação chamado "*gás carburizing*", um material rico em carbono, é introduzido na atmosfera do forno.

A atmosfera carburizante é produzida pelo uso de gases diversos ou pela queima de óleo, madeira ou qualquer outro material rico em carbono.

Quando a peça de aço é aquecida nessa atmosfera, o monóxido de carbono se combina com o ferro gama produzindo o mesmo efeito, como descrito anteriormente, pelo método "*pack carburizing*".

Um terceiro método de carburização é chamado de "*liquid carburizing*".

Nesse método o aço é colocado em um banho de sal fundido que contém produtos químicos, que em última análise, resultam num efeito semelhante aos dois métodos anteriores.

Ligas de aço com baixo carbono assim como aços de baixo teor de carbono, podem ser cementadas por qualquer um dos três métodos. Entretanto, algumas ligas contendo níquel (por exemplo), tendem a retardar a absorção do carbono.

Como resultado, o tempo requerido para produzir uma profundidade de penetração varia com a composição da liga metálica.

Nitretação

Na nitretação, ao contrário dos outros processos de cementação, a peça é tratada termicamente antes da nitretação, para produzir o efeito final desejado, ou seja: a peça é endurecida (temperada) e revenida, antes de ser nitretada.

A maioria dos aços pode ser nitretado, mas, para melhores resultados, são exigidas ligas especiais. Essas ligas contêm alumínio como um dos elementos de liga, e são chamados "*nitralloys*".

Na nitretação, a peça é colocada em um forno especial e aquecida a uma temperatura de 1000º F (± 540º C). Estando a peça nessa temperatura, gás amoníaco é posto a circular dentro de uma câmara especialmente projetada construída dentro desse forno.

A alta temperatura divide o gás em moléculas de hidrogênio e nitrogênio. Parte do gás amoníaco que não se divide fica retido no filtro de água situado abaixo do forno.

O nitrogênio reage com o ferro para formar nitreto. O nitreto de ferro fica disperso em partículas minúsculas na superfície e vai penetrando na peça.

A profundidade da penetração depende do tempo do tratamento. Na nitretação, períodos de permanência de 3 dias são freqüentemente requeridos para produzir a espessura de cementação desejada.

A nitretação tem a vantagem de ser realizada com a mínima distorção, dada a baixa temperatura relativa em que as peças são cementadas, além do que nenhuma necessidade de imersão em líquido (para resfriamento) é exigida após a exposição ao gás amoníaco.

TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS NÃO FERROSOS

Ligas de alumínio

Há dois tipos de tratamentos térmicos aplicáveis às ligas de alumínio. Um é chamado de tratamento de solução a quente; e o outro, tratamento de precipitação a quente (envelhecimento artificial). Algumas ligas, como a 2017 e a 2024, desenvolvem suas propriedades plenamente como resultado do tratamento de solução a quente, seguido de quatro dias de envelhecimento à temperatura ambiente. Outras ligas, tais como 2014 e 7075, requerem todos os dois tipos de tratamento.

As ligas que requerem tratamento de precipitação à quente (envelhecimento artificial) para desenvolverem suas resistências máximas, também são capazes de envelhecerem a um valor limitado na temperatura ambiente; a taxa e a quantidade de enrijecimento depende da liga. Algumas alcançam seu envelhecimento natural, ou à temperatura ambiente, em poucos dias, e são designadas como condição "-T4" ou "- T3".

Outras continuam a envelhecer por um período consideravelmente longo. Por causa do seu envelhecimento natural, a designação "-W" é especificada somente quando o período de envelhecimento é indicado, como por exemplo: 7075 -W (1/2 horas). Então, há uma considerável diferença nas propriedades físicas e mecânicas de um material recentemente tratado (- W) e um material na condição "- T3" ou "- T4".

O endurecimento de uma liga de alumínio por tratamento térmico consiste de quatro passos distintos:

1. Aquecimento a uma temperatura pré determinada.
2. Manutenção da peça a essa temperatura por um específico intervalo de tempo.
3. Rápida imersão em banho refrigerante a uma temperatura relativamente baixa.
4. Envelhecimento ou endurecimento por precipitação, tanto espontaneamente à temperatura ambiente, quanto como resultado de tratamento à baixa temperatura.

Os três primeiros passos acima são conhecidos como tratamento de solução a quente, embora tenha se tornado prática comum o uso do termo simplificado tratamento térmico. Endurecimento à temperatura ambiente é conhecido como envelhecimento natural, enquanto o endurecimento ocorrido a temperaturas moderadas é chamado de envelhecimento artificial ou tratamento de precipitação a quente.

TRATAMENTO DE SOLUÇÃO À QUENTE

As temperaturas usadas para tratamento de solução à quente variam, conforme a liga empregada, de 825º F (440º C) até 980º F (525º C).

Como regra, elas devem ser controladas dentro de uma faixa bem estreita (± 10º F ou ± 5º C) para que se obtenham as propriedades específicas.

Caso a temperatura seja muito pequena, a resistência máxima não será obtida. Quando uma temperatura excessiva é usada, há o perigo de que haja fusão dos constituintes da liga de baixo ponto de fusão (em algumas ligas), com a conseqüente diminuição de suas propriedades físicas. Mesmo que não ocorra a fusão, o emprego de temperaturas acima da recomendada, promove a descoloração e aumenta as tensões causadas pelo resfriamento.

Tempo de permanência na temperatura

O tempo que a peça permanece à temperatura do tratamento (SOAKING TIME) é medido a partir do momento em que a peça a ser aquecida atinge o limite inferior da faixa de temperatura do tratamento. O tempo de permanência na faixa de temperatura do tratamento depende da liga e da espessura da peça, variando de 10 minutos para chapas finas, até aproximadamente 12 horas para forjamentos pesados. Para peças de porte, um valor aproximado de

1 hora por polegada de espessura, pode ser considerado uma boa aproximação (ver Figura 6-66).

O tempo que a peça vai permanecer na temperatura do tratamento é escolhido, de tal forma, que seja o mínimo necessário para desenvolver as propriedades físicas requeridas. Um tempo menor que o necessário não permite que o metal desenvolva as propriedades físicas esperadas. Já um tempo elevado agrava os problemas inerentes ao aumento da oxidação causada pelo calor. Com o material protegido pelo cladeamento, o aquecimento prolongado resulta numa excessiva difusão do cobre, ou outros constituintes solúveis na liga, através da camada protetora de alumínio puro do cladeamento, o que pode afetar os propósitos do cladeamento.

Resfriamento

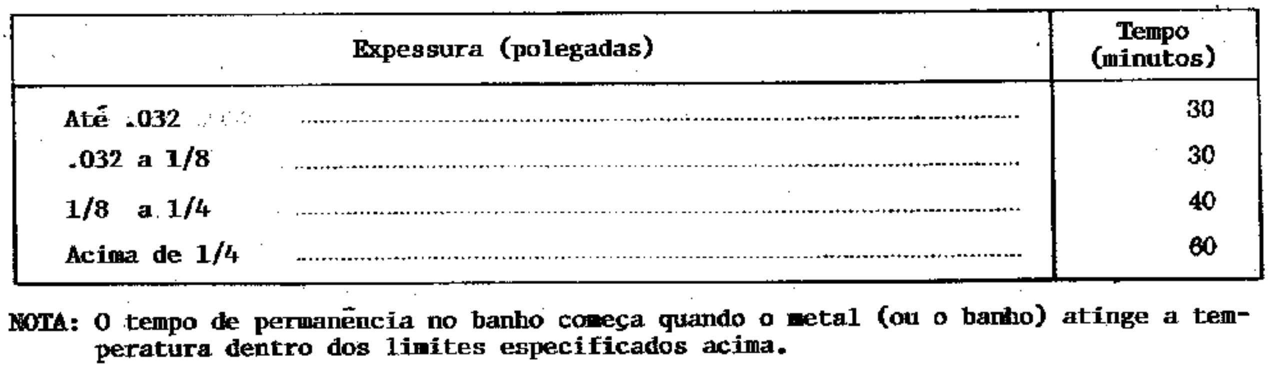
Após estarem os elementos solúveis sólidos, o material é resfriado para prevenir ou retardar a precipitação imediata.

Três métodos distintos de resfriamento são empregados. Aquele que vai ser usado depende da peça, da liga e das propriedades desejadas.

Resfriamento em água fria

Peças produzidas a partir de chapas, extrusão, tubos, forjados pequenos, ou material similar são resfriados em banho de água fria. A temperatura da água, antes do resfriamento, não deve exceder 85º F (± 30º C). A massa de água deve ser tal que a temperatura, após a imersão da peça aquecida, não suba mais que 20º F (± 10º C).

Esse resfriamento rápido garante uma maior resistência a corrosão em função da rapidez da exposição. Esse fato é particularmente importante quando se trata de ligas como a 2017, 2024 ou 7075. Essa é a razão principal da preferência pelo método, muita embora o resfriamento lento também produza as propriedades mecânicas requeridas.



Expessura (polegadas)	Tempo (minutos)
Até .032	30
.032 a 1/8	30
1/8 a 1/4	40
Acima de 1/4	60

NOTA: O tempo de permanência no banho começa quando o metal (ou o banho) atinge a temperatura dentro dos limites especificados acima.

Figura 6-66 Tempo de permanência na temperatura para tratamento a quente.

Resfriamento em água quente

Grandes peças forjadas, de seções espessas, podem ser resfriadas em água quente ou fervente. Esse tipo de resfriamento minimiza a distorção e evita trincas, as quais podem ser produzidas pela diferença das temperaturas obtidas durante o resfriamento. O uso de resfriamento em água quente é permitido para essas partes, porque a temperatura da água do banho não afeta criticamente a resistência à corrosão das ligas forjadas. Em adição, a resistência à corrosão das seções espessas não é um fator crítico, como para as seções frias.

Resfriamento por pulverização

Pulverização com água a alta velocidade é útil para peças formadas por uma espessa seção de quase qualquer tipo de liga, revestidas por alumínio puro (cladeamento).Esse tipo de resfriamento também minimiza a distorção e evita a formação de trincas. Todavia, muitas especificações proíbem o uso do resfriamento por pulverização para chapas desprotegidas de ligas 2017 e 2024 por causa do seu efeito nefasto na resistência à corrosão.

Intervalo entre a retirada do forno e o resfriamento

O intervalo entre a retirada do forno e o resfriamento, é crítico para o material (especialmente para determinar ligas), e deve ser sempre o menor possível.

Quando efetuando tratamento por solução a quente em chapas de liga 2017 e 2024, esse intervalo não deve exceder 10 segundos.

Tratando-se de seções com espessuras maiores, esse tempo pode ser ligeiramente maior.

Permitir que o metal resfrie, mesmo que ligeiramente, antes do resfriamento propriamente dito, permite que haja precipitação da solução sólida. A precipitação ocorre em torno da vizinhança do grão e em certos planos ou direções preferenciais, causando uma formação defeituosa. No caso das ligas 2017, 2024 e 7075, a resistência à corrosão intergranular é afetada adversamente.

Tratamento de reaquecimento

O tratamento térmico de um material que já tenha sido previamente aquecido é considerado um tratamento de reaquecimento. As peças feitas com ligas não cladeadas podem ser tratadas por solução a quente repetidamente sem efeitos danosos.

Já o número de tratamentos por solução a quente, permitidos a uma chapa cladeada, é limitado devido ao incremento da difusão dos componentes da liga, através do cladeamento em cada reaquecimento. Existem, entretanto, algumas especificações, permitindo de um a três reaquecimentos do material cladeado, dependendo da espessura do cladeamento.

Alinhamento após tratamento por solução a quente

Algumas distorções e empenamentos ocorrem durante o tratamento por solução a quente, produzindo ondulações ou torções nas peças tratadas. Essas imperfeições são geralmente removidas pelo alinhamento ou desempenamento.

Onde as operações de alinhamento produzem um apreciável aumento na tensão e diminuição da resistência, além de uma pequena diminuição no alongamento, o material passa a ter a designação de condição "- T3". Quando os parâmetros acima, não são materialmente ou praticamente afetados, o material é classificado na condição "- T4".

TRATAMENTO POR PRECIPITAÇÃO A QUENTE

Como já observado, as ligas de alumínio estão num estado de relativa maciez, imediatamente, após o resfriamento de uma temperatura de tratamento de solução a quente. Para obter a máxima resistência dessas ligas, elas devem ser naturalmente envelhecidas ou endurecidas por precipitação. Durante as operações, de endurecimento e enrijecimento, acontece a precipitação dos constituintes de uma solução supersaturada. A medida que a precipitação prossegue, a resistência do material aumenta, freqüentemente através de uma série de picos, até que o valor máximo é atingido.

Envelhecimento posterior (sobre envelhecimento) faz com que a resistência decline uniformemente até que alguma condição estável qualquer seja atingida.

As partículas submicroscópicas que foram precipitadas provêem as aberturas ou bloqueios dentro da estrutura do grão e entre os grãos - para resistir ao deslizamento interno, quando uma carga de qualquer tipo for aplicada. Dessa forma, a resistência e a dureza de uma liga são incrementadas.

O endurecimento por precipitação produz um grande aumento na resistência e na dureza do material, com a correspondente diminuição nas propriedades ligadas à dutilidade.

O processo usado para obtenção do desejado aumento na resistência, é conhecido como envelhecimento ou endurecimento por precipitação O enrijecimento das ligas termicamente tratáveis por envelhecimento, não é meramente devido à presença de um precipitado. A resistência é devida a ambos - a distribuição uniforme do precipitado submicroscópico, finamente disperso, e o seu efeito sobre a estrutura cristalina da liga.

As práticas de envelhecimento usadas, dependem também de muitas outras propriedades, além da resistência

Como uma regra geral, a ligas artificialmente envelhecidas, são ligeiramente sobre-envelhecidas para aumentar a resistência à corrosão dessas ligas. Isto é mais verdade quando se trata de envelhecimento artificial de ligas de alto teor de cobre que são susceptíveis à corrosão intergranular, quando envelhecidas inadequadamente.

Ligas de alumínio termicamente tratáveis são divididas em duas classes: as que obtêm resistências máximas à temperatura ambiente, e as que requerem envelhecimento artificial. s ligas que obtém sua resistência máxima após 4 ou 5 dias à temperatura ambiente são conhecidas como ligas de envelhecimento natural. A precipitação a partir de solução sólida supersaturada começa cedo, logo após o resfriamento, com 90% da resistência máxima geralmente sendo obtida em 24 horas. Ligas 2017 e 2024 são de envelhecimento natural.

As ligas que requerem tratamento de precipitação a quente para desenvolver a máxima resistência são ligas envelhecidas artificialmente. Entretanto, essas ligas também envelhecem um pouco menos à temperatura ambiente, sendo a razão ou taxa de enrijecimento e sua extensão dependente da liga. uitas das ligas envelhecidas artificialmente atingem a resistências por envelhecimento máximo natural, ou à temperatura ambiente após uns poucos dias. Estas podem ser guardadas, para serem posteriormente utilizadas, nas condições "-T4" e "- T3".

Ligas com alto teor de zinco, como a 7075, continuam a envelhecer apreciavelmente, mesmo após um longo período de tempo, sendo suas propriedades mecânicas afetadas até reduzirem suas capacidades de serem conformadas.

A vantagem da condição "-W" é que sua conformabilidade não é afetada, como seria com ligas de envelhecimento natural, desde que sua conformação (ou utilização), seja efetuada logo após o tratamento de solução a quente ou seja mantida em refrigeração.

A refrigeração retarda a velocidade natural de envelhecimento.

Liga	Solução para tratamento a quente			Precipitação para tratamento a quente		
	Temp., °F	Banho	Designação da têmpera	Temp., °F	Tempo de atuação	Designação da têmpera
2017	930-950	Água fria	T4			T
2117	930-950	Água fria	T4			T
2024	910-930	Água fria	T4			T
6053	960-980	Água	T4	445-455	1-2 h	T5
				ou		
				345-355	8 h	T6
6061	960-980	Água	T4	315-325	18 h	T6
				ou		
				345-355	8 h	T6
7075	870	Água		250	24 h	T6

Figura 6-67 Condições para tratamento a quente das ligas de alumínio.

A 32º F (0º C), o início do processo de envelhecimento é atrasado por algumas horas, enquanto o gelo seco (de - 50º F ou - 45º C até - 100º F ou - 70º C) retarda o envelhecimento por um período de tempo bem mais extenso.

Práticas

As temperaturas usadas para endurecimento por precipitação dependem das ligas e das propriedades desejadas, variando de 250º F (120º C) até 375º (190º C). Essas temperaturas devem ser controladas dentro de uma faixa bem estreita (5º F ou 2,5º C) para que sejam obtidos os melhores resultados (ver Figura 6-67).

O tempo de permanência à temperatura considerada (SOAKING TIME), depende da temperatura usada, das propriedades desejadas e da composição da liga. Vai de 8 a 96 horas. Aumentando-se a temperatura do envelhecimento, diminue-se o tempo de permanência a essa temperatura, necessária para o envelhecimento apropriado. Entretanto, um controle acurado, tanto do tempo quanto da temperatura, faz-se necessário, especialmente quando se trabalha na faixa de altas temperaturas.

Após receber o tratamento térmico de precipitação, o material deve ser resfriado à temperatura ambiente. O resfriamento à água, embora não necessário, não produz nenhum efeito danoso. Resfriamento dentro do forno tem tendência a produzir sobre envelhecimento.

RECOZIMENTO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO

O procedimento para recozimento das ligas de alumínio consiste no aquecimento dessas ligas a uma temperatura elevada, mantendo-a nessa temperatura num determinado intervalo (dependendo da massa do material), resfriando em ar calmo. O recozimento deixa o metal na melhor condição possível para conformação a frio (trabalho a frio). Entretanto, quando operações prolongadas de conformação a frio são realizadas, o metal passa a adquirir endurecimento por conformação a frio (endurecimento por trabalho a frio) e a opor resistência a novos trabalhos de conformação a frio. Assim, passa a ser fundamental o recozimento das peças nos intervalos entre um e outro processo de conformação a frio, a fim de se evitar a formação de trincas. Ligas de alumínio recozidas, por serem muito macias e facilmente deformáveis, não devem ser usadas para a fabricação de peças e fixações.

Peças cladeadas devem ser aquecidas tão rápida e cuidadosamente quanto possível, posto que o prolongado e desnecessário (além da conta) aquecimento tende a fazer com que os elementos da liga se difundam através do alumínio puro do cladeamento.

TRATAMENTO TÉRMICO DOS REBITES DE LIGA DE ALUMÍNIO

Os rebites de liga de alumínio são fornecidos com as seguintes ligas: 1100, 5056, 2117, 2017 e 2024.

Os rebites de liga 1100 são usados do jeito que saem das suas embalagens, para rebitagem de chapas de alumínio onde rebites de baixa resistência são suficientes. Os rebites de liga 5056 são usados da mesma forma, só que para chapas de liga de alumínio com magnésio.

Os rebites de liga 2117 têm resistência moderadamente alta, sendo utilizados para rebitagem de chapas em geral. Esses rebites recebem um único tratamento térmico, feito pelo fabricante. Como os rebites de liga 2117 mantêm suas características indefinidamente, após submeterem-se ao tratamento térmico, podem ser utilizados a qualquer momento. Os rebites dessa liga são os mais empregados na construção aeronáutica.

Os rebites de ligas 2017 e 2024 têm elevada resistência, sendo principalmente utilizados em estruturas de liga de alumínio. São obtidos do fabricante na condição de termicamente tratados. Entretanto, se as condições vigentes no ambiente onde os rebites ficarem estocados forem tais (em termos de temperatura) que promovam o seu envelhecimento, o que é possível para essas ligas, então os rebites devem ser novamente tratados termicamente antes do seu uso. A liga 2017 torna-se dura para rebitagem após 1 hora, ao passo que a liga 2024 sofre o mesmo endurecimento após 10 minutos do resfriamento. Ambas as ligas citadas, devem ser tratadas termicamente, tantas vezes quantas necessárias. Para minimizar a corrosão intergramular, os rebites devem ser anodizados antes do tratamento térmico. Caso os rebites sejam mantidos a baixa temperatura (32º F ou 0º C), tão logo sejam resfriados, eles permanecerão macios por bastante tempo.

Rebites que exijam tratamento térmico são aquecidos; ou, em recipientes cilíndricos imersos em banho de sal; ou, em pequenas cestas colocadas em fornos a ar. O tratamento para a liga 2017 consiste em sujeitar o material feito dessa liga, no caso os rebites, a uma temperatura entre 930º F e 950º F (500º C e 510º C) durante 30 minutos e, imediatamente, resfriar esse material em água fria. Esses rebites alcançarão suas resistências máximas em 9 dias após instalados. Rebites de liga 2024 devem ser aquecidos a uma temperatura entre 910º F e 930º F (490º C e 500º C) e, imediatamente, resfriados em água fria. Esses rebites desenvolvem uma resistência ao cisalhamento maior que a dos rebites de liga 2017 e, são usados em posições onde uma resistência adicional é requerida. Rebites de liga 2024 desenvolvem suas resistências máximas ao cisalhamento 1 dia após terem sido instalados.

Os rebites de liga 2017 devem ser instalados dentro de aproximadamente 1 hora; e os rebites de liga 2024, dentro de 10 ou 20 minutos, após o tratamento térmico ou retirada do refrigerador. Caso não sejam usados nesses intervalos, os rebites devem ser novamente tratados termicamente antes de serem refrigerados.

TRATAMENTO TÉRMICO DAS LIGAS DE MAGNÉSIO

Fundidos em ligas de magnésio, adequam-se facilmente ao tratamento térmico, sendo que na construção aeronáutica, o magnésio é usado principalmente como fundido (cerca de 95% das peças feitas desse metal).

O tratamento térmico dos fundidos em ligas de magnésio é similar ao tratamento térmico das ligas de alumínio, pelo fato de existirem dois tipos de tratamento térmico:

1. Tratamento de solução a quente.
2. Tratamento de precipitação a quente (envelhecimento).

O magnésio, entretanto, desenvolve mudanças quase imperceptíveis em suas propriedades, quando se permite o seu envelhecimento natural à temperatura ambiente.

Tratamento de solução a quente

Fundidos de liga de magnésio são tratados por solução a quente para melhorar a resistência à tração, dutilidade e resistência ao impacto. Essa condição de tratamento térmico é indicada pelo uso do símbolo "-T4" seguido da designação da liga. Tratamento de solução a quente seguido do envelhecimento artificial é designado por "-T6". O envelhecimento artificial é necessário para desenvolver todas as propriedades do metal.

As temperaturas usadas no tratamento de solução a quente para fundidos de liga de magnésio variam de 730º F (390º C) a 780º F (420º C), dependendo da liga.

A especificação MIL-H-6857 lista a temperatura para cada liga. O limite superior de cada faixa de temperatura, é a temperatura máxima, até que a liga possa ser aquecida sem correr o risco de que o metal se funda ou derreta.

O tempo de permanência nessa temperatura varia de 10 a 18 horas, sendo que o valor mais correto de permanência depende da liga e da espessura da peça. Peças com mais de 2 polegadas de espessura podem exigir tempos maiores. Ligas de magnésio não podem nunca ser aquecidas em banho de sal, posto que há o perigo de explosão, dada a reatividade do magnésio.

Um sério perigo potencial de fogo existe no tratamento térmico das ligas de magnésio. Caso haja alguma falha e a temperatura seja excedida, a peça fundida pode auto-incendiar-se. Por essa razão, o forno usado deve ser equipado com uma chave de corte que desligue o aquecimento e inicie o seu resfriamento, caso haja falha no funcionamento do equipamento regular de controle.

Algumas ligas de magnésio requerem uma atmosfera protetora, de dióxido de enxofre, durante o tratamento de solução à quente. Isso ajuda a evitar um início de incêndio, caso a temperatura exceda um pouco o limite.

Resfriamento ao ar é usado após o tratamento de solução a quente das ligas de magnésio, desde que não haja vantagem no resfriamento por líquido.

Tratamento de precipitação a quente

Após o tratamento de solução a quente, as ligas de magnésio podem ser submetidas a um tratamento de envelhecimento, para aumentar o endurecimento e incrementar a resistência. Geralmente, tratamentos de envelhecimento são usados meramente para aliviar tensões e estabilizar as ligas, a fim de prevenir posteriores variações dimensionais, especialmente durante ou após a usinagem. Ambos, o incremento da resistência e da dureza, são conseguidos em parte por esse tratamento, mas com uma ligeira perda na dutilidade. A resistência à corrosão é também melhorada, aproximando nesse sentido as características de uma liga fundida.

As temperaturas para o tratamento de precipitação a quente são consideravelmente menores que as temperaturas para o tratamento de solução a quente, e variam de 325º F (165º C) a 500º F (260º C). O tempo em que as peças devem permanecer nessas temperaturas varia de 4 a 18 horas.

TRATAMENTO TÉRMICO DO TITÂNIO

O titânio é tratado termicamente com os seguintes objetivos:

1. Alívio das tensões adquiridas durante a conformação a frio ou usinagem.
2. Recozimento após trabalho a quente ou a frio (conformação) ou para consignar a máxima ductilidade para um posterior trabalho a frio.
3. Endurecimento térmico para aumentar a resistência.

Alívio das tensões

O alívio das tensões é geralmente usado para remover a concentração de tensões, resultantes da conformação das chapas de tintânio. É realizado em faixas de temperatura de 650º F (340º C) a 1000º F (540º C).

O tempo de permanência nessas temperaturas varia de uns poucos minutos para chapas muito finas, até uma hora ou mais para seções espessas.

Um tratamento comum de alívio das tensões é feita a 900º F (480º C), por 30 minutos, seguido de resfriamento em ar ambiente.

A descoloração (manchas) ou casca (carepa) que se forma na superfície do metal, durante o alívio das tensões, é facilmente removido por imersão em solução ácida. Essa solução contém 10% a 20% de ácido nítrico e 1% a 3% de ácido fluorídrico.

A solução deve estar à temperatura ambiente ou ligeiramente acima dessa temperatura.

Recozimento pleno

O recozimento do titânio ou das ligas de titânio provê maleabilidade e ductilidade à temperatura ambiente; estabilidade dimensional e estrutural à temperaturas elevadas; e facilita a usinagem.

O recozimento pleno é, geralmente, efetuado como preparação de uma operação posterior. É realizado entre 1200º F (650º C) e 1650º F (900º C).

O tempo em que a peça permanece nessa temperatura varia de 16 minutos a várias horas, dependendo da espessura do material e da quantidade de trabalho a frio realizado.

Um tratamento típico usado para ligas de titânio é realizado a 1300º F (700º C), por uma hora, seguida por resfriamento ao ar ambiente.

O recozimento pleno, geralmente resulta numa grande formação de casca (carepa), que requeira a sua decapagem cáustica, como um banho de hidróxido de sódio (soda cáustica).

Endurecimento térmico

Titânio puro não pode ser termicamente tratado, mas suas ligas comumente usadas na indústria aeronáutica podem ser endurecidas por tratamento térmico, geralmente com comprometimento da ductilidade.

Para melhores resultados, o resfriamento em banho de água, após aquecimento a 1450º f (790º C), seguido de reaquecimento a 900º F (480º C), por oito horas, é recomendado.

Cementação

A atividade química do titânio e sua rápida absorção de oxigênio, nitrogênio e carbono a temperaturas relativamente baixas, fazem da cementação um tratamento vantajoso. A nitretação, a carbonetação (a cementação como é comumente conhecida) e a carbonitretação podem ser usadas para produzir camadas resistentes ao desgaste superficial, de 0,0001 a 0,0002 polegada de profundidade.

TESTES DE DUREZA

Os testes de dureza são um método para determinação dos resultados de um tratamento térmico, assim como da condição de dureza do metal, antes do tratamento térmico. Uma vez que os valores de dureza possam ser correlacionados aos valores de resistência à tração e, parcialmente, com os de resistência ao desgaste, os testes de dureza são um controle útil para tratamento térmico e propriedades dos materiais.

Praticamente todos os equipamentos atuais para teste de dureza usam a resistência à penetração como medida de dureza.

Incluem-se entre os mais conhecidos testes de dureza o *BRINELL* e o *ROCKWELL*, ambos descritos adiante. Da mesma forma há uma referência ao testador portátil de dureza.

Medidor *BRINELL* de dureza

O medidor *BRINELL* de dureza (Figura 6-68) usa uma esfera de aço muito duro, que é pressionada contra a superfície do metal. Essa esfera tem 10 milimetros de diâmetro. Uma pressão de 3000 Kg é aplicada por 10 segundos se o metal por ferroso; uma pressão de 500 Kg é aplicada por 30 segundos se o metal não for ferroso.

Essa carga é transferida por pressão hidráulica e indicada por um manômetro. Passado o tempo de aplicação da carga, o sistema é aliviado e a marca circular tem seu diâmetro impresso, medido em milímetros, através de um microscópio.

A fim de se determinar o índice de dureza *BRINELL*, há uma tabela que faz referência do diâmetro da marca impressa com a respectiva dureza.

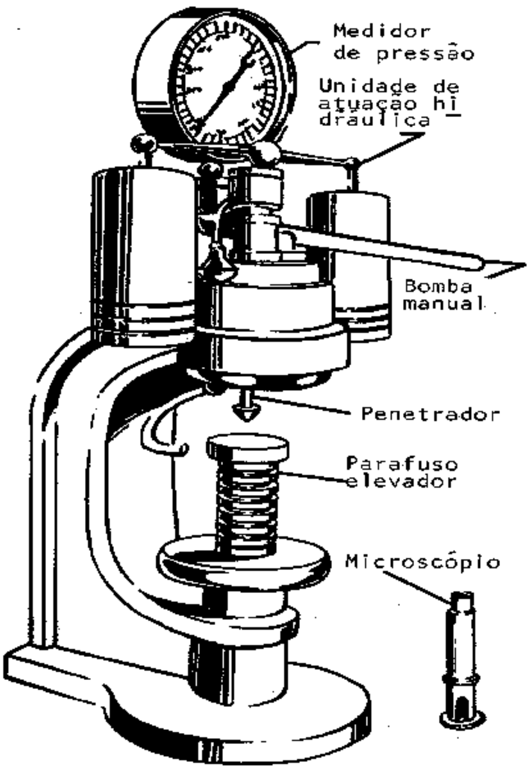


Figura 6-68 Medidor *Brinell* de dureza.

Medidor *ROCKWELL* de dureza

O medidor *ROCKWELL* de dureza (Figura 6-69) mede a resistência à penetração, do mesmo modo que o medidor *BRINELL*. Porém, ao contrário de medir o diâmetro da marca da impressão, o medidor *ROCKWELL* de dureza mede a profundidade da penetração, sendo que a dureza é indicada diretamente na máquina (mostrador). Os dígitos do círculo externo do mostrador são pretos; os dígitos do círculo interno são vermelhos.

Os índices *ROCKWELL* de dureza são baseados na diferença de profundidade da penetração, consideradas uma carga grande e outra menor. Quanto maior for essa diferença, menor o índice de dureza e, consequentemente, mais macio é o material.

Dois tipos de penetradores são usados pelo medidor *ROCKWELL* de dureza: um cone de diamante e uma esfera de aço endurecido. A carga que força o penetrador contra o metal é chamada de carga maior, e, é medida em quilogramas.

Os resultados obtidos por cada penetrador e a combinação de cargas são registrados em escalas separadas, designadas por letras. O penetrador, a carga maior e a escala variam com o tipo de metal a ser testado.

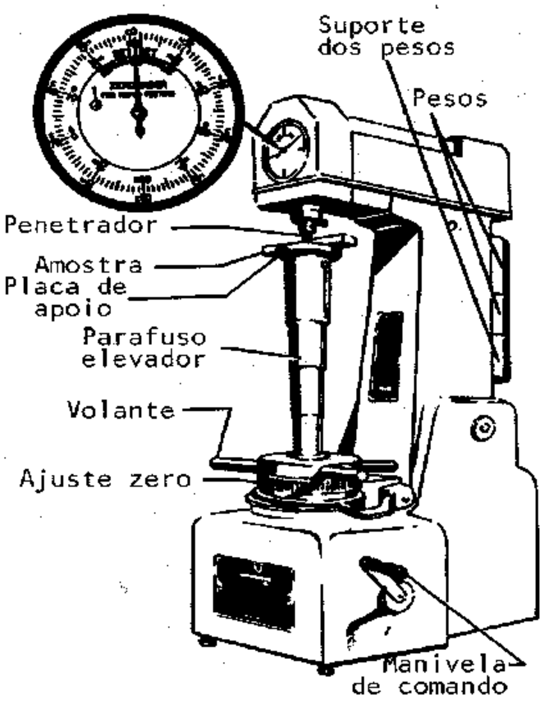


Figura 6-69 Medidor *Rockwell* de dureza.

Para aços endurecidos (temperados), é usado o penetrador de diamante, a carga maior é de 150 quilogramas e a dureza é lida na escala "C" do mostrador. Nesse caso, quando a leitura é feita, deve ser referida a escala *ROCKWELL* "C", usada para testes com metais de dureza C-20 ao aço mais duro (geralmente em torno de C-70). Caso o metal seja mais macio que C-20, é usada a escala *ROCKWELL* "B". Então o penetrador passa a ser uma esfera de aço de 1/16 da polegada e a carga maior, 100 quilogramas.

Além das escalas *ROCKWELL* "B" e"C", são usadas outras para testes especiais. As escalas, penetradores, cargas maiores e valores das escalas correspondentes, estão listados na Figura 6-70.

Símbolo da escala	Penetrador	Carga maior (Kg)	Número do dial
A	Diamante	60	Preto
B	Bola de 1/16”	100	Vermelho
C	Diamante	150	Preto
D	Diamante	100	Preto
E	Bola de 1/8”	100	Vermelho
F	Bola de 1/16”	60	Vermelho
G	Bola de 1/16”	150	Vermelho
H	Bola de 1/8”	60	Vermelho
K	Bola de 1/8”	150	Vermelho

Figura 6-70 Escala padrão *Rockwell* de dureza.

O medidor *ROCKWELL* de dureza é equipado com um suporte para as cargas (pesos). Dois pesos são fornecidos com o equipamento; sendo um marcado de vermelho e outro, de preto. Sem peso no suporte, há uma aplicação de carga da ordem de 60 quilogramas. Caso a escala selecionada exija uma carga de 100 quilogramas, o peso vermelho é colocado no suporte. Para uma carga de 150 quilogramas, o peso preto é adicionado ao suporte junto com o peso vermelho. O peso preto é sempre usado junto ao peso vermelho; nunca é usado sozinho.

Praticamente todos os testes são realizados nas escalas *ROCKWELL* "B" e "C". Para essas escalas, as cores podem ser usadas como uma referência para a seleção do peso (ou pesos) e para a leitura do mostrador.

A escala *ROCKWELL* "B" usa o peso vermelho e confirma os resultados com os dígitos vermelhos do mostrador. A escala *ROCKWELL* "C" usa os pesos vermelho e preto e confirma os resultados com os dígitos pretos do mostrador.

Na utilização do equipamento, usa-se primeiro o penetrador de diamante, para testarmos um material tido como duro em primeira aproximação.

Sendo a dureza desconhecida, tenta-se primeiro o penetrador de diamante, porque caso fosse usada inicialmente a esfera de aço e, sendo o material muito duro, a esfera poderia ser danificada. Confirmado que a dureza é menor que *ROCKWELL* "C-22", passa-se então à esfera e a à escala *ROCKWELL* "B".

Antes da carga maior ser aplicada, o objeto deve ser firmemente preso aonde vai ser testado, para prevenir que escorregue durante a aplicação da carga. Com esse propósito, uma carga de 10 quilogramas é aplicada preliminarmente e, é chamada de carga menor. Esse valor (10kg) independe da escala selecionada.

O material metálico a ser testado deve estar apoiado suavemente no suporte de teste do equipamento, e deve estar livre de arranhaduras e materiais estranhos.

Suas superfície deve ficar perpendicular ao eixo do penetrador e suas duas faces (opostas) devem ser paralelas. Caso as superfícies não sejam paralelas, o erro obtido na medição, será a função dessa ausência de paralelismo.

Uma superfície curva poderá ser responsável por uma leitura ligeiramente errada, dependendo da curvatura. Esse erro poderá ser eliminado, aparelhando-se uma pequena área desse corpo, sobre o qual será efetuado o teste.

Ligas de alumínio cladeadas na forma de chapas não podem ser testadas diretamente com o medidor *ROCKWELL* de dureza, a menos que se remova a camada de proteção e se faça o teste com o miolo.

Medidor *BARCOL* de dureza

O medidor *BARCOL* de dureza (Figura 6-71) é uma unidade portátil projetada para efetuar testes em ligas de alumínio, cobre, latão e outros materiais, relativamente macios. Não deve ser usado em aços aeronáuticos.

A faixa de utilização desse equipamento varia de 25 a 100 *Brinel*. Essa unidade pode ser usada em qualquer posição e em espaços exíguos, onde caiba a mão do operador. É de grande utilidade para a realização de teste de dureza para peças ou componentes já instalados, especialmente para confirmar a qualidade do tratamento térmico.

A dureza é indicada num mostrador dividido em 100 graduações.

O projeto do medidor *BARCOL* de dureza, foi feito de tal forma, que não exige habilidade do operador. Basta exercer uma ligeira pressão contra o material a ser testado para que uma mola com carga preestabelecida force um penetrador contra esse material.

A sua dureza é lida, no mesmo momento, no mostrador.

Leituras típicas de ligas de alumínio usuais, testadas por esse método, são listadas na tabela 6-72.

Observe que os valores da escala *BARCOL* de dureza são maiores quanto maior for a dureza do material.

Para prevenir danos à ponta do penetrador, deve-se evitar que a mesma arraste-se ou resvale sobre a superfície, quando da realização do teste.

Caso a ponta fique danificada, deve ser prontamente substituída por uma nova. Não deve ser feita nenhuma tentativa de amolá-la em esmeril. Cada medidor *BARCOL* de dureza vem equipado com um disco para teste das condições da ponta do penetrador.

Para que se efetue o teste, basta pressionar o instrumento contra o disco de teste, confirmando-se a leitura do mostrador com o valor especificado nesse disco.

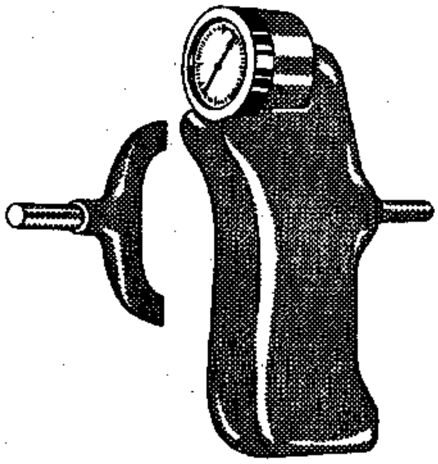


Figura 6-71 Medidor *Barcoll* de dureza (portátil).

Liga e Têmpera	Número Barcol
1100-O	35
3003-O	42
3003-H14	56
2024-O	60
5052-O	62
5052-H34	75
6061-T	78
2024-T	85

Figura 6-72 Leituras típicas *Barcol* para ligas de alumínio

CAPÍTULO 7

FÍSICA

INTRODUÇÃO

A física é o termo aplicado à área de conhecimento, relativo à natureza básica e fundamental da matéria e energia. Ela não tenciona determinar o comportamento da matéria e da energia na sua relação com o fenômeno físico, mas tão somente como se comportam.

As pessoas que cuidam de manutenção e reparo de aeronaves precisam ter conhecimentos de física básica, que é, às vezes, chamada de ciência da matéria e energia.

MATÉRIA

Embora a matéria seja a mais fundamental de todas as coisas contidas no campo da física e do mundo material, é difícil de se definir. Como não pode ser categoricamente definida, este capítulo indicará aquelas características que são facilmente reconhecidas.

A matéria em si mesma não pode ser destruída, mas pode ser transformada de um estado para outro, por meios físicos ou químicos. Ela é, normalmente, considerada pela energia que contém, absorve ou oferece. Sob certas condições controladas, o homem pode utilizar-se disto na sua vida diária.

Matéria é qualquer substância que ocupa espaço e tem peso. Existem três estados de matéria: (1) sólido, (2) líquido e (3) gasoso. Sólidos têm volume e forma definidos; líquidos tem volume definido, mas tomam a forma do recipiente que os contém; gases não têm volume nem forma definidos. Os gases não apenas tomam a forma do recipiente, no qual são contidos, como expandem-se para completá-lo, seja qual for o seu volume.

A água é um bom exemplo de transformação de matéria de um estado para outro. Sob temperatura alta, ela está no estado gasoso, na forma de vapor. Sob temperatura moderada, permanece na forma líquida e, sob baixas temperaturas torna-se gelo, um estado sólido. Neste exemplo, a temperatura é o fator dominante na determinação do estado que a substância assume. A pressão é um outro fator importante que produzirá transformações no estado da matéria.

Sob pressões inferiores à pressão atmosférica, a água ferverá, transformando-se em vapor, sob temperaturas abaixo de 100ºC. A pressão é um fator crítico na transformação de alguns gases em líquidos ou sólidos. Normalmente, quando pressão e resfriamento ao mesmo tempo, são aplicados a um gás, ele assume o estado líquido. O ar líquido, que é uma mistura de oxigênio e nitrogênio, é produzido desta maneira.

Características da matéria

Toda matéria possui certas características ou propriedades gerais. Estas propriedades são definidas de forma, elementar e superficial e, mais específicamente, em aplicações através do texto. Entre estas propriedades e circunstâncias estão:

a. Volume - significando ocupar espaço; tendo algumas medidas como comprimento, largura e altura. Pode ser medido em polegadas cúbicas, centímetros cúbicos e semelhantes.

b. Massa - é a medição de quantidade, ou a medida da quantidade de matéria num corpo. A massa não varia, mesmo que o estado se modifique.

c. Atração - é uma força agindo mutuamente entre partículas de matéria, tendendo a agrupá-las. Isaac Newton chamou-a de "Lei de Gravidade Universal". ele demonstrou como cada partícula de matéria atrai todas as outras, como as pessoas se mantêm sobre a terra e como os planetas são atraídos no sistema solar.

d. Peso - a medida de gravidade universal. A força de gravidade sobre um corpo é chamada de peso do corpo e indica quão pesado o corpo está.

e. Densidade - a massa (peso) de uma substância por unidade de volume. A densidade pode ser empregada para distinguir vários tipos de matéria. Se uma substância é muito densa, uma grande quantidade desta matéria irá ocupar um pequeno volume.

f. Inércia - é a oposição que um corpo oferece a qualquer mudança de movimento. A propriedade de inércia é comum a todas as matérias. É melhor conceituada através da primeira lei de Newton: "Um corpo em repouso permanece parado e um corpo em movimento continua a se mover em velocidade constante em linha reta, a menos que o corpo seja afetado, em ambos os casos, por uma força externa."

g. Porosidade - existência de poros ou espaços vazios, onde partículas menores possam se ajustar quando ocorre mistura.

h. Impenetrabilidade - significa que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Então, duas porções de matéria não podem ao mesmo tempo, ocupar o mesmo lugar no espaço.

A matéria pode ser classificada como simples ou composta, dependendo da complexidade de sua estrutura. Matéria simples (ou elemento) não pode ser reduzida quimicamente a uma substância mais simples. Matéria composta é aquela formada por alguma combinação de elementos.

Duas partículas básicas, o átomo e a molécula, formam toda e qualquer matéria. A molécula é a menor partícula de uma substância, que ainda conserva todas as propriedades da substância original.

Em física, a molécula é a unidade de matéria. O átomo é a menor partícula de um elemento, que pode combinar com outros átomos para formar moléculas. Em química, o átomo é a unidade de matéria.

Embora o assunto possa parecer complexo, é difícil conceber qualquer coisa mais simples do que a matéria. Ela pode ser referida como "tudo que ocupa lugar no espaço".

Sistema de medida

Os dois sistemas de medição mais comumente usados são: o Sistema Inglês, que ainda é, geralmente, usado nos Estados Unidos; e o Sistema Métrico, usado na maioria dos países europeus e, então, adotado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos. O Sistema Métrico é normalmente usado em todas as aplicações científicas.

As três unidades básicas que requerem unidades de medição são: massa (peso), comprimento (distância) e tempo.

O sistema métrico é, ás vezes, chamado de Sistema CGS, porque utiliza, como unidades básicas de medição, o centimetro (C) para medir comprimento; o grama (G) para medir massa; e o segundo (S) para medir tempo.

O sistema inglês usa medidas diferentes para medir massa e comprimento. A "libra" é a unidade de peso; o "pé" é a unidade para medir comprimento; e o "segundo" é usado para medir tempo, como no sistema métrico.

As medidas de um sistema podem ser convertidas em unidades do outro, usando-se um fator de conversão, ou por referência a uma tabela semelhante à mostrada na figura 7-1.

Nesta figura os sistemas, inglês e métrico, são comparados; adicionalmente é incluída uma coluna de equivalência, que pode ser usada para converter unidades de um sistema para o outro.

FLUIDOS

Generalidades

Líquidos e gases são chamados de fluidos, porque ambos fluem livremente. Um fluido é definido como uma substância que modifica sua forma facilmente e torna o espaço do recipiente em que é contido. Isto aplica-se tanto aos líquidos quanto aos gases. As suas características podem ser agrupadas sob similaridades e diferenças. As características similares são as seguintes:

1. Ambos não têm forma definida e acomodam-se na forma dos recipientes em que se encontram.

2. Ambos prontamente transmitem pressões.

As características distintas são as seguintes:

1. Os gases ocupam seus recipientes completamente.

2. Os gases são mais leves do que os líquidos em iguais volumes.

3. Os gases são altamente compressíveis, mas os líquidos apenas um pouco.

Estas diferenças serão descritas adiante, na discussão concernente às propriedades e características dos fluidos em repouso. Também serão abordados alguns dos fatores que afetam os fluidos em diferentes situações.

Densidade e Gravidade Específica

A densidade de uma substância é o seu peso por unidade de volume. A unidade de volume selecionada para uso no sistema inglês para medição é 1 pé cúbico. No sistema métrico a unidade é 1 centímetro cúbico. Portanto, a densidade é expressa em lb/ft³ (libras por pé cúbico) ou g/cm³ (gramas por centímetro cúbico).

Para encontrar a densidade de uma substância, seu peso e volume precisam ser conhecidos. Seu peso é então dividido por seu volume, para encontrar o peso por unidade de volume.

Por exemplo, o líquido que completa um certo recipiente pesa 1.497,6 libras.

	Sistema métrico	Sistema inglês	Equivalentes
Comprimento	CENTÍMETRO		
(Distância)	1 centímetro = 10 milímetros	1 pé = 12 polegadas	1 pol. = 2,54 cm
	1 decímetro = 10 centímetros	1 jarda = 3pés	1 pé = 30,5 cm
	1 metro = 100 centímetros	1 milha = 5.280 pés	1mmetro = 39,37 polegadas
	1 quilômetro = 1000 metros		1 kilometro = 0,62 milhas
Peso	GRAMA	LIBRA	
(Massa)	1 grama = 1000 miligramas	1 libra = 16 onças	1 lb = 453,6 gramas
	1 quilograma = 1000 gramas	1 ton = 2000 libras	1 kg = 2,2 lb.
Tempo	SEGUNDO	SEGUNDO	
	O mesmo que o sist. inglês	1 segundo = $\frac{1}{86400}$ de um dia solar médio.	O mesmo tempo para os dois sistemas

Figura 7-1 Comparação entre os Sistemas de medida métrico e inglês.

O recipiente tem 4 pés de comprimento, 3 pés de largura e 2 pés de altura. Seu volume é de 24 pés cúbicos (4 x 3 x 2). Se 24 pés cúbicos de um líquido pesa 1.497,6 libras, então 1 pé cúbico pesa 1.497,6/24 ou 62,4 libras. Portanto a densidade do líquido é 62,4 lb/ft³.

Esta é a densidade da água a 4ºC e é normalmente usada para comparação de densidades de outras substâncias. (No sistema métrico, a densidade da água é de 1g/cm³).

A temperatura padrão de 4ºC é usada para medir-se a densidade de líquidos e sólidos. Mudanças na temperatura não modificarão o peso de uma substância, mas modificarão seu volume por expansão e contração, modificando, então, seu peso por unidade de volume.

O procedimento para achar a densidade aplica-se a todas as substâncias; todavia é necessário considerar a pressão, quando procurando a densidade de gases.

A temperatura é mais crítica quando se mede a densidade dos gases do que as de outras substâncias. A densidade de um gás aumenta na proporção direta da pressão exercida sobre ele. As condições padrão para medição da densidade foram estabelecidas em 0ºC de temperatura a uma pressão de 76 cm. de mercúrio (esta é a pressão média da atmosfera ao nível do mar).

A densidade para todos os gases é calculada com base nestas condições. Freqüentemente é necessário comparar a densidade de substâncias diferentes. Por este motivo, o padrão é necessário.

A água é o padrão que os físicos escolheram na comparação da densidade de todos os líquidos e sólidos. Para os gases, o padrão mais comumente usado é o ar. Entretanto o hidrogênio é às vezes usado como padrão para os gases.

Em física a palavra "específico" denota uma proporção.

Então, a gravidade específica é calculada, por comparação do peso de um volume definido, de uma dada substância, com o peso de um igual volume de água.

Os termos "peso específico" ou "densidade específica" são às vezes usados para expressar essa proporção.

As seguintes fórmulas são empregadas para encontrar a gravidade específica de líquidos e sólidos:

$$\text{gr.esp.} = \frac{\text{peso da substancia}}{\text{peso de igual volume d'agua}} \quad \text{ou,}$$

$$\text{gr. esp.} = \frac{\text{densidade da substancia}}{\text{densidade de agua}}$$

As mesmas fórmulas são usadas para achar a densidade dos gases, substituindo água por ar ou hidrogênio.

A gravidade específica não é expressa em unidades, mas por números puros.

Por exemplo, se um certo líquido hidráulico tem uma gravidade específica de 0,8, 1 pé cúbico do líquido pesa 0,8 vezes o que pesa 1 pé cúbico de água: 62,4 vezes 0,8 ou 49,92 libras.

No sistema métrico, 1 cm cúbico de uma substância com gravidade específica de 0,8 pesa 1 vez 0,8 ou 0,8 gr. (observe que no sistema métrico a gravidade específica de um líquido ou sólido tem o mesmo valor numérico que sua densidade.

Como o ar pesa 1,293 gramas por litro, a gravidade específica de gases não é igual às densidades métricas).

Gravidade específica e densidade são independentes do tamanho da amostra sob consideração e, depende apenas da substância de que ela seja feita. Ver na figura 7-2, os valores de gravidade específica relativos a várias substâncias.

Um dispositivo chamado densímetro é utilizado para medir a gravidade específica de líquidos. Tal medidor consiste de uma bóia de vidro com forma tubular, contida num tubo de vidro maior (ver figura 7-3).

O tubo de vidro é o recipiente para o líquido, tendo na parte superior um bulbo de borracha para succionar o líquido para o interior do recipiente.

É preciso haver líquido bastante para erguer a bóia de vidro, mantendo-a afastada do fundo do recipiente. A bóia tem um determinado peso e possui uma escala graduada verticalmente.

Para determinar a gravidade específica, a escala deve ser lida na superfície do líquido em que está imersa.

A indicação 1000 é lida quando se tratar de água pura. Quando imersa em líquido de maior densidade, a bóia eleva-se, indicando maior gravidade específica.

No caso de líquidos de densidade mais baixa, a bóia afunda, indicando uma menor gravidade específica.

Um exemplo de uso do densímetro é a medição da densidade específica do eletrólito (solução de bateria) em baterias de aeronaves. Quando a bateria está descarregada a bóia indicadora imersa na solução ácida indicará aproximadamente 1150. A indicação da bateria carregada fica entre 1275 e 1310.

Flutuabilidade

Um corpo sólido pesa menos submerso num líquido ou num gás do que em espaço livre, por causa da força para cima que qualquer fluido exerce sobre um corpo nele submerso. Um objeto flutuará, caso a força para cima (chamada flutuação) do fluido seja maior do que o peso do objeto.

Objetos mais densos do que o fluido afundarão prontamente, ainda que pareçam perder parte do seu peso quando submersos. Uma pessoa pode erguer maior peso dentro d'água do que fora dela.

A experiência seguinte está ilustrada na figura 7-4. Um recipiente para transferência de líquido é completado com água até o nível da torneira.

Um cilindro de metal maciço é primeiro pesado fora d'água e depois, quando completamente submerso, dentro dela.

A diferença entre os dois pesos é a força de flutuação da água. O cilindro é mergulhado no recipiente de transferência, e a água que se esgota através da torneira é colhida no outro recipiente.

O volume da água transferida é igual ao volume do cilindro mergulhado.

O volume de objetos de forma irregular pode ser medido por este método.

Se esta experiência for feita cuidadosamente, o peso da água deslocada pelo cilindro metálico será exatamente igual à força de flutuação da água.

Experiências similares foram realizadas por Arquimedes (287-212 A.C.). Ele descobriu que a força de flutuação que um fluido exerce sobre um corpo submerso é igual ao peso do fluido que o corpo desloca.

Esta afirmação é referida como "princípio de Arquimedes".

Este princípio aplica-se a todos os fluidos, gases e líquidos.

Assim como a água exerce uma força de flutuação em objetos, o ar também a exerce em objetos nele mergulhados.

Sólidos	Gravidade específica		Líquidos (Temp. ambiente)	Gravidade específica		Gases (Ar padrão a 0º C e 760 cm. de mercúrio)	Gravidade Específica
Alumínio	2,7		Álcool etílico	0,789		Ar	1,000
Bronze	8,8		Gasolina	0,68		Hidrogênio	0,0695
Cobre	8,9			0,72			
Gelo	0,917		Óleo (parafina)	0,8		Nitrogênio	0,967
			Água	1,00		Oxigênio	1,105

Figura 7-2 Valores típicos da gravidade específica.

TEMPERATURA

A temperatura é um fator predominante que afeta as propriedades de fluidos. Particularmente quando calculando mudança no estado físico dos gases.

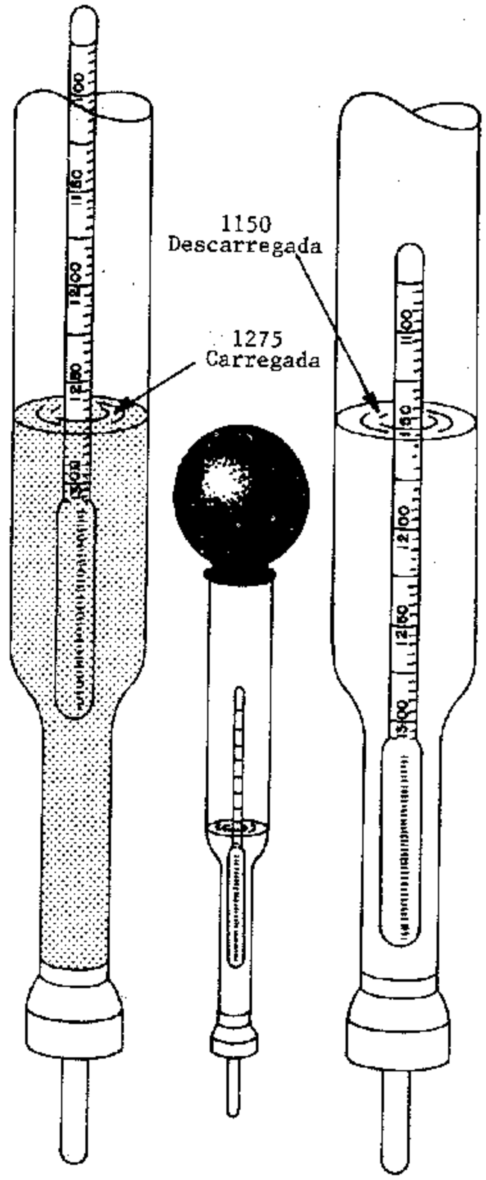


Figura 7-3 Densímetro.

As três escalas de temperaturas largamente usadas são: a centrígrada, a Fahrenheit e a absoluta ou Kelvin. A escala centígrada é feita usando-se os pontos de congelamento e de fervura da água, sob condições padrão, com pontos fixos de 0 a 100, com 100 divisões iguais intermediárias; a escala Fahrenheit usa 32º como o ponto de congelamento da água e 212º como ponto de fervura e, tem 180 divisões intermediárias iguais; a escala absoluta ou Kelvin é montada com o seu ponto zero estabelecido como -273ºC ou -459,4ºF. abaixo do ponto de congelamento de água. A situação dos demais pontos desta escala é mostrada em B da figura 7-5.

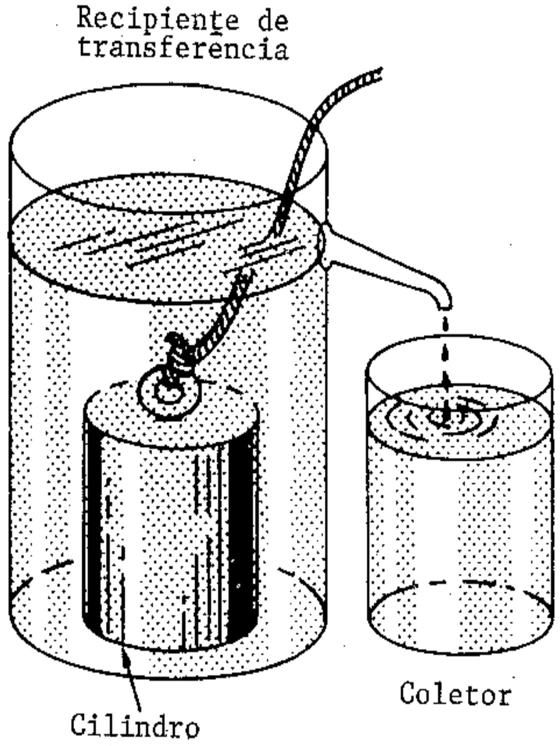


Figura 7-4 Medição da força de flutuação.

O zero absoluto, uma das constantes fundamentais da física, é comumente usado no estudo dos gases.

É expresso normalmente na escala centígrada. Se a energia calorífica de um determinado gás pudesse ser progressivamente reduzida, seria atingida uma temperatura na qual o movimento das moléculas cessaria completamente. Se cuidadosamente determinada, esta temperatura poderia então ser tomada como uma referência natural ou como um verdadeiro valor do "zero absoluto". Experiências com hidrogênio indicaram que em um gás resfriado a -273,16ºC (-273º, na maior parte dos cálculos), todo o movimento molecular cessaria e nenhum calor adicional poderia ser extraído da substância.

Quando temperaturas são medidas considerando a referência de zero absoluto, elas são expressas como zero na escala absoluta ou Kelvin. Então, o zero absoluto pode ser expresso como 0ºK, como -273ºC ou como -459,4ºF (na prática, -460º na maioria dos cálculos).

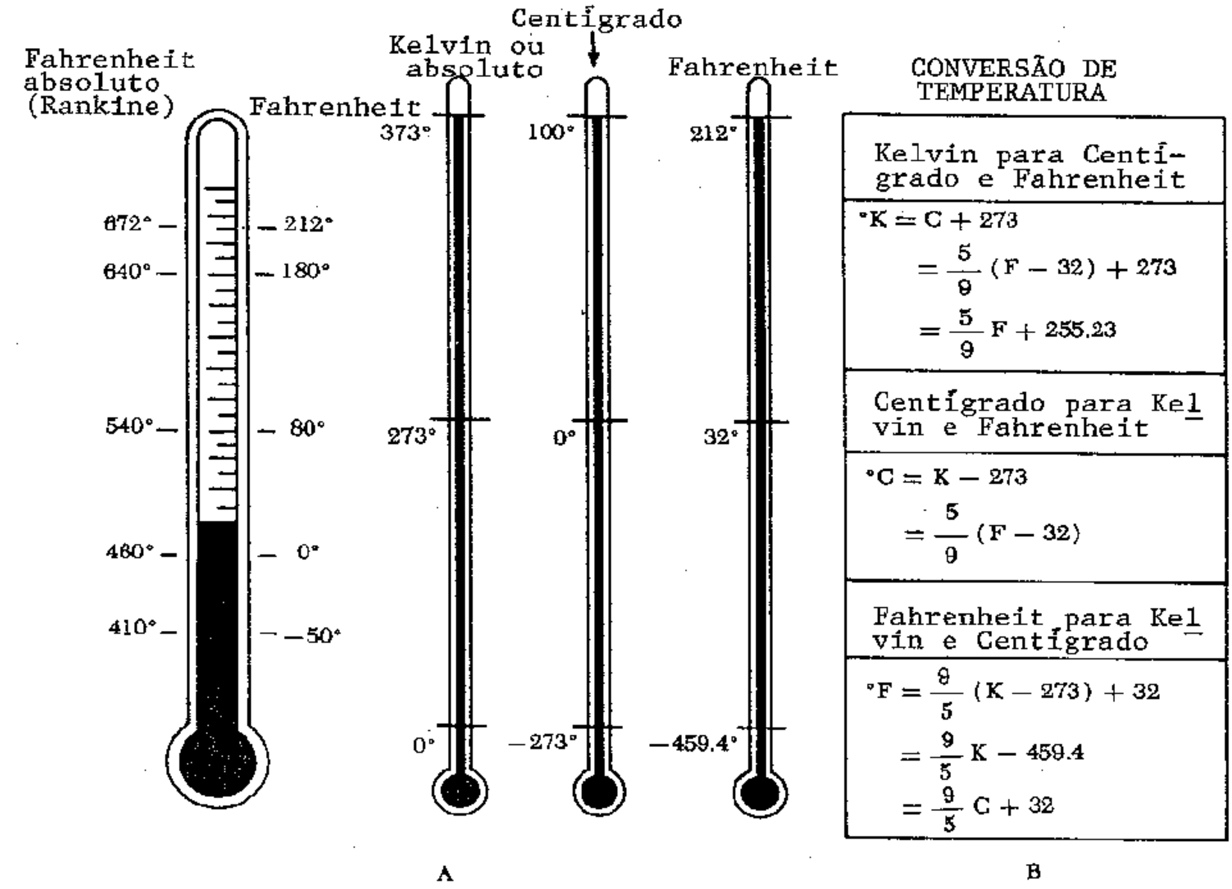

Fahrenheit absoluto (Rankine)
Fahrenheit
672°
640°
540°
460°
410°
212°
180°
80°
0°
−50°
Kelvin ou absoluto
Centígrado
Fahrenheit
373°
273°
0°
100°
0°
−273°
212°
32°
−459.4°
A
CONVERSÃO DE TEMPERATURA
Kelvin para Centígrado e Fahrenheit
$°K = C + 273$
$= \frac{5}{9}(F - 32) + 273$
$= \frac{5}{9}F + 255.23$
Centígrado para Kelvin e Fahrenheit
$°C = K - 273$
$= \frac{5}{9}(F - 32)$
Fahrenheit para Kelvin e Centígrado
$°F = \frac{9}{5}(K - 273) + 32$
$= \frac{9}{5}K - 459.4$
$= \frac{9}{5}C + 32$
B

Figura 7-5 (A) Escala Rankine, usada para converter Fahrenheit para absoluto. (B) Comparação das temperaturas Fahrenheit, Centígrado e Kelvin.

Ao trabalhar com temperaturas, certifique-se, sempre, quanto ao sistema de medição que está sendo usado e, saiba como converter as temperaturas.

As fórmulas de conversão são mostradas na letra B da figura 7-5. Para fins de cálculos, a escala Rankine, ilustrada na figura 7-5 é comumente usada para converter Fahrenheit em absoluta. Para leituras Fahrenheit acima de zero, adicionar 460º.

Desta forma 72ºF é igual a 460º mais 72º ou 532º absolutos. Se a leitura Fahrenheit for abaixo de zero, subtrair de 460º. Assim, -40ºF é igual a 460º menos 40º, ou 420º absolutos. É necessário destacar que a escala Rankine não indica leitura de temperatura absoluta de acordo com a escala Kelvin, mas estas conversões podem ser usadas para cálculos de modificações no estado físico dos gases.

As escalas Kelvin e Centígrada são usadas mais efetivamente em trabalhos científicos; portanto muitos manuais técnicos usam estas escalas quando tratando de orientações e instruções de operação.

A escala Fahrenheit é comumente usada nos Estados Unidos e a maioria das pessoas são familiarizadas com ela. Portanto a escala Fahrenheit é usada em muitas partes deste texto.

PRESSÃO

O termo "pressão", conforme é usado em todo este capítulo, é definido como uma força por unidade de área. A pressão é, normalmente, medida em p.s.i. (pounds per square inch, ou libras por polegada quadrada). Às vezes a pressão é medida em polegadas de mercúrio ou, para pressões muito baixas, em polegadas de água.

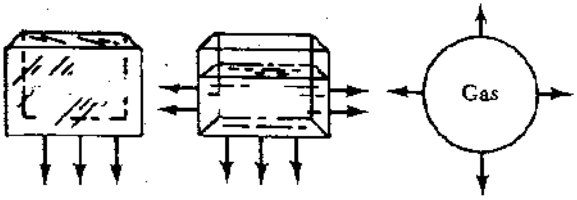


Figura 7-6 Pressão exercida.

A pressão pode estar em uma direção, várias direções ou em todas as direções (Veja a figura 7-6). Gelo (um sólido) exerce pressão apenas para baixo. Água (um fluido) exerce pressão em todas as superfícies com as quais entra em contato. Gás (um fluido) excerce pressão em todas as direções, porque ele ocupa completamente o recipiente que o contém.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A atmosfera é a massa total de ar que circunda a terra. Embora ela se extenda acima de 900Km (500 milhas), a seção de interesse principal é a porção do ar que fica sobre a superfície da terra e se estende em torno de 14 Km (7,5 milhas). Esta camada é chamada de troposfera, e quanto maior for a altura, menor será a pressão. Isto é devido ao peso do ar. Se uma coluna de ar de uma polegada quadrada que se estenda por todo o caminho até o topo da camada atmosférica fosse pesada, ela teria aproximadamente 14,7 libras ao nível do mar. Deste modo, a pressão atmosférica ao nível do mar é de aproximadamente 14,7 p.s.i..

Quando a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui aproximadamente 1,0 p.s.i. a cada 2.343 pés. No entanto, abaixo do nível do mar, a pressão atmosférica aumenta. As pressões sob a água diferem daquelas somente sob o ar, porque o peso da água deve ser adicionado ao peso do ar. A pressão atmosférica, os efeitos da temperatura sobre ela e os meios utilizados para medí-la serão discutidos com maiores detalhes em outra seção deste capítulo.

Pressão absoluta

Como afirmado anteriormente, a temperatura absoluta é usada nos cálculos de mudanças no estado dos gases. Também é necessário o uso da pressão absoluta para esses cálculos.

A pressão absoluta é medida da pressão zero absoluta, preferivelmente, do que da normal ou da pressão atmosférica (aproximadamente 14,7 p.s.i.).

A escala de pressão é usada normalmente em todos os medidores, e indica a pressão que excede a atmosférica.

Por esta razão, a pressão absoluta é igual a pressão atmosférica mais a pressão do indicador.

Por exemplo, 100 p.s.i.g. (libras por polegada quadrada indicada) é igual a 100 p.s.i. mais 14,7 p.s.i. ou 114,7 p.s.i.a. (libras por polegada quadrada absoluta).

Incompressibilidade e expansão dos líquidos

A compressão dos líquidos, que é a redução do volume que eles ocupam, mesmo sob extrema pressão, é tão pequena, que pode ser considerada desprezível.

Se uma pressão de 100 p.s.i. for aplicada a uma quantidade substancial de água, o seu volume decrescerá sómente 3/10.000 do seu volume original. Seria necessário uma força de 64.000 p.s.i. para reduzir o seu volume em 10%. Como os outros líquidos se comportam da mesma maneira, os líquidos são, usualmente, considerados incompressíveis.

Os líquidos geralmente se expandem quando aquecidos. Esta ação é normalmente conhecida como expansão térmica. Todos os líquidos não se expandem na mesma quantidade para um certo aumento de temperatura.

Se dois frascos forem colocados em um recipiente aquecido, e se um deles estiver cheio de água e o outro de álcool, a expansão do álcool será maior do que a da água pela mesma razão de temperatura.

A maioria dos óleos se expandem mais do que a água. Os sistemas hidráulicos das aeronaves contêm meios de compensar esse aumento de volume, de modo a evitar danos ao equipamento.

COMPRESSIBILIDADE E EXPANSÃO DE GASES

As duas maiores diferenças entre gases e líquidos são suas características de compressibilidade e expansão. Embora os líquidos sejam praticamente não compressíveis, os gases são altamente compressíveis. Os gases preeenchem totalmente qualquer recipiente fechado que os contenham, mas os líquidos enchem um recipiente somente na extensão de seu volume normal.

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

A estrutura dos gases os torna rapidamente adaptáveis a análise matemática, da qual surgiu a teoria detalhada do comportamento dos gases, chamada teoria cinética dos gases. A teoria pressupõe que a massa do gás é composta de moléculas idênticas que se comportam como esferas elásticas pequenas, separadas relativamente longe entre si e contínuamente em movimento.

O grau do movimento molecular depende da temperatura do gás, uma vez que as moléculas estão freqüentemente batendo umas nas outras e contra as paredes do recipiente; um aumento na temperatura, com o conseqüente aumento no movimento molecular, causa um aumento correspondente no número de colisões entre as moléculas. O número aumentado de colisões resulta num número maior de moléculas que colidem nas paredes do recipiente numa certa unidade de tempo.

Se o recipiente fosse um vaso aberto, o gás se expanderia e transbordaria. Contudo, se o recipiente é selado e possui elasticidade (tal qual uma bola de borracha), a pressão aumentada determinaria a expansão do recipiente.

Por exemplo, ao fazer uma longa viagem num dia quente, a pressão nos pneus de um automóvel aumenta; e o pneu, que parecia ser algo macio numa manhã fresca, pode parecer normal numa temperatura maior ao meio dia.

Tais fenômenos como esses são explicados por leis concernentes a gases e, tendem a corroborar a teoria cinética.

A qualquer momento, algumas das moléculas do gás se movem numa dada direção, algumas em outra direção; algumas viajam rapidamente, outras lentamente; algumas não se movem. O efeito combinado dessas velocidades corresponde a temperatura do gás. Em qualquer quantidade considerável de gás, existem tantas moléculas presentes que, de acordo com "as leis da probabilidade" uma velocidade média pode ser encontrada. Se essa velocidade média existisse em todas as moléculas do gás, produziria o mesmo efeito numa dada temperatura como resultante das várias velocidades.

Lei de Boyle

Como afirmado anteriormente, a compressibilidade é uma característica marcante dos gases. O cientista inglês Robert Boyle estava entre os primeiros a estudar essa característica que ele chamou "espalhamento do ar". Pela medição direta ele descobriu que, quando a temperatura de uma amostra combinada de gás era mantida constante e a pressão dobrava, o volume era reduzido a metade do valor anterior; a medida que a pressão aplicada diminuia, o volume aumentava. Dessas observações, ele concluiu, que para uma temperatura constante, o produto do volume e a pressão para um gas preso permanece constante. A lei de Boyle é estabelecida: "o volume de um gás seco enclausurado varia inversamente com sua pressão, permanecendo constante a temperatura".

Essa lei pode ser demonstrada aprisionando uma quantidade de gás num cilindro, que tem um pistão firmemente posicionado. Uma força, é então aplicada ao pistão, de modo a comprimir o gás no cilindro de algum volume específico. Quando a força aplicada no pistão é dobrada, o gás é comprimido à metade do seu volume original, como indicado na Figura 7-7.

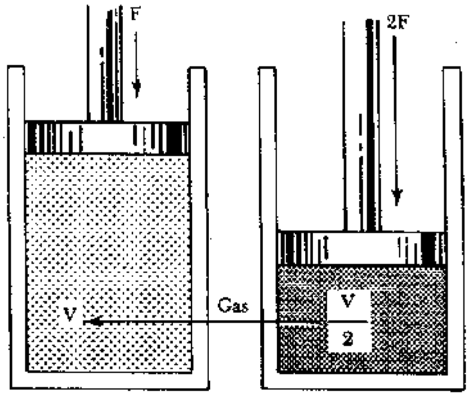


Figura 7-7 Metade do volume pelo dobro da força.

Na equação, a relação pode ser expressa por:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \text{ ou } \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

onde, V_1 e P_1 são volume e pressão iniciais, e V_2 e P_2 são volume e pressão posteriores.

Exemplo da Lei de Boyle: 4 pés cúbicos de nitrogênio estão sob uma pressão de 100 p.s.i.g. Ao nitrogênio é permitida uma expansão para um volume de 6 pés cúbicos.
Qual é a nova pressão indicada ?
Fórmula ou equação:
$V_1 P_1 = V_2 P_2$ Substiuindo: 4 x (100) = 6 x P_2

$$\Rightarrow P_2 = \frac{4X100}{6} \Rightarrow P_2 = 66{,}6 \text{ p.s.i.g.}$$

Um gás que se comporta de acordo com a lei de Boyle, é considerado um gás ideal. Quando a pressão aumenta sobre o gás, seu volume diminui proporcionalmente e sua densidade aumenta. Dessa forma, a densidade do gás varia diretamente com a pressão, se a temperatura permanecer constante como no caso de um gás ideal. A densidade também varia com a temperatura, uma vez que os gases se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados.

As aplicações úteis da lei de Boyle são muitas e variadas. Algumas aplicações mais comuns na aviação são:

1- garrafas de dióxido de carbono (CO_2) usadas para inflar botes e coletes salva-vidas.
2- garrafas de oxigênio sob pressão e de acetileno usados em soldagem.
3- freios e amortecedores de choque a ar comprimido.
4- garrafa de oxigênio para vôos a grandes altitudes e para uso em emergência.

Lei de Charles

O cientista francês Jacques Charles colaborou muito na fundação da teoria cinética moderna dos gases.

Ele descobriu que todos os gases se expandem e contraem numa proporção direta à mudança na temperatura absoluta, permanecendo a pressão constante. Na forma de equação, essa parte da lei pode ser expressa.

$$V_1 T_2 = V_2 T_1 \text{ ou } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

A equação significa que, com um volume constante, a pressão absoluta do gás varia diretamente com a temperatura absoluta.

Exemplos da lei de Charles:

Um cilindro de gás sob uma pressão de 1.800 p.s.i.g. a 70ºF é mantido sob o sol tropical e a temperatura sobe para 130ºF. Qual a nova pressão dentro do cilindro? A pressão e a temperatura devem ser convertidas para absolutas.
Fórmula ou equação:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:
70ºF = 530º absolutos
130ºF= 590º absolutos
Substituindo:

$$\frac{1800 + 14{,}7}{P_2} = \frac{530}{590} \quad \text{Então: } P_2 = \frac{(590)(1814{,}7)}{530}$$

P_2 = 2.020 p.s.i.a.
Convertendo a pressão absoluta para a pressão indicada:

$$\begin{array}{r} 2.020{,}0 \\ -\ \ 14{,}7 \\ \hline 2.005{,}3 \text{ p.s.i.g.} \end{array}$$

Balões livres voando na estratosfera, os gases de aeronaves a jato, e os efeitos das nuvens e do tempo nos instrumentos de registro, podem ser explicados pelo uso da lei de Charles. Aqui estão aplicações práticas da lei de física que ajuda o piloto, o controlador de ar e o aerógrafo nos seus serviços. Voar se torna mais seguro quando os humanos são capazes de aplicar essa lei no manuseio dos dados de tempo, tão vital para a aviação.

Lei geral dos gases

Os fatos referentes aos gases discutidos nas seções anteriores são resumidos e ilustrados na figura 7-8. A lei de Boyle é expressa em "A" da figura, e os efeitos das mudanças de temperatura na pressão e volume (lei de Charles) são ilustradas em "B"e "C", respectivamente. Ao combinar as leis de Boyle e Charles, uma expressão única pode ser encontrada, estabelecendo todas as informações contidas em ambas. Essa expressão é chamada "a lei geral dos gases", uma fórmula muito útil a partir da qual é dada a equação que se segue. (Nota: o P e T maiúsculos significam pressão absoluta e temperatura absoluta, respectivamente).

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

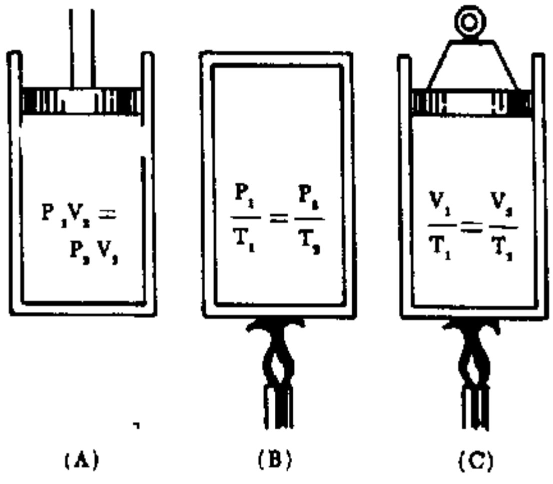

$P_1V_1 = P_2V_2$
$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
(A)
(B)
(C)

Figura 7-8 Lei geral dos gases.

Um exame da figura 7-8 revela que as três equações são casos especiais da equação geral. Portanto, se a temperatura permanecer constante, T_1 igual a T_2, ambas podem ser eliminadas da fórmula geral, que então se reduz para a forma mostrada em "A". Quando o volume permanecer constante, V_1 igual a V_2, reduzindo a equação geral para a forma dada em "B". Similarmente P_1 é igual a P_2 pela constante pressão, e a equação toma a forma dada em "C".

A lei geral dos gases aplica-se com exatidão somente para gases perfeitos ou "ideais", em que as moléculas são assumidas para serem perfeitamente elásticas. Ainda que a lei descreva o comportamento atual dos gases, com exatidão suficiente para a maioria dos propósitos práticos.

A seguir, dois exemplos da equação geral:

1 - Dois pés cúbicos de um gás a 75 libras por polegada quadrada e a 80ºF. são comprimidos para um volume de 1 pé cúbico e, então, aquecido a uma temperatura de 300ºF. Qual a nova pressão indicada?

Formula ou equação:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

80ºF = 540º ABSOLUTO
300ºF = 760º ABSOLUTO

Substituindo:

$$\frac{(75+14,7)(2)}{540} = \frac{P_2(1)}{760} \text{ Então:}$$

$$\frac{179,4}{540} = \frac{P_2}{760} \Rightarrow P_2 = \frac{(179,4)(760)}{540}$$

P_2 = 252,5 p.s.i.a.

Convertendo pressão absoluta para pressão indicada:

252.5
- 14,7
237.8 p.s.i.g.

2 - Quatro pés cúbicos de um gás a 75 p.s.i.g. e 80ºF. são comprimidos a 237,8 p.s.i.g. e aquecidos para uma temperatura de 300ºF. Qual é o volume de gás resultante desta operação ?

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

80ºF. = 540º absoluto
300ºF. = 760º absoluto

Substituindo:

$$\frac{(75+14,7)(4)}{540} = \frac{(237,8+14,7)V_2}{760}$$

$$V_2 = \frac{358,8x760}{540x252,2} \Rightarrow V_2 = 2 \text{ pés cúbicos}$$

Lei de Avogadro

Avogadro, um físico italiano, conceituou a teoria que "na mesma temperatura e pressão, volumes iguais de diferentes gases, contêm iguais números de moléculas". Esta teoria foi provada por experiências e, comprovada com a teoria cinética, tanto que ela foi mostrada como "a lei Avogadro."

Lei de Dalton

Se a mistura de dois ou mais gases que não combinam quimicamente é colocada em um recipiente, cada gás se expande através do espaço total e, a pressão absoluta de cada gás é reduzida para um pequeno valor, chamado de pressão parcial. Esta redução está de acordo com a lei de Boyle. A pressão dos gases misturados é igual a soma das pressões parciais. Este fato foi descoberto por Dalton, um físico inglês, e é determinada como a quarta lei de Dalton: "a mistura de vários gases que não reagem quimicamente, exerce uma pressão igual a soma das pressões que os vários gases exercerão separadamente se, a cada um, for permitido ocupar o espaço interior sozinho a uma dada temperatura".

Transmissão de forças através de fluídos

Quando a extremidade de uma barra é forçada, a força principal da pancada é transportada diretamente através da barra para o outro extremo (veja "A" da figura 7-9). Isto acontece porque a barra é rígida. A direção da pancada determina quase inteiramente a direção da força transmitida.

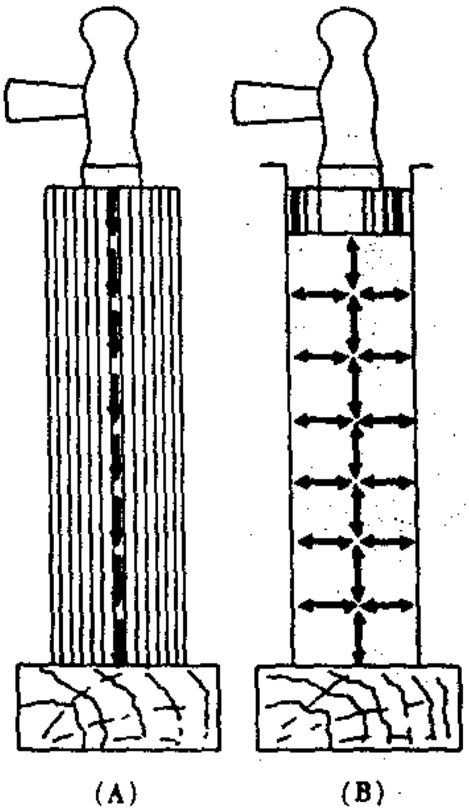


Figura 7-9 Transmissão de força: (A) Sólido; (B) Fluído.

Quanto mais rígida a barra, menor é a força perdida dentro da barra, ou transmitida para fora, em ângulos retos na direção da pancada.

Quando uma força é aplicada na extremidade da coluna de um líquido confinado ("B" da figura 7-9), esta é transmitida diretamente através do outro final e, também, igualmente sem diminuir em todas as direções através da coluna - para frente, para trás e para os lados - de tal modo que o recipiente seja literalmente ocupado com a pressão.

Se um gás for usado em lugar de um líquido, a força será transmitida da mesma maneira.

A única diferença é que, o gás sendo compressível, fornece uma força rígida muito menor do que o líquido, que é incompressível. (Esta é a principal diferença na ação de líquidos e gases nos sistemas de força de fluidos).

Lei de Pascal

Os fundamentos da hidráulica e pneumática modernas foram estabelecidas em 1653, quando Pascal descobriu que a pressão em cima de um fluido, atua igualmente em todas as direções.

Esta pressão atua em ângulos retos para as superfícies do recipiente. Portanto, na figura 7-10, se o líquido estagnado em uma polegada quadrada "A"no fundo de um tanque pesar 8 libras, uma pressão de 8 p.s.i. é exercida em todas as direções em "A".

O líquido repousando em "A" empurra igualmente para baixo e para fora. O líquido em toda polegada quadrada da superfície do fundo está empurrando para baixo e para fora igualmente, tanto que, as pressões nas diferentes áreas estão em equilíbrio.

Na borda do fundo do tanque, as pressões atuam contra a parede, que por sinal deve ser bastante forte para resistí-las com a força exatamente igual a empurrada.

Cada uma polegada quadrada do fundo do tanque deve também ser suficientemente forte para resistir a pressão para baixo do líquido, em descanso no seu fundo.

O mesmo equilíbrio de pressões existe em todos os outros níveis do tanque, ainda que de inferiores pressões como a mais próxima da superfície.

Quando o líquido permanece em descanso, ele não vaza; e o tanque não se rompe.

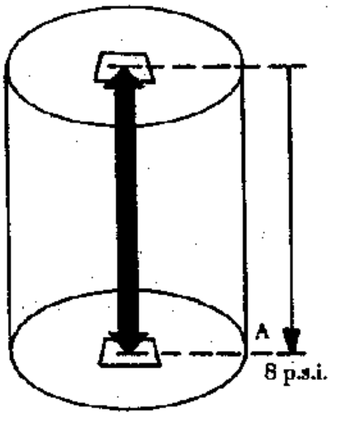


Figura 7-10 Pressão atuando em um reservatório.

Uma das consequências da lei de Pascal é que a forma interior do recipiente altera a relação de pressão. Portanto na figura 7-11, se a pressão devida para o peso do líquido em um ponto na linha horizontal "H"é de 8 p.s.i., a pressão será de 8p.s.i., em qualquer lugar do nível "H" no sistema.

A pressão, devido ao peso de um fluido, depende em qualquer nível, da altura do fluido a partir da superfície. A distância vertical entre dois níveis horizontais em um fluido é conhecida cmo a cabeça do fluido

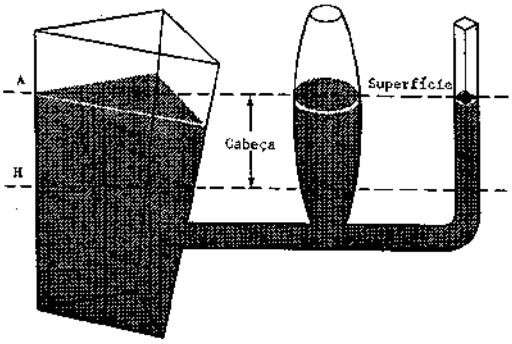


Figura 7-11Relacionamento da pressão com o formato do reservatório.

. Na figura 7-11 está indicada a cabeça do líquido de todos os pontos no nível "H"com relação à superfície.

A pressão devida para a cabeça do fluido também depende da densidade desse mesmo fluido. A água, por exemplo, pesa 62,4 libras/pé cúbico ou 0,036 libras/polegada cúbica, mas certos óleos fortes pesam 55 libras/pé cúbico, ou 0,32 libras/polegada cúbica. Para produzir uma pressão de 8 p.s.i., ele tomaria 222 polegadas de altura usando água, e 252 polegadas de altura usando o óleo (veja figura 7-12).

Força e pressão

Para que possamos entender como a lei de Pascal é aplicada para força de um fluido, uma distinção deve ser feita entre os termos "força"e "pressão". Força pode ser definida como um "empurrar" ou "puxar", exercido contra a área total de uma determinada superfície, que é expressa em libras. Como colocado anteriormente, pressão é uma quantidade de força em uma unidade de área da superfície representada acima. Em hidráulica e pneumática, a pressão é expresa em libras por polegada quadrada. Portanto pressão é a quantidade de força atuando sobre a área de uma polegada quadrada.

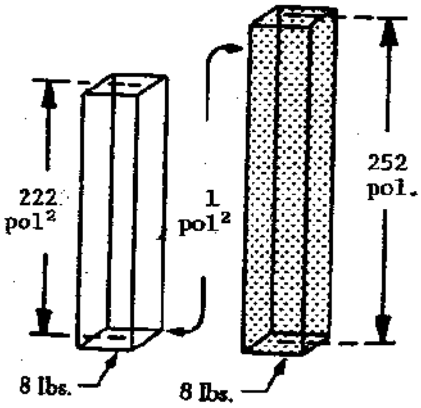


Figura 7-12 Relação entre pressão e densidade.

Calculando força, pressão e área

Uma fórmula, semelhante as usadas com a lei do gás, é usada calculando força, pressão e área no sistema de força do fluido. Embora pareçam ser três fórmulas, ela é somente uma, escrita em três variações; onde "P" refere-se a pressão, "F" indica força e "A" representa área.

Força é igual a pressão vezes a área. Assim, a fórmula será escrita: F. = P x A

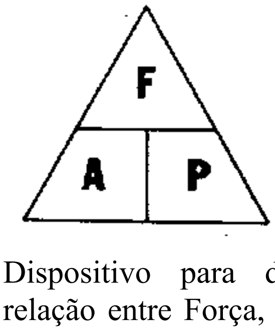


Figura 7-13 Dispositivo para determinar a relação entre Força, Pressão e Área.

Pressão é igual a força dividida pela área. Recompondo a fórmula, esta afirmação é considerada em: $P = \frac{F}{A}$

Como a área é igual a força dividida pela pressão, a fórmula será escrita: $358{,}8X760$

A figura 7-13 ilustra um artifício para relembrar estas fórmulas. Qualquer letra no triângulo pode ser expressa como o produto ou quociente das outras duas, dependendo da posição dela dentro do triângulo.

Por exemplo, para acharmos a área, consideramos a letra "A" como destaque, seguida por um sinal de igual. Agora, olhamos para as outras duas letras. A letra "F"está sobre a letra "P"; logo, $A = \frac{F}{P}$

De maneira similar, para achar a força, consideramos a letra "F" como sendo destaque. As letras "P"e "A"estão lado a lado, logo, F = P x A.

Às vezes a área não pode ser expressa em polegadas quadradas. Se ela é uma superfície retangular, a área pode ser achada multiplicando-se o comprimento (em metros ou polegadas) pela largura (em metros ou polegadas). A maioria das áreas consideradas nestes cálculos são circulares.

Tanto o diâmetro como o raio (metade do diâmetro) podem ser dados. O raio em polegadas deve ser conhecido para achar a área. Então, a fórmula para achar a área de um círculo é usada.

Ela é escrita $A = \pi r^2$, onde A é a área, π é 3,1416 (3,14 ou 3 1/7 para a maioria dos cálculos), e r^2 indica raio ao quadrado.

Pressão e força em um fluido num sistema de potência

De acordo com a lei de Pascal, alguma força aplicada para um fluido preso é transmitida, igualmente, em todas as direções e, por todas as partes através do fluido independente da forma do recipiente.O efeito disto está no sistema mostrado na figura 7-14, que é uma modificação de "B" da figura 7-9. A coluna do fluido é curvada para cima para o seu nível original, com um segundo pistão neste ponto.

Está claro que quando o pistão entra (1) empurrado para baixo, a pressão é gerada através do fluido, o qual age igualmente em ângulos retos para as superfícies em todas as partes do recipiente.

Referente a figura 7-14, se a força (1) é 100 libras e a área do pistão é de 10 polegadas quadradas, então a pressão no fluido é 10 p.s.i. (100/10). Esta pressão age no pistão (2), para que cada polegada quadrada da sua área seja empurrada para cima, com a força de 10 libras. Neste caso, uma coluna de fluido de seção uniforme é considerada, de modo que a área do pistão de saida (2) é a mesma que a do pistão de entrada (1), ou 10 polegadas quadradas. Então, a força para cima, no pistão de saida (2) é de 100 libras, a mesma que é aplicada no pistão de entrada (1). Tudo que se executou neste sistema foi para transmitir a força de 100 libras ao redor de uma curva.

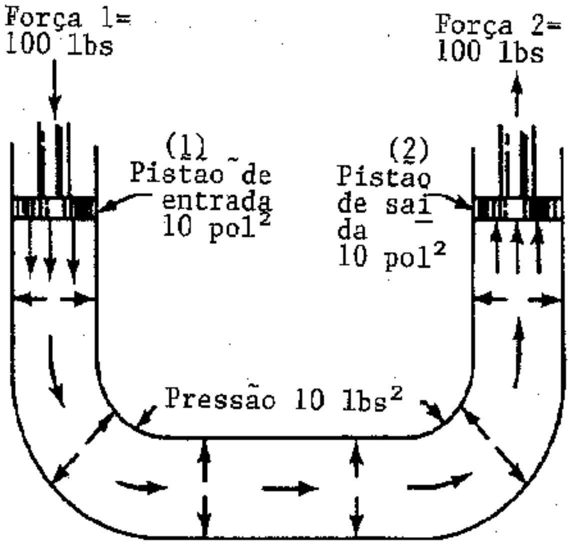


Figura 7-14 Força transmitida através dos fluidos.

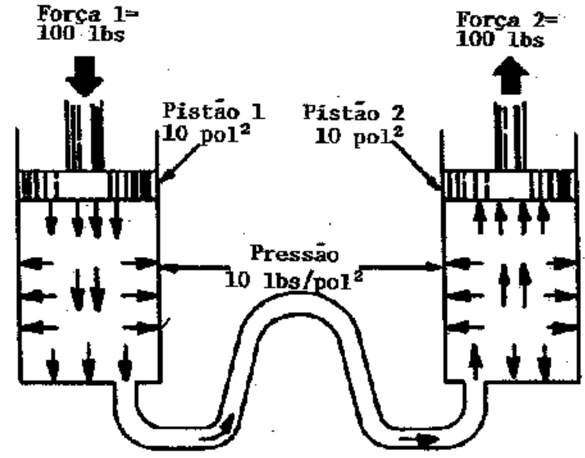


Figura 7-15 Transmitindo força através de um pequeno tubo.

Entretanto, este princípio fundamenta praticamente toda aplicação mecânica da potência do fluido.

Este detalhe deve ser observado, pois a lei de Pascal é independente da forma do recipiente, não sendo necessário que o tubo que conecta os dois pistões tenha a mesma área dos pistões.

Uma conexão de qualquer tamanho, forma ou comprimento, fará o controle se a passagem não estiver obstruída. Daí, o sistema mostrado na figura 7-15, no qual um pequeno tubo em curva conecta os dois cilindros, que agirão exatamente da mesma maneira, como mostrado na figura 7-14.

Multiplicação de forças

Nas figuras 7-14 e 7-15, os sistemas contêm pistões de área iguais, os quais a força de saida é igual a força de entrada.

Considerando-se a situação na figura 7-16, onde o pistão de entrada é muito menor que o pistão de saida.

Suponhamos que a área do pistão (1) de entrada seja de 2 polegadas quadradas. Empurrando o pistão (1) com uma força de 20 libras, produziremos 10 p.s.i. (20/2) no fluido.

Embora esta força seja muito menor do que a força aplicada nas figuras 7-14 e 7-15, a pressão é a mesma. Isto, é porque a força está concentrada numa área relativamente pequena.

Esta pressão de 10 p.s.i. age em todas as partes do fluido no recipiente, incluindo a base do pistão (2) de saída.

A força para cima, no pistão (2) de saída é, portanto, 10 libras para cada 20 polegadas quadradas de área, ou 200 libras (10 x 20).

Neste caso, a força original foi multiplicada por dez, enquanto a mesma pressão é usada no fluido anterior.

Obviamente, o sistema trabalhará da mesma maneira para outras forças e pressões; assim a razão da força de saída para a força de entrada é sempre a mesma.

O sistema trabalha da mesma forma, na situação contrária.

Considerando o pistão (2) na figura 7-16 como de entrada, e o pistão (1) como o de saída, vemos que a força de saída será sempre 1/10 da força de entrada. Às vezes tais resultados são desejados.

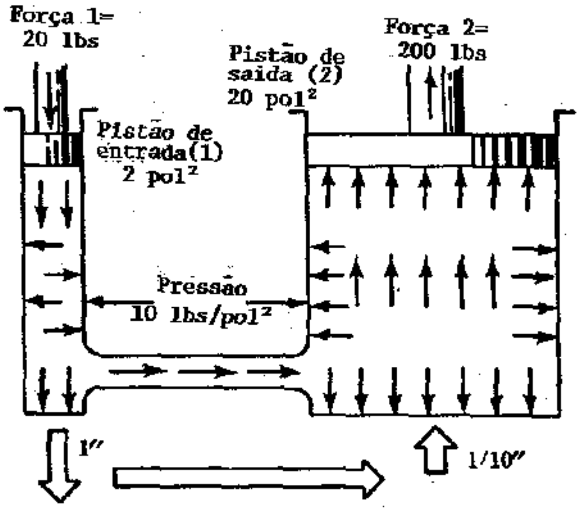


Figura 7-16 Multiplicação de forças.

Então, se dois pistões são usados em um fluido num sistema de potência, a força que atua em cada um é diretamente proporcional a sua área, e a magnitude de cada força é o produto da pressão pela sua área.

Áreas diferenciais

Eis a situação especial mostrada na figura 7-17. Aqui, um pistão individual em um cilindro tem uma haste ligada a um dos lados do pistão, ela se estende para fora do cilindro em uma extremidade. O fluido sob pressão entra para ambas as extremidades do cilindro, através de tubos. As duas faces do pistão permanecem como se dois pistões estivessem agindo um contra o outro.

A área de uma das faces é a área completa do cilindro, por exemplo, 6 polegadas quadradas. A área da outra face é a área do cilindro menos a área da haste do pistão a qual é de 2 polegadas na face direita do pistão. A pressão em ambas as faces é a mesma, neste caso, 20 p.s.i. Aplicando a regra já estabelecida, a força empurrando o pistão para a direita, é a sua área vezes a pressão, ou 120 libras (20 x 6). Similarmente, a força empurrando-o para a esquerda, é a sua área vezes a pressão, ou 80 libras.

Então existe uma força desequilibrada de 40 libras agindo para a direita, e o pistão se moverá naquela direção. O efeito resultante é o mesmo como se o pistão e o cilindro fossem do mesmo tamanho da haste do pistão, desde que todas as outras forças estejam em equilíbrio.

Fatores de volume e distância

No sistema ilustrado nas figuras 7-14 e 7-15, os pistões têm áreas de 10 polegadas quadradas cada. Então, se um destes pistões é empurrado 1 polegada, 10 cu. in. de fluido serão deslocadas.

Desde que o líquido seja realmente incompressível, este volume deve ir para algum lugar. No caso de um gás, ele se comprimirá momentaneamente, mas se expandirá eventualmente para seu volume original.

Assim, este volume se move para o outro pistão. Visto que a área deste pistão é também de 10 polegadas quadradas, ele se moverá 1 polegada com o fim de acomodar as 10 cu. in. do fluido.

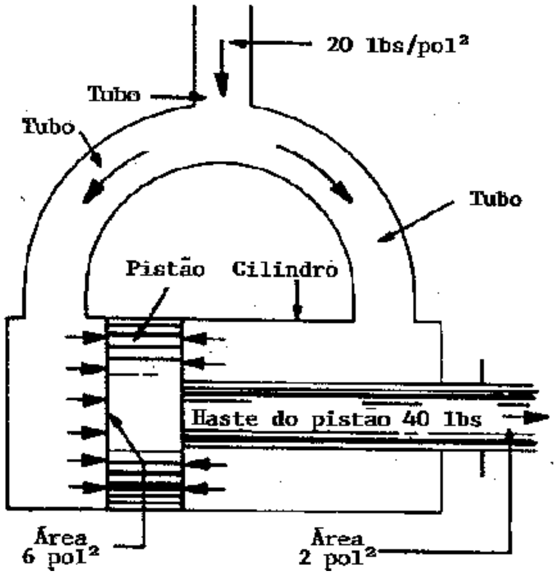


Figura 7-17 Áreas diferenciais em um pistão.

Os pistões são de áreas iguais e, portanto, se moverão distâncias iguais, embora em direções opostas.

Aplicando-se esse raciocínio para o sistema na figura 7-16, é óbvio que se o pistão (1) de entrada é empurrado 1 polegada, somente 2 cu. in. do fluido serão deslocadas.

Com o propósito de acomodar estas 2 cu. in. do fluido, o pistão (2) de saída terá que se mover somente 1/10 de uma polegada porque sua área é 10 vezes daquela do pistão (1) de entrada.

Isto nos leva para a segunda regra básica para dois pistões no mesmo sistema de potência de fluido, de que, as distancias percorridas são inversamente proporcionais as suas áreas.

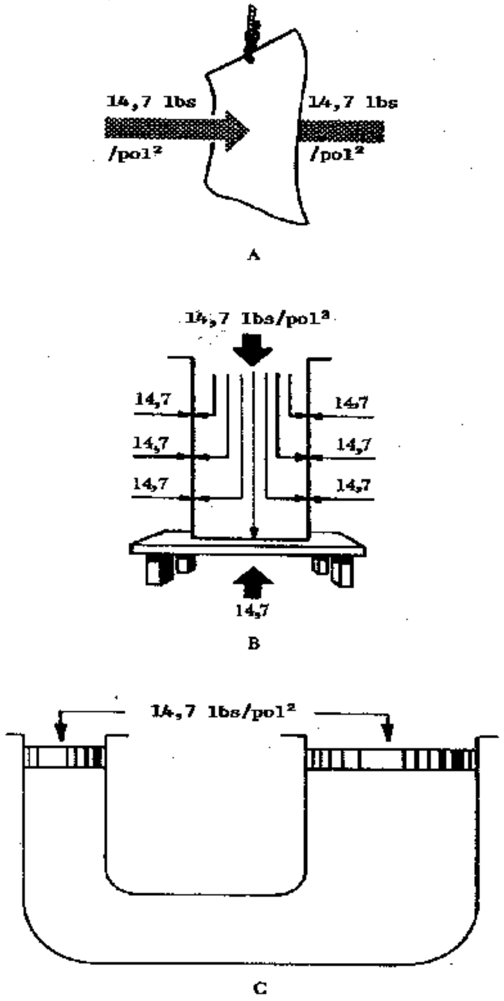


Figura 7-18 Efeitos da pressão atmosférica.

Efeitos da pressão atmosférica

A pressão atmosférica, descrita anteriormente obedece, a lei de Pascal, igual ao estabelecido para pressão nos fluidos. Como ilustrado na figura 7-14, pressões devidas para uma cabeça de líquido são distribuídas igualmente em todas as direções. Isto também é verdadeiro para a pressão atmosférica. A situação é a mesma se essas pressões agirem de lados opostos de alguma superfície, ou através de fluidos. Em "A" na figura 7-18 uma folha de papel suspensa não é puxada pela pressão atmosférica, como ela seria por uma força desequilibrada, devido a pressão atmosférica atuar igualmente em ambos os lados do papel. Em "B" da figura 7-18, a pressão atmosférica atuando na superfície de um líquido é transmitida igualmente através do liquido para as paredes do recipiente, mas é equilibrada pela mesma pressão, atuando diretamente no exterior das paredes do recipiente. Em "C" da figura 7-18, pressão atmosférica atuando na superfície de um pistão é equilibrada pela mesma pressão atuando na superfície do outro. As diferenças de áreas de duas superfícies não fazem diferença, desde que para uma unidade de área, as pressões estejam equilibradas.

Princípio de Bernoulli

O princípio de Bernoulli foi originalmente estabelecido para explicar a ação de um liquido fluindo através de tubos de áreas de corte seccional diferentes.

Na figura 7-19 um tubo é mostrado com o corte seccional diminuindo gradualmente a área para um diâmetro nínimo na sua seção central. Um tubo construído desta forma é chamado um "Venturi", ou "Tubo de Venturi".

Quando um líquido(fluido) flui através do tubo de venturi, os três tubos verticais agem como indicadores de pressão, enchendo com líquido até que a pressão deste em cada tubo se iguale à pressão do liquido movendo-se no Venturi.

O Venturi na figura 7-19 pode ser usado para ilustrar o princípio de Bernoulli, o qual estabelece que a pressão de um fluido (líquido ou gás) diminui no ponto onde a velocidade do fluido aumenta. Na seção larga do Venturi (pontos "A" e "C"da figura 7-19), o líquido se move a baixa velocidade, produzindo uma alta pressão, como indicado pela altura do líquido nos tubos verticais nestes dois pontos. A parte central do tubo, mais estreita, deve conter o mesmo volume de fluido das duas áreas extremas.

Nesta seção estreita, o líquido se move em alta velocidade, produzindo uma pressão menor que nos pontos "A"e "C", como indicado pela altura da coluna do líquido no tubo vertical acima do ponto "B" da figura 7-19.

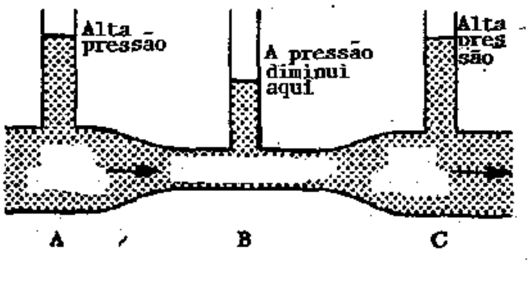


Figura 7-19 Pressões e velocidades em um tubo de Venturi.

O princípio de Venturi; em diversas formas e medidas, é usado em sistemas de aeronaves. Eles podem ser aplicados como restrições ou orifícios. Por exemplo, como orifício é geralmente instalado em uma linha hidráulica para limitar a velocidade do fluxo do fluido. O trem de pouso de uma aeronave operado hidraulicamente, quando comandado para baixar, tenderá a descer com uma boa velocidade devido ao peso dos mecanismos. Se uma restrição for instalada na linha de retorno hidráulico a extensão do trem será mais lenta, evitando desta forma, um possível dano estrutural.

ATMOSFERA

Geral

A aviação é quase tão dependente dessa categoria de fluidos chamada gases, e do efeito de forças e pressão agindo sobre esses gases, que uma discussão sobre o tema atmosfera é importante para as pessoas da manutenção e reparo de aeronaves.

Dados disponíveis sobre a atmosfera podem determinar se um vôo terá êxito, ou se ele ficará no ar. Os vários componentes do ar em volta da terra, as mudanças na temperatura e pressão em diferentes níveis acima da terra, as peculiaridades do tempo encontradas pela aeronave no vôo, e muitos outros dados detalhados são considerados pela aeronave no vôo, e muitos outros dados detalhados são considerados na preparação do plano de vôo.

Pascall e Torricelli pesquisaram com desenvolvimento o barômetro e os instrumentos para medir a pressão atmosférica. Os resultados de seus experimentos continuam sendo usados hoje com poucas melhorias no projeto ou no conhecimento. Eles determinam que o ar tem peso, o qual varia quando a altitude é mudada com relação ao nível do mar. Cientistas atuais também estão interessados em como a atmosfera afeta a performance da aeronave e seus equipamentos.

Composição da atmosfera

A atmosfera é uma mistura complexa e em constante mudança, seus ingredientes variam de local para local e de dia para dia. Além dos inúmeros gases, ela contém matérias estranhas como pólen, poeira, bactérias, fuligem, cinza de vulção, esporos e poeira do espaço exterior.

A composição do ar permanece quase constante desde o nível do mar até seu mais alto nível, mas sua densidade diminui rapidamente com a altitude. A seis milhas acima, por exemplo, ele é muito rarefeito para se manter a respiração, e 12 milhas acima não existe oxigênio bastante para suportar a combustão.

Em um ponto de várias centenas de milhas acima da terra, algumas partículas de gás "spray" entram no espaço; algumas arrastadas pela gravidade retrocedem para dentro do oceano de ar abaixo; outras nunca retornam, mas viajam como satélite em torno da terra; e, ainda outras, como o hidrogênio e o hélio, continuam como foragidas do campo gravitacional da terra.

Físicos discordam quanto ao limite exterior da camada da atmosfera. Alguns acham que ela começa a 240 milhas acima da terra e se estendem por 400 milhas; em outros locais ela beira 600 milhas e o limite superior, vai a 6000 milhas.

Existem também certas dissidências em vários níveis. Entre 12 e 30 milhas, alta radiação ultravio do sol reage com moléculas de oxigênio para produzir uma fina cortina de ozônio, um gás muito venenoso mais sem o qual a vida na terra não poderia existir.

O ozônio filtra uma porção dos raios letais ultravioleta, permitindo somente a passagem bastante para dar um bronzeado ao homem, matando bactérias e prevenindo o raquitismo. A 50 ou 65 milhas acima, muitas moléculas de oxigênio se decompõem pela radiação solar em átomos livres e, formam a molécula incompleta, hidroxila (OH) do vapor da água. Também nesta região todos os átomos ficam ionizados.

Estudos de atmosfera têm revelado que a temperatura não diminui uniformemente com o aumento da altitude; ao contrário, ela obtém um frio constante em alturas de 7 milhas, onde a razão de mudança da temperatura diminui abruptamente e fica quase constante em -55ºC (218ºK) a cerca de 20 milhas.

Então a temperatura começa a aumentar para um valor máximo de 77ºC(350ºK) no nível de 55 milhas. Depois ele sobe rapidamente atingindo 2.270ºC (2.543ºK). Na altura de 250 a 400 milhas em um nível superior a 50 milhas, um homem ou algum outro ser vivo, sem a camada protetora da atmosfera, seria assado do lado do sol e congelado do outro.

A atmosfera está dividida em cinco concêntricas camadas ou níveis. A transição entre estes níveis é gradual e sem definição de limites severos.

Entretanto, existe um limite a tropopausa, entre a primeira e a segunda camada. A tropopausa é definida como o ponto na atmosfera, no qual a diminuição da temperatura (com o aumento da altitude) cessa abruptamente, entre a troposfera e a estratosfera.

Para melhor explicação, as quatro camadas são: troposfera, estratosfera, ionosfera e exosfera. A porção superior da estratosfera é freqüentemente chamada chemosfera ou ozonosfera, e a exosfera é também conhecida como mesosfera.

A troposfera vai desde a superfície da terra até 35.000 pés nas médias latitudes, mas varia de 28.000 pés nos polos até 54.000 pés no equador. A troposfera é caracterizada por uma grande mudança de temperatura e umidade e, geralmente, por condições de turbulência. Quase toda as formações de nuvens estão dentro da troposfera.

Aproximadamente 3/4 do total de peso da atmosfera está dentro da troposfera. A temperatura e a pressão absoluta na troposfera diminui constantemente com o aumento da altitude para um ponto onde a temperatura é aproximadamente -55ºC (ou 218ºK) e a pressão é cerca de 6,9HG em um dia padrão.

A estrutura vai do limite superior da troposfera (e a tropopausa) até atingir a altitude de 60 milhas. Na estratosfera a temperatura declina e, virtualmente pára; entretanto, em 18 ou 20 milhas, ela freqüentemente decresce até o nível de 300 a 600 milhas. Pouco é conhecido sobre as características da ionosfera, mas é nela onde ocorre a maioria dos fenômenos elétricos. Basicamente, esta camada é caracterizada pela presença de íons e elétrons livres, e a ionização parece aumentar com a altitude e em sucessivas camadas.

A temperatura aumenta de quase 200ºK, no limite inferior para cerca de 2.500ºK, no limite superior. Essas temperaturas, extremamente altas nas altitudes superiores, não têm o mesmo significado das temperaturas ao nível do mar. A leitura de um termômetro nesta região estaria determinando mais a radiação solar do que a temperatura, devido a energia das partículas.

A exosfera (ou mesosfera) é a camada externa da atmosfera. Ela começa na altitude de 600 milhas e se estende até o limite da armosfera. Nesta camada, a temperatura é aproximadamente constante em 2.500ºK, e a propagação é impossível devido a carência de substância molecular.

Pressão atmosférica

O corpo humano está sob pressão, devido a massa de ar que o engloba. Esta pressão se deve ao peso da atmosfera. A pressão que a atmosfera aplica em uma polegada quadrada de área, é igual ao peso de um coluna de ar de uma polegada quadrada no corte seccional, o qual se estende desde essa área até a área superior da atmosfera.

Desde que a pressão atmosférica, em alguma altitude, é devido ao peso do ar sobre ela, a pressão diminui com o aumento da altitude. Obviamente, o peso total do ar sobre uma área a 15.000 pés seria menor do que o peso total de ar sobre uma área a 10.000 pés.

A pressão atmosférica é, freqüentemente, medida por um barômetro de mercúrio, que é um tubo de vidro com cerca de 30 polegadas de comprimento, selado em uma das extremidades e enchido com mercúrio (Hg.). Ele é então invertido, e a abertura da extremidade é colocada em um prato de mercúrio. Imediatamente, o nível de mercúrio no tubo invertido diminui uma pequena distância, deixando um pequeno volume de vapor de mercúrio, próximo do zero absoluto de pressão no tubo, acima do nível máximo do líquido da coluna de mercúrio. A pressão atuando por cima da extremidade do tubo, sobre o nível de mercúrio no prato é a pressão atmosférica. A pressão, atuando embaixo, no mesmo ponto, é o peso da coluna de mercúrio. Então, a altura da coluna de mercúrio indica a pressão exercida pela atmosfera.

Este meio de medição da pressão atmosférica, dá lugar à prática de expressar a pressão atmosférica em polegadas de mercúrio (in. Hg), melhor do que em libras por polegada quadrada (p.s.i.). Pode ser visto, entretanto, que um simples relacionamento existe entre a pressão medida em P.S.I. e em polegadas Hg. Uma polegada cúbica de mercúrio pesa 0,491 libras. Portanto, a pressão de 30 polegadas de mercúrio será equivalente a:

0,491 x 30 = 14,73 p.s.i.

Uma segunda maneira de medir a pressão atmosférica é com um barômetro aneróide. Este instrumento mecânico pode ser usado em aviões muito mais adequadamente do que o barômetro de mercúrio. Barômetros aneróides (altímetros) são usados para indicar a altitude do vôo.

As calibragens são feitas em milhares de pés, melhor do que em p.s.i. Por exemplo, a pressão padrão ao nível do mar é 29,92 polegadas de mercúrio, ou 14,69 p.s.i. A 10.000 pés acima do nível do mar, a pressão padrão é de 20,58 polegadas de mercúrio ou 10,10 p.s.i. Os altímetros são calibrados, de tal modo, que a pressão de 20,58 in. Hg. exercida pela atmosfera, causará a indicação de 10.000 pés.

Em outras palavras, o altímetro é calibrado para indicar a altitude na qual a pressão atmosférica predominante é considerada pressão padrão. Assim, a altitude lida no altímetro, sendo dependente da pressão atmosférica superior, é chamada pressão de altitude (Hp). Realmente, um altímetro indicará a pressão de altitude somente quando o ajuste do altímetro estiver selecionado para 29,92 polegadas Hg.

Uma terceira expressão é, ocasionalmente, usada para indicar a pressão atmosférica. A pressão atmosférica pode ser expressa em atmosferas. Por exemplo, um teste pode ser conduzido em um compartimento pressurizado abaixo da pressão de seis atmosferas. Isto simplesmente significa que a pressão é seis vezes maior do que a pressão padrão ao nível do mar.

Densidade atmosférica

Desde que, tanto a temperatura como a pressão diminuem com a altitude; pode parecer que a densidade da atmosfera permanecerá mais ou menos constante com o aumento da altitude. Isto não é verdade para a pressão que diminui mais rapidamente com o aumento da altitude do que com o da temperatura. O resultado é que a densidade diminui com o aumento da altitude. No uso da lei geral dos gases, estudado anteriormente, pode-se mostrar que para um gás em particular, pressão e temperatura determinam a densidade.

Desde que o padrão de pressão e temperatura tem sido associado com cada altitude, a densidade do ar deve também, ser considerada padrão. Então, uma densidade atmosférica particular está associada com cada altitude. Isto dá lugar á expressão "densidade de altitudes", simbolizada por Hd.

A densidade de altitude de 15.000 pés é a altitude na qual a densidade é a mesma que a considerada padrão para 15.000 pés. Relembre, entretanto, que a densidade de altitude não é necessariamente a altitude verdadeira. Por exemplo, em um dia onde a pressão atmosférica é mais elevada do que a padrão, e a temperatura é mais baixa que a padrão; a densidade, a qual é padrão a 10.000 pés, pode ocorrer a 12.000 pés. Neste caso, em uma altitude real de 12.000 pés, nós temos ar, que tem a mesma densidade do ar padrão em 10000 pés. Densidade de altitude é uma altitude calculada, obtida pela correção da pressão de altitude pela temperatura.

A água contida no ar tem um pequeno efeito na densidade dele. Deve ser lembrado que o ar úmido, a uma determinada temperatura e pressão, é mais leve do que o ar seco, na mesma temperatura e pressão.

Água contida na atmosfera

Na troposfera, raramente o ar é completamente seco; nela o vapor de água tem duas formas: (1) neblina ou (2) vapor de água. A neblina consiste de diminutos pingos de água em suspensão no ar. As nuvens são compostas de neblina. A altura para a qual algumas nuvens se estendem, é uma boa indicação da presença de água na atmosfera, aproximadamente acima da estratosfera.

Como resultado da evaporação, a atmosfera as vezes contém algumas misturas em forma de vapor de água. A mistura é chamada de umidade do ar. A mistura não consiste de minúsculas partículas de líquidos mantidos em suspensão no ar, como no caso da neblina, mas é um vapor verdadeiramente invisível como o gás no ar.

Tanto a neblina como a umidade, afetam o desempenho de uma aeronave. Em vôo, durante a potência de cruzeiro, os efeitos são pequenos, não merecendo consideração. No entanto, durante a decolagem, a umidade tem um importante efeito, que pode ser compensado de duas maneiras. Como o ar úmido é menos denso do que o ar seco, o peso de decolagem previsto para uma aeronave, deve ser reduzido para a operação em áreas de umidade constante.

Como a saída de potência dos motores convencionais é diminuída pela umidade, a pressão de admissão terá que ser aumentada para um valor acima do que é recomendado, para se obter a mesma potência de saída, em uma decolagem sob condições de umidade, porque a potência fornecida por um motor é calculada para condições de ar seco.

Uma vez que o vapor de água é incombustível, sua pressão na atmosfera em nada contribui para a potência de saída. A mistura do vapor de água e ar é sugada pelo carburador, e o combustível é medido por ele, como se aquela mistura fosse somente de ar.

A mistura saída do carburador composta de vapor de água, ar e combustível entra na câmara de combustão onde é queimada. Como o vapor de água não será queimado, a relação efetiva combustível/ar estará enriquecida, e o motor irá operar como se ele estivesse com uma mistura excessivamente rica.

A perda de potência resultante, sob condições de umidade, pode ser atribuída a perda de eficiência volumétrica devido ao ar deslocado; e a combustão incompleta, devido a mistura combustível/ar excessivamente rica.

A redução na potência, que pode ser esperada da umidade, é usualmente fornecida em tabelas contidas no Manual de vôo. Existem vários tipos de cartas em uso, sendo que algumas apenas apresentam a esperada redução da potência devido à umidade; outras mostram o reforço necessário na pressão de admissão, para restabelecer a potência de decolagem.

O efeito da neblina no desempenho de um motor é muito perceptível, particularmente em motores de alta razão de compressão. Normalmente alguma detonação ocorrerá durante a aceleração, devido a alta BMEP (Pressão Média Efetiva no Freio) desenvolvida. No entanto, em um dia de muita neblina, é muito difícil a ocorrência da detonação.

A explicação deste fato, é que, sendo a neblina composta por partículas de água não vaporizada, quando essas partículas entram nos cilindros, elas absorvem uma tremenda quantidade de energia calorífica no processo de evaporação. A temperatura é, então, reduzida o suficiente para evitar a detonação.

A neblina geralmente causará uma diminuição na potência de saída. Entretanto, nos motores com supercompressão, será possível usar alta pressão de admissão sem o perigo da detonação.

Umidade absoluta

Umidade absoluta é a quantidade real de vapor de água em uma mistura de ar e água. Ela é, algumas vezes, expressa em gramas por metro cúbico (g./cu.m.) e outras vezes em libras por pé cúbico (lbs/cu.ft.).

A quantidade de vapor de água que pode estar presente no ar, depende da temperatura e da pressão.

A mais alta temperatura e a maior quantidade de vapor de água que o ar é capaz de manter, assumindo uma pressão constante. Quando o ar tem todo o vapor de água que ele pode manter, a uma determinada temperatura e pressão, ele é considerado ar saturado.

Umidade relativa

Umidade relativa é a razão da quantidade de vapor de água realmente presente na atmosfera, para a quantidade que deveria apresentar se o ar estivesse saturado, a uma determinada temperatura e pressão. Essa razão é, normalmente, multiplicada por 100 e expressa como uma porcentagem. Suponhamos, por exemplo, que uma previsão do tempo informe que a temperatura é de 75ºF., e a umidade relativa do ar é de 56%. Isto indica que o ar mantém 56% de vapor de água necessários para satura-lo a 75ºF. Se a temperatura baixar e a umidade absoluta permanecer constante, a umidade relativa aumentará. Isto acontece, porque, menos vapor de água é necessário para saturar o ar na temperatura mais baixa.

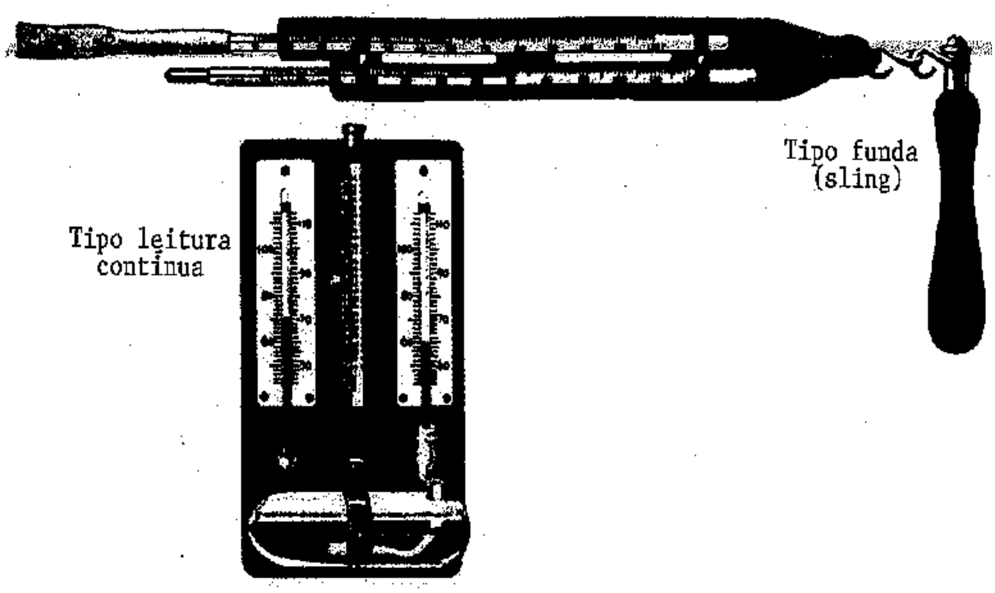


Figura 7-20 Termômetro de bulbo molhado.

Ponto de orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura para a qual o ar úmido deve ser resfriado, a uma constante pressão, para tornar-se saturado. Se a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho acontece a condensação.

Pessoas que usam óculos, já tiveram a experiência, ao saírem do frio para uma sala aquecida, de terem umidade coletada rapidamente nos seus óculos. Isto aconteceu, porque os óculos estavam abaixo do ponto de orvalho para a temperatura de ar dentro da sala. O ar em contato com os óculos foi imediatamente resfriado para uma temperatura abaixo do ponto de orvalho, e algum vapor de água foi condensado por fora. Este princípio é aplicado na determinação do ponto de orvalho. Um recipiente é resfriado até que o vapor da água comece a condensar na sua superfície.

A temperatura na qual isto ocorre, é o ponto de orvalho.

Pressão de vapor

A pressão de vapor é a porção da pressão atmosférica que é exercida pela umidade do ar (expressa em décimos de uma polegada de mercúrio). O ponto de orvalho para uma determinada condição, depende da quantidade de pressão de água presente; por conseguinte, existe um relacionamento direto entre a pressão de vapor e o ponto de orvalho.

Temperatura de bulbo seco e de bulbo molhado

A pressão de vapor e a umidade podem ser determinadas por tabelas baseadas na temperatura de bulbo seco e na de bulbo molhado (fig 7-20). A temperatura de bulbo seco é obtida por meio de um termômetro comum. A temperatura de bulbo molhado é obtida de um termômetro que tem o seu bulbo coberto com uma fina peça de tecido molhado.

Devido a evaporação da umidade, o bulbo molhado indicará uma temperatura mais baixa do que a do bulbo seco. Quanto mais rápida for a evaporação, maior será a diferença na leitura. A razão de evaporação depende do grau de saturação do ar. Ao usar o termômetro de bulbo molhado, ele deverá ser movimentado através do ar a uma razão de aproximadamente 1.200 pés por minuto para uma leitura correta. Isto pode ser executado, montando-se ambos os termômetros, o de bulbo molhado e o de bulbo seco, em uma moldura, a qual deverá ser girada com a mão em torno de um eixo, até que a desejável velocidade de 1.200 pés por minuto seja alcançada.

Se o ar estiver saturado, nenhuma evaporação acontecerá, e as temperaturas dos bulbos seco e molhado serão as mesmas. Assim, essas duas temperaturas coincidirão com o ponto de orvalho.

Leis físicas relativas a atmosfera

Apesar do ar ser um composto de vários gases e ter que ser considerado como uma mistura para certas finalidades, para os cálculos de aerodinâmica ele é considerado como um gás uniforme.

O ar é um fluido, uma vez que ele tem a propriedade de fluir, e é também um gás, porque sua densidade é rapidamente variável.

Como é usual em trabalhos de engenharia, são feitas certas suposições simplificadas. Uma suposição considerada padrão é a que no ar seco não existe vapor de água presente.

As tabelas de vôo e decolagem, podem ser corrigidas para a pressão de vapor, mas o vôo subsônico não considera a pressão de vapor como um fator importante. Uma outra suposição padrão é que o atrito ou "efeito da viscosidade" pode ser negligenciado quando se trata de fluxo de ar.

O ar é então, considerado como sendo um fluido perfeito. No entanto, algumas excessões podem ser feitas, particularmente, no caso da fina camada limite, do lento movimento do ar próximo a um corpo em movimento.

Teoria cinética dos gases aplicada ao ar

A teoria cinética estabelece que um gás é composto de pequenas e diferentes partículas chamadas moléculas. O tamanho das moléculas é pequeno, comparado com a distância média entre elas.

Além disso, as moléculas estão se movendo a uma alta razão de velocidade, sem direção definida e, devido a isso, elas estão constantemente colidindo umas com as outras, e com as paredes do recipiente em que estão contidas.

A pressão produzida por um gás, é o resultado desses contínuos impactos de encontro a superfície e; como os impactos são essencialmente em número infinito, uma constante pressão é efetuada.

Logo que a pressão é produzida pelo impacto das moléculas contra a superfície, ela também é transmitida pelo impacto molecular. Supondo que as moléculas são perfeitamente elásticas (que nenhum atrito existe entre elas), uma onda de pressão, uma vez iniciada, continuará indefinidamente.

Para a maioria das finalidades, essa teoria é adequada; entretanto ela não é completamente correta.

Por exemplo, o som representa uma série de fracas ondas de pressão, para as quais o ouvido é sensível. Se a energia que o som representa não for perdida, o som continuará indefinidamente.

Desse modo então, a elasticidade imperfeita pode ser, de algum modo, associada com o atrito dos fluidos, ou viscosidade, uma vez que a presença da viscosidade é também uma fonte de perda de energia.

Com base na teoria cinética, a pressão pode ser aumentada de duas maneiras: a primeira, aumentando o número de moléculas em um determinado espaço, o que é o mesmo que aumentar a densidade; a segunda, pelo aumento da velocidade das moléculas, que pode ser feito pelo aumento da temperatura, pois o aumento da temperatura produz um aumento na velocidade molecular.

Uma análise da teoria cinética nos leva a um relacionamento definido entre a temperatura, pressão e densidade de um gás, quando este gás está sujeito a um determinado conjunto de condições.

Este relacionamento é conhecido como equação de estado.

Equação de estado

Com a condição de que a temperatura e a pressão de um gás não são excessivamente diferentes daquelas normalmente experimentadas na superfície da terra, a seguinte equação é verdadeira:

$PV = RT$

Onde: P = pressão em lbs./sq.ft.
V = volume específico
R = uma constante para um determinado gás (para o ar R = 53,345).
T = temperatura absoluta (Rankine = ° F. + 459,4)

Se a temperatura e a pressão são aquelas em que o gás se torna um líquido, ou se a pressão cai para aquele valor em que não exista igualdade de pressão, a equação perderá a validade. Na prática de trabalhos aeronáuticos, esses extremos são encontrados somente em um supersônico túnel de vento ou em camadas externas da atmosfera. Esta fórmula deve ser, além disso, melhorada para a engenharia prática, pela introdução da densidade do ar.

Atmosfera padrão

Se o desempenho de uma aeronave for computado, ou através de testes de vôo ou testes no túnel de vento, alguns padrões de referência devem ser determinados em primeiro lugar, para que possam ser comparados os resultados com aqueles de testes semelhantes.

As condições atmosféricas variam continuamente e, geralmente, não é possível obter-se exatamente as mesmas condições em dois dias diferentes, ou semelhança em dois vôos sucessivos.

Consequentemente, devem ser estabelecidos um grupo de condições padrão, que podem ser usados arbitrariamente como referência.

O conjunto de condições padrão atualmente usado nos Estados Unidos da América é conhecido como "*U.S. Standard Atmosphere*".

A atmosfera padrão aproxima-se das condições médias existentes a 40° de latitude, e é determinado, baseado nos seguintes dados.

As condições padrão ao nível do mar são:

Pressão na altitude zero (Po) = 29,92 polegadas de mercúrio.

Temperatura na altitude zero (To) = 15ºC. = 59° F.

Gravidade na altitude zero (Go) = 32,174 pés/segundo quadrado.

O *U.S. Standard Atmosphere* tem um acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) divisão de *Standard Atmosfere*, sobre os seus comuns limites de altitude. A atmosfera padrão da ICAO foi adotada como padrão pela maioria das principais nações do mundo.

Variações do dia padrão

Como pode ser esperado, a temperatura, pressão, densidade e conteúdo de vapor de água do ar, varia consideravelmente na troposfera. A temperatura a 40° de latitude pode alcançar de 50ºC. em baixas altitudes, durante o verão; a -70ºC. a grandes altitudes, durante o inverno. Conforme estabelecido anteriormente, a temperatura usualmente diminui com o aumento da altitude.As exceções dessa regra ocorrem quando o ar frio fica preso próximo da terra, por uma camada aquecida. Isso é chamado de inversão da temperatura, comumente associada com um movimento frontal das massas de ar.

A pressão também varia em um determinado ponto da atmosfera.

Em um dia padrão, ao nível do mar, a pressão será 29,92 polegadas de mercúrio (in Hg). Nos dias fora das condições padrão, a pressão ao nível do mar variará consideravelmente, acima ou abaixo desse valor.

A densidade do ar é determinada pela pressão e temperatura atuando sobre ela. Uma vez que a atmosfera nunca pode ser considerada "padrão", um método conveniente de calcular a densidade foi idealizado.

Uma vez que a pressão é medida em termos inconvenientes, como recurso deve-se utilizar o altímetro à aneroide como um indicador e referência para o termo "pressão de altitude"no lugar de pressão atmosférica.

Pressão de altitude

Pressão de altitude é a altitude na atmosfera padrão correspondente a um particular valor de pressão do ar.

O altímetro da aeronave é, essencialmente, um barômetro sensitivo, calibrado para indicar a altitude em uma atmosfera padrão.

Com o altímetro da aeronave selecionado para 29,92 in, Hg, o mostrador indicará o número de pés acima ou abaixo do nível, onde existe 29,92 in. Hg - não sendo necessariamente acima ou abaixo do nível do mar - a menos que existam as condições de um dia padrão. Em geral, o altímetro indicará a altitude na qual a pressão existente será considerada pressão padrão. O símbolo Hp é usado para indicar pressão de altitude.

PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Geral

Em uma discussão anterior sobre fluidos, o princípio de Bernoulli foi introduzido para explicar o relacionamento entre a velocidade e a pressão de um líquido fluindo através de um venturi.

Desde que o princípio de Bernoulli se aplica aos fluidos, que pela definição inclui gases e líquidos, sua aplicação aos gases (ar) está incluída neste ponto da explanação sobre o relacionamento entre a velocidade do ar e a pressão na superfície de um aerofólio.

Como uma asa de aeronave reage com a atmosfera

Um aerofólio é qualquer superfície projetada para obter reação do ar, através do qual ele se movimenta. Asas, ailerons, profundores, estabilizadores, pás de hélice e rotores de helicópteros, todos são aerofólios.

A reação para a qual as asas são projetadas é chamada de sustentação. A asa produz sustentação por causa de uma diferença de pressão - e com o aumento desta diferença, maior sustentação será desenvolvida.

Se a pressão de ar sobre a asa for a mesma que a sob a asa, não haverá sustentação. Mas se a pressão sobre a asa é reduzida e a sob a asa for aumentada, então a sustentação será produzida.

A forte pressão de ar sob a asa, a move para cima de encontro à fraca pressão sobre a asa. Portanto, o que causa essas pressões desiguais ?

Um exame do formato de uma asa de aeronave, revela que ela foi projetada para criar uma diferença de pressão. Se uma asa for cortada, do bordo de ataque para o bordo de fuga, a visão final do corte será um perfil com a seção semelhante ao mostrado na figura 7-21. A parte dianteira do perfil do aerofólio é arredondada e é chamada de bordo de ataque. A parte traseira, estreita e afilada, é chamada de bordo de fuga.

Uma linha de referência, freqüentemente usada em discussões sobre aerofólio, é a corda, uma linha reta imaginária unindo as extremidades do bordo de ataque ao de fuga. A superfície curva da parte superior do aerofólio é chamada de "cambra". A superfície inferior é normalmente reta, ou ligeiramente curvada.

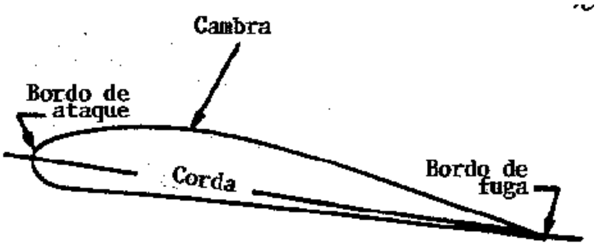


Figura 7-21 Secção de um aerofólio.

Um aerofólio é muito semelhante ao formato da metade de uma seção de venturi. Em "A" da figura 7-22, a garganta ou porção restrita de um venturi está ilustrada.

O fluxo do ar através do venturi é indicado pelas linhas de fluxo. Em "B" da figura 7-22, a metade de uma restrição do venturi é mostrada, junto com o fluxo de ar sobre a sua superfície curva. Observamos que esta porção de um venturi tem o mesmo perfil de um aerofólio.

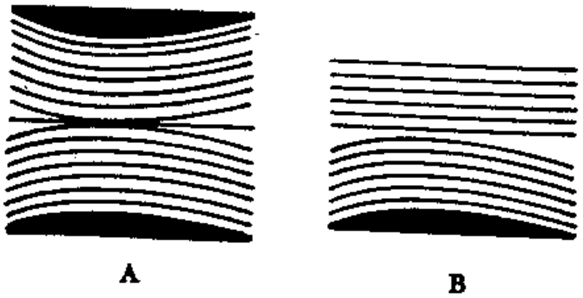


Figura 7-22 Fluxo de ar nas seções de um Venturi.

Para entender como a sustentação é produzida pelas asas de uma aeronave, o princípio de Bernoulli é aplicado para um aerofólio. Esse princípio, revela que a pressão do fluido (líquido ou gás), diminui nos pontos onde a velocidade do fluido aumenta. Em outras palavras, a alta velocidade está associada com a baixa pressão, e a baixa velocidade com a alta pressão. A asa ou aerofólio de uma aeronave, é projetada para aumentar a velocidade do fluxo de ar sobre a sua superfície, diminuindo por isso, a pressão sobre o aerofólio. Simultaneamente, o impacto do ar na superfície inferior do aerofólio, aumenta a pressão por baixo dele. Esta combinação da diminuição da pressão sobre o aerofólio e aumento por baixo dele, produz a sustentação.

MÁQUINAS

Geral

Vulgarmente, uma máquina é imaginada como um dispositivo complexo, tal como um motor de combustão interna ou uma máquina de escrever.

Estas são máquinas, mas o são também, o martelo, a chave de fenda ou uma roda.

Uma máquina é qualquer dispositivo com o qual pode ser realizado um trabalho. Máquinas são usadas para transformar energia, como no caso de um gerador, transformando energia mecânica em energia elétrica.

Máquinas são usadas para transferir energia de um lugar para outro, como, por exemplo, as hastes de ligação, eixos, e engrenagens de redução, transferindo energia do motor da aeronave para a sua hélice.

Um outro uso das máquinas é na multiplicação de força; por exemplo, um sistema de polias pode ser usado para erguer uma carga pesada.

O sistema de polias, permite a elevação de uma carga, exercendo uma força bem menor do que o peso da carga.

Máquinas são também usadas para a multiplicação de velocidades. Um bom exemplo é a bicicleta, pela qual pode se ganhar velocidade, exercendo uma grande quantidade de força.

Finalmente, as máquinas podem ser usadas para mudar a direção de uma força.

Um exemplo deste uso é o hasteamento de uma bandeira. Uma força descendente de um lado da corda exerce uma força ascendente do outro lado, levando a bandeira na direção do topo do mastro.

Existem somente seis máquinas simples. São elas: a alavanca, a polia, a roda e o eixo, o plano inclinado, o parafuso e a engrenagem. Porém, os físicos reconhecem somente dois princípios básicos em máquinas: a alavanca e o plano inclinado.

A roda e o eixo, a talha e o conjunto de polias, e a engrenagem podem ser considerados como alavancas.

A cunha e o parafuso usam o princípio do plano inclinado.

Um entendimento dos princípios das máquinas simples, proporciona um fundamento necessário para o estudo das máquinas compostas, as quais são combinações de duas ou mais máquinas simples.

A alavanca

A máquina mais simples, e talvez a mais familiar, é a alavanca. A gangorra é um familiar exemplo de alavanca, na qual um peso equilibra o outro.

Existem três partes básicas em todas as alavancas são elas: o apoio "F"; a força ou esforço "E"; e a resistência "R".

Na figura 7-23, estão mostrados o ponto de pivotamento "F"(apoio); o esforço "E", o qual está aplicado a uma distância "A" do apoio; e uma resistência "R", que atua a uma distância "a" do apoio. As distâncias "A" e "a" são os braços da alavanca.

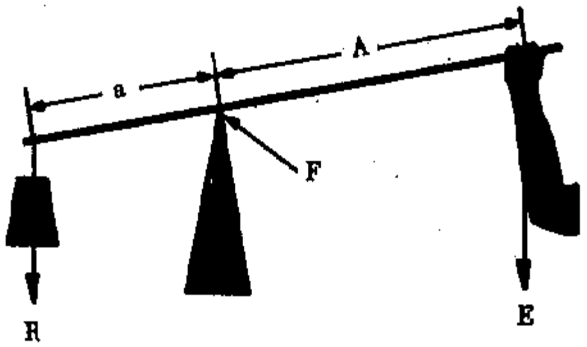


Figura 7-23 Uma alavanca simples.

Classes de alavancas

As três classes de alavancas estão ilustradas na figura 7-24.

A localização do apoio (o ponto fixo ou eixo) com relação a resistência (ou peso) e o esforço, determinam a classe da alavanca.

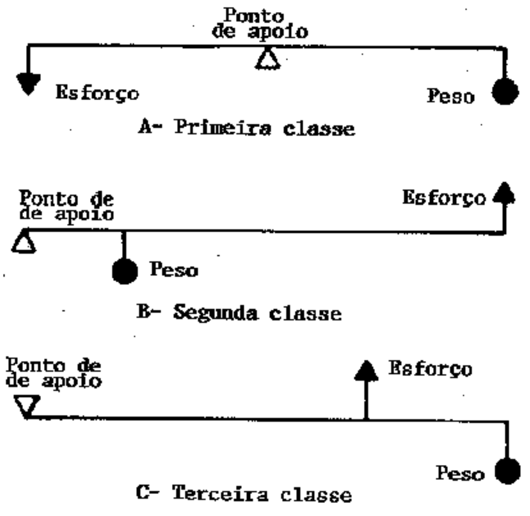

Ponto de apoio
Esforço
Peso
A- Primeira classe
Ponto de de apoio
Esforço
Peso
B- Segunda classe
Ponto de de apoio
Esforço
Peso
C- Terceira classe

Figura 7-24 Três classes de alavancas.

Alavancas de primeira classe

Nas alavancas de primeira classe ("A" da figura 7-24), o apoio está localizado entre o esforço e a resistência. Como mencionado anteriormente, a gangorra é um bom exemplo de alavanca de primeira classe. A quantidade de peso e a distância do apoio podem ser variados para uma adaptação às necessidades. Um outro bom exemplo são os remos de um bote. O pescador na figura 7-25 aplica o seu esforço nos punhos dos remos. O apoio de remo funciona como o apoio da alavanca, e a água atua como a resistência a ser superada.

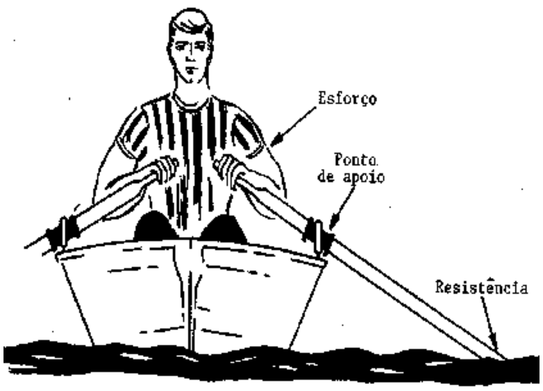

Esforço
Ponto de apoio
Resistência

Figura 7-25 Os remos são alavancas.

Nesse caso, como em "A" da figura 7-24, a força está aplicada em um lado do apoio, e a resistência a ser superada está aplicada no lado oposto; portanto esta é uma alavanca de primeira classe.

Alavancas, tesouras e alicates, são exemplos comuns dessa classe de alavancas.

Alavancas de segunda classe

A alavanca de segunda classe ("B" da figura 7-24) tem o apoio em uma das extremidades; na outra, o esforço.

A resistência, algumas vezes está entre esses pontos. O carrinho de mão, na figura 7-26, é um bom exemplo de uma alavanca de segunda classe.

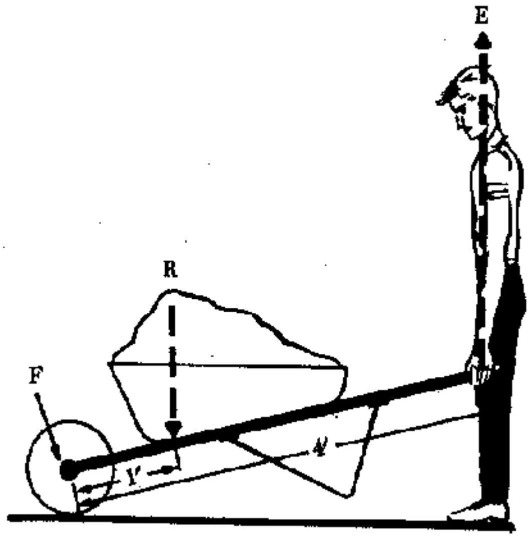


Figura 7-26 Alavanca de segunda classe.

Tanto as alavancas de primeira como as de segunda classe são comumente usadas para auxiliar e vencer grandes resistências, com um esforço relativamente pequeno.

Alavancas de terceira classe

Existem ocasiões em que é desejável acelerar o movimento da resistência, mesmo quando uma grande quantidade de esforço tenha que ser usada.

As alavancas que auxiliam na execução disso são as de terceira classe.

Conforme é mostrado em "C" da figura 7-24, o apoio está em uma das extremidades, e o peso, ou resistência, a ser superado, na outra extremidade; com o esforço sendo aplicado em algum ponto entre os dois.

As alavancas de terceira classe são facilmente reconhecidas, porque o esforço é aplicado entre o apoio e a resistência. Isto está ilustrado pelo diagrama da figura 7-27.

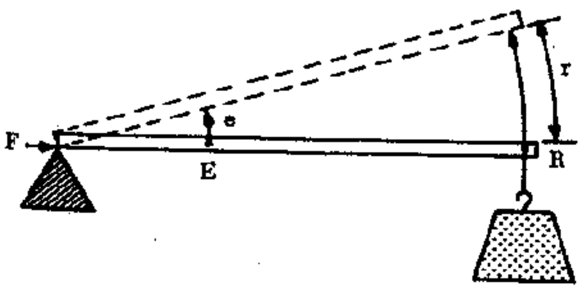


Figura 7-27 Alavanca de terceira classe.

Enquanto o ponto "E" está se movimentando a uma pequena distância "e", a resistência "R" movimenta uma grande distância "r". A velocidade de "R" deve ser maior do que "E", uma vez que "R" cobre uma distância maior, no mesmo espaço de tempo.

O braço humano (Figura 7-28) é uma alavanca de 3ª classe. A ação desta alavanca torna possível a rápida flexão dos braços.

Observamos que o cotovelo é o ponto de apoio. Os biceps, os quais estão no antebraço, abaixo do cotovelo, aplicam o esforço; enquanto a mão é a resistência.

As alavancas de 3ª classe devem ser usadas para dar velocidade, ao invés de mover cargas pesadas.

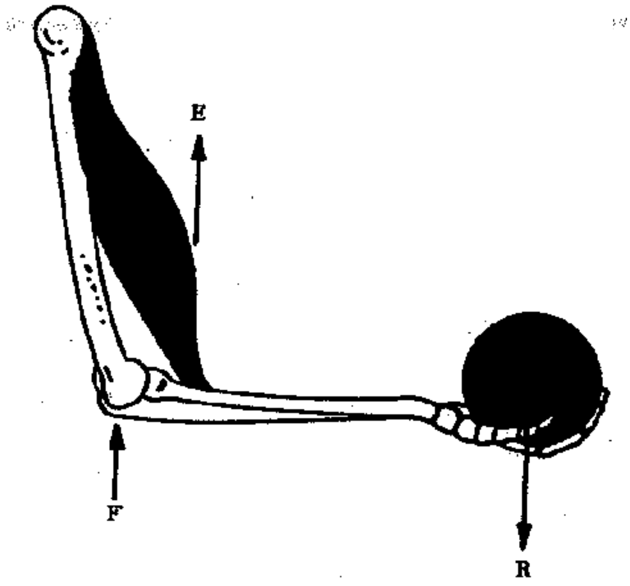


Figura 7-28 O braço é uma alavanca de terceira classe.

As forças requeridas para operarem as máquinas, bem como as forças que elas exercem, podem ser facilmente determinadas. Uma barra de ferro utilizada como alavanca de 1ª classe na figura 7-29. A barra tem 9 (nove) pés de comprimento e está sendo usada para levantar um peso de 300 (trezentas) libras. Um máximo de 100 libras está disponível para levantar o peso.

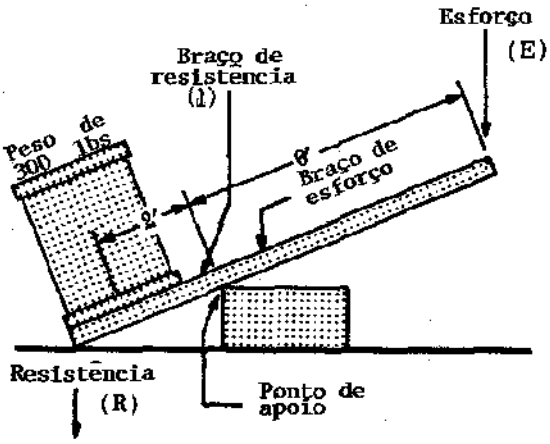


Figura 7-29 Calculando as forças em uma alavanca de primeira classe.

Se um ponto de apoio "F", está colocado a 2 (dois) pés do centro do peso, um comprimento de 6 (seis) pés da barra, fica sendo o braço de força. O comprimento de 6 (seis) pés é 3 vezes mais longo que a distância do ponto de apoio ao centro do peso. Com um esforço de 100 libras de "E" o peso de 300 libras pode ser levantado, uma vez que, o comprimento do braço de esforço foi multiplicado 3 (três) vezes. Este é um exemplo do relacionamento direto entre os comprimentos do braço da alavanca, e a força atuando neste braço.

Esse relacionamento deve ser enunciado em termos gerais:

O comprimento do braço de esforço, é o mesmo número de vezes maior que o comprimento do braço da resistência; uma vez que a resistência que foi vencida é maior que o esforço que deve ser aplicado.

A equação matemática para este relacionamento é:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde:

L = Comprimento do braço da alavanca
l = distância do braço da resistência
R = Resistência do peso ou força
E = Força de esforço

Devemos lembrar que todas as distâncias devem estar na mesma unidade, e todas as forças também têm que ter as mesmas unidades.

Na figura 7-30 outro problema de alavanca de 1º classe é ilustrado: levantar a tampa de uma lata de tinta com uma barra de 6 (seis) polegadas, quando a força média que segura a tampa, possa ser de 50 libras.

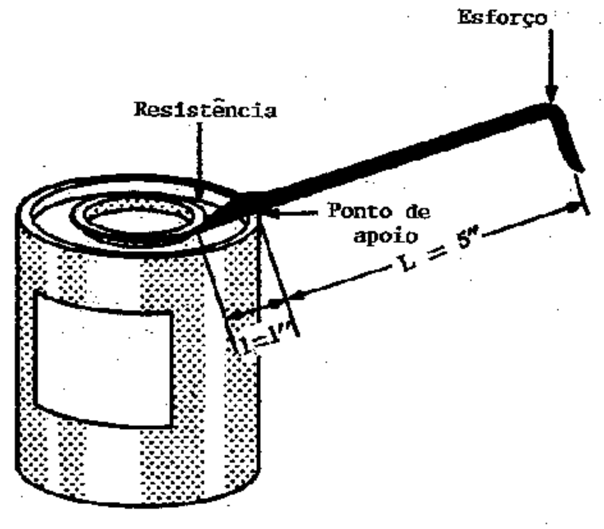


Figura 7-30 Um problema de alavanca de primeira classe.

Se a distância da borda da lata até a borda da tampa é 1 (uma) polegada, que força deve ser aplicada à extremidade da barra ?

De acordo com a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Aqui, L = 5 polegadas; l = 1 polegada;
R = 50 libras e E é desconhecida.

Substituindo os números nos seus devidos lugares; então

$$\frac{5}{1} = \frac{50}{E} \text{ e } E = \frac{50x1}{5} = 10 \text{ libras}$$

A força requerida é de 10 libras.

A mesma fórmula geral aplica-se para alavancas de 2ª classe; mas é importante medir os comprimentos adequados do braço de esforço e do braço de resistência. Referindo-se a figura 7-26, os comprimentos das hastes do carrinho de mão, medidos a partir do eixo da roda (que é o ponto de apoio), até onde estão segurando (até o punho) é de 4 pés. Este braço de esforço é de 4 (quatro) pés de comprimento. O centro da carga de areia está a 1 (um) pé do eixo; assim, o comprimento do braço da resistência é de 1 (um) pé.

Substituindo na fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E} \therefore \frac{4}{1} = \frac{200}{E} \therefore E = 50 \text{ libras}$$

Um problema de alavanca de 3ª classe é ilustrado na figura 7-28. Com uma das mãos, um peso de 10 libras deve ser levantado. Se o bíceps está fixo ao braço, uma polegada abaixo do cotovelo, e a distância do cotovelo até a palma da mão é de 18 polegadas. Que esforço deve o músculo exercer para que segure o peso e flexione o braço até o cotovelo ?

Substituindo a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E} \text{obtemos } \frac{1}{18} = \frac{10}{E} \text{ e } E = 18x10 = 180 \text{libras}$$

O músculo deve exercer um esforço de 180 libras para segurar o peso de 10 libras. Isto ilustra que o músculo, bíceps, não foi projetado para levantamento ou puxão, e, também ilustra, que as alavancas de 3ª classe devem ser usadas primariamente para elevar a velocidade de movimento de uma resistência.

Vantagem mecânica das alavancas

As alavancas podem prover vantagem mecânica, uma vez que elas possam ser aplicáveis, de tal maneira, que aumentem uma força aplicada, isto é verdade para alavancas de 1ª e 2ª classes. As alavancas de 3ª classe formam o que é chamado de desvantagem fracional, isto é, uma força maior que a força para levantar a carga, é requerida.

Em geral um problema envolvendo um carrinho de mão (Figura 7-26), um esforço de 50 libras sobrepõe o peso de 200 libras de areia. Neste caso, o esforço foi aumentado 4 (quatro) vezes.

Então a vantagem mecânica conseguida, usando-se o carrinho de mão, é igual a 4.

Expressando a mesma idéia em termos matemáticos:

$$\text{a vantagem mecânica é igual a} = \frac{\text{Resistencia}}{\text{esforç o}}$$

$$\text{ou MA} = \frac{R}{E}$$

Então, no caso do carrinho de mão:

$$\text{MA} = \frac{200}{50} = 4$$

Esta regra aplica-se a todas as máquinas.

A vantagem mecânica das alavancas pode também ser encontrada dividindo-se o comprimento do braço de esforço "A", pelo comprimento do braço de resistência "a".

Colocado como a fórmula, lemos:

$$\text{Vantagem Mecânica} = \frac{\text{Braco de esforco}}{\text{Braco de resistencia}}$$

$$\text{ou MA} = \frac{A}{a}$$

Como isto se aplica às alavancas de 3ª classe ? Se um músculo em X puxa com uma força de 1.800 libras, para que se levante 100 libras, a vantagem mecânica de 100/1800 ou 1/18 é obtida. Isto é uma desvantagem fracional, desde que menor que 1 (um).

O plano inclinado

O plano inclinado é uma máquina simples que facilita o levantamento ou abaixamento de objetos pesados pela aplicação de uma pequena força, sobre uma distância relativamente longa. Alguns exemplos, bastante familiares dos planos inclinados são as estradas sobre montanhas e as rampas de carregamento de gado.

O plano inclinado permite que uma grande resistência seja sobrepujada pela aplicação de uma pequena força, através de uma distância longa, na qual a carga deva ser levantada.

Na figura 7-31, um barril de 300 libras está sendo rolado para cima de uma rampa para a carroceria de um caminhão, 3 (três) pés acima da calçada. A rampa tem 9 (nove) pés de comprimento.

Sem a rampa, a força de 300 libras aplicada no sentido vertical, através da distância de 3 pés, seria requerida para que se carregasse o barril.

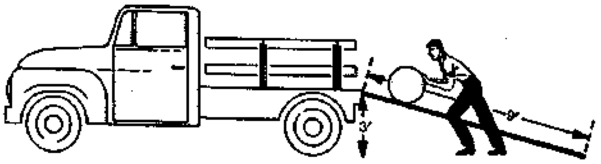


Figura 7-31 Plano inclinado.

Com a rampa, a força pode ser aplicada pelo comprimento inteiro de 9 pés, assim como o barril também é rolado vagarosamente até a altura de 3 pés. Isto pode ser determinado pela observação de que a força, de somente 3/9 de 300, ou 100 libras, será requerida para levantar o barril, utilizando um plano inclinado. Isto pode também ser determinado matematicamente, usando a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde: L = comprimento da rampa medida ao longo da inclinação.

l = altura da rampa

R = peso do objeto a ser erguido ou baixado

E = força requerida para levantar ou baixar o objeto.

Neste caso, L = 9 pés; l = 3 pés; e R = 300 libras.

Substituindo estes valores na fórmula:

$$\frac{9}{3} = \frac{300}{E} \Rightarrow 9E = 900 \quad E = 100 \text{ linhas}$$

Uma vez que a rampa tem 3 vezes mais comprimento do que sua altura, a vantagem mecânica é de 3. A vantagem mecânica teórica é encontrada dividindo-se a distância total através da qual o esforço é exercido pela distância vertical, pela qual a carga é levantada ou abaixada.

A Cunha

A cunha é uma aplicação especial do plano inclinado. As lâminas das facas, machados, machadinhas e formões atuam como cunha, quando são forçados para dentro de um pedaço de madeira. A cunha, na verdade, são dois planos inclinados colocados base a base. Direcionando o comprimento total da cunha no material a ser cortado ou separado, ele é forçado a se dividir numa distância igual ao comprimento do lado maior da cunha (ver figura 7-32).

Cunhas longas e finas têm alta vantagem mecânica. Por exemplo, na figura 7-32 a cunha tem uma vantagem mecânica de 6. A grande vantagem das cunhas encontra-se em situações onde as máquinas simples não podem ser usadas. Por exemplo, basta imaginar-se tentando separar-se uma tora de madeira com um sistema de polias.

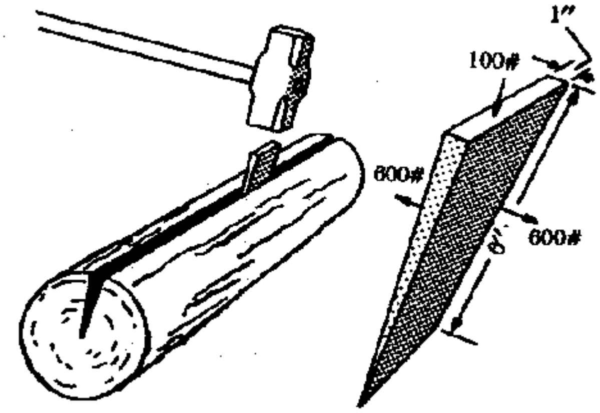


Figura 7-32 Uma cunha.

A polia

As polias são máquinas simples na forma de uma roda, montada sobre um eixo fixo e apoiada por uma cobertura. A roda, ou disco, tem normalmente um sulco para acomodar uma corda.

A roda é algumas vezes conhecida como uma "roldana". A cobertura que suporta a roda é chamada de bloco. O bloco e os eixos formam um par de blocos. Cada bloco contém uma ou mais polias, e a corda conectando as polias de cada bloco.

Polias fixas simples

Uma polia fixa simples é realmente uma alavanca de 1^a classe com braços iguais. Os braços "EF e FR" na figura 7-33 são iguais; por isso, a vantagem mecânica é 1. Logo, a força para puxar a corda, deve ser igual ao peso do objeto que está sendo levantado.

A única vantagem de uma polia fixa simples é mudar a direção do esforço ou do puxão da corda.

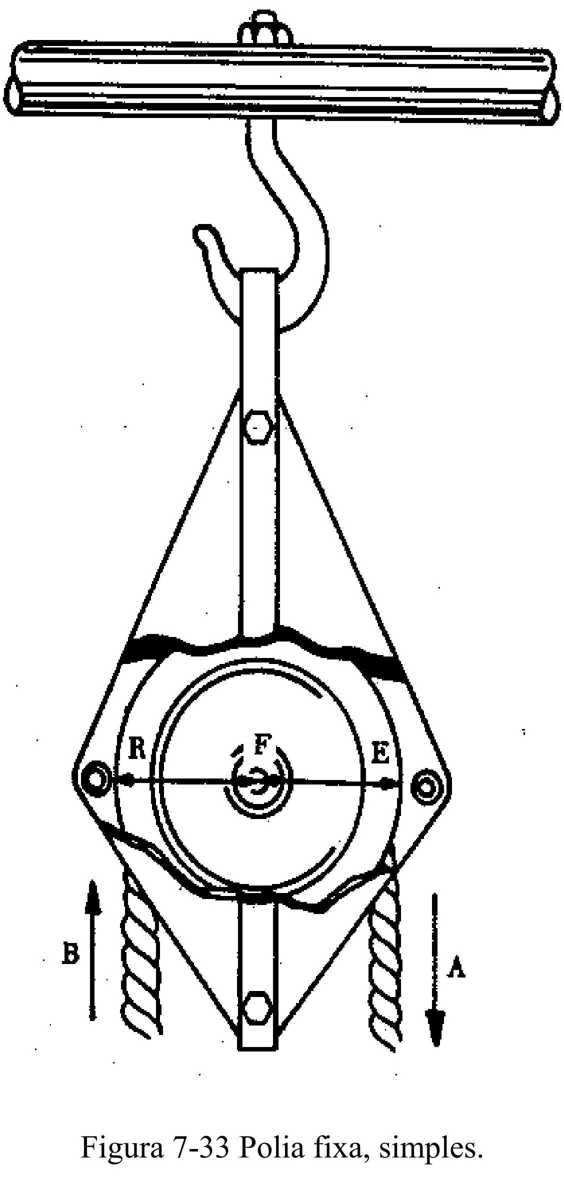


Figura 7-33 Polia fixa, simples.

A polia simples pode ser usada para aumentar a força exercida. Na figura 7-34 a polia não está fixa e a corda é dobrada, porque suporta o peso de 200 libras.

Usando desta maneira, um simples bloco pode levantar 200 libras de peso com um puxão de 100 libras, uma vez que cada metade da corda carrega a metade do total da carga.

A vantagem mecânica é de 2 (dois), que pode ser verificada usando a fórmula:

$$MA = \frac{R}{E} = \frac{200}{100} = 2$$

Uma polia móvel simples, usada na maneira mostrada na figura 7-34 é uma alavanca de 2^a classe.

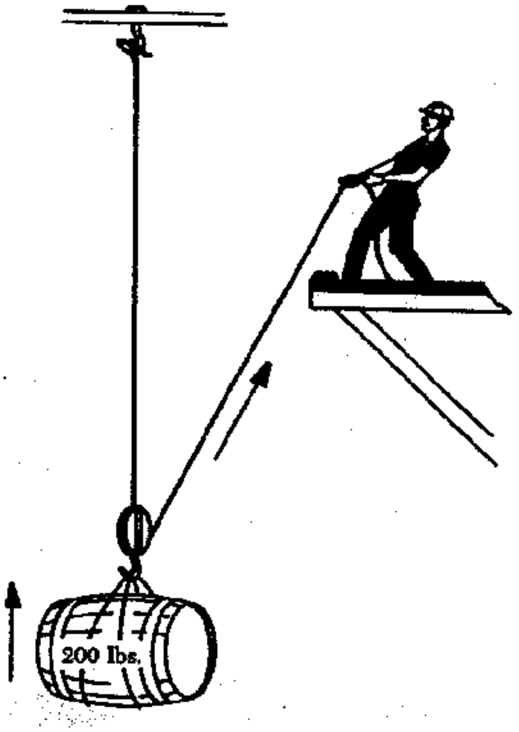


Figura 7-34 Polia móvel, simples.

Como referência temos a figura 7-35. O esforço "E" atua para cima no braço "EF", com o diâmetro da polia. A resistência "R" atua para baixo no braço "FR" que é o raio da polia. Uma vez que o diâmetro é duas vêzes o raio, a vantagem mecânica é de 2 (dois).

Entretanto, quando o esforço em "E" move 2 (dois) pés para cima, a carga em "R" é elevada apenas 1 (um) pé. Isto é verdade para todos os sistemas de bloco e guincho, para que uma vantagem mecânica seja obtida, o comprimento da corda passado através das mãos é maior que a distância em que a carga é elevada. A vantagem mecânica de um sistema de polia é encontrada através medição da resistência e do esforço, e dividindo a quantidade de resistência por este esforço. O método mais fácil, na maioria das vêzes utilizado, é simplesmente cortar o número de voltas da corda que move ou suporta o bloco móvel.

TRABALHO, POTÊNCIA E ENERGIA

.Trabalho

O estudo das máquinas tanto as simples como as complexas, é o estudo da energia do trabalho mecânico.

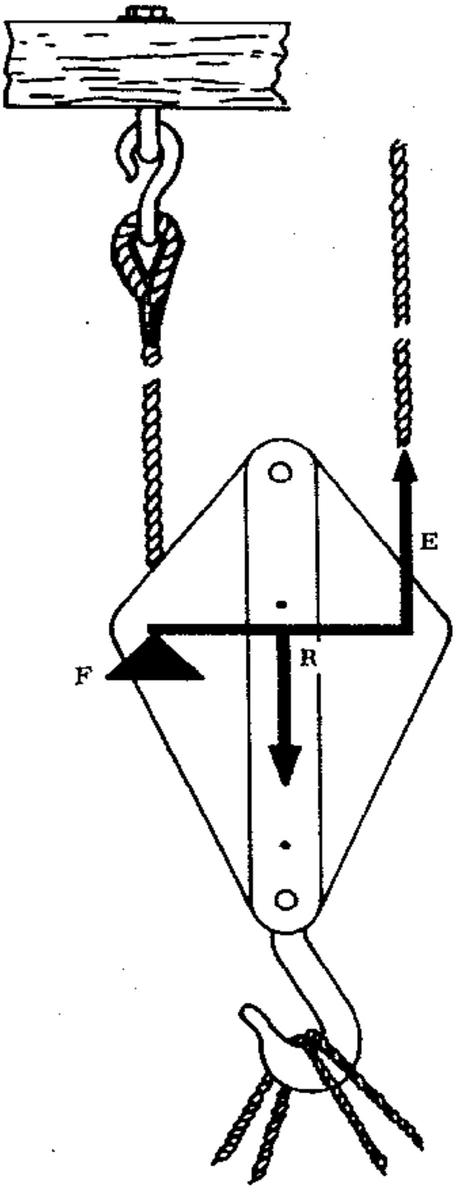


Figura 7-35 Uma polia móvel, simples como alavanca de segunda classe.

Todas as máquinas transferem a energia recebida ou o trabalho feito na máquina, para a energia de saída ou o trabalho feito pela máquina.

O significado de trabalho, dentro da mecânica, é feito quando uma resistência é sobrepujada por uma força atuando através de uma distância mensurável. Dois fatores são envolvidos: (1) força e (2) movimento através de uma distância. Como exemplo, suponha que uma aeronave pequena esteja atolada na neve. Dois homens empurram-na por um período de tempo, mas a aeronave não se move. De acordo com a definição técnica, nenhum trabalho foi feito quando se empurrou a aeronave. Por definição, o trabalho só é feito quando um objeto é movido a alguma distância contra uma força resistiva.

Na forma de equação, este relacionamento é:

Trabalho = Força (F) x distância (d).

Os físicos definem trabalho desta forma: "Trabalho é força vêzes distância. O trabalho feito por uma força atuando em um corpo é igual a grandeza da força multiplicada pela distância, através do qual a força atua".

No sistema métrico, a unidade de trabalho é o Joule, onde 1 (um) Joule é a quantidade de trabalho feito por uma força de 1 (um) Newton, quando ele age através de uma distância de 1 (um) metro.

Ou seja: 1 Joule = 1 Newton .m .

Ainda podemos escrever a definição na forma:

W (Joules) = F (Newtons) x d (metros)

Se empurrarmos uma caixa por 8 (oito) metros, através do chão com uma força de 100 Newtons, o trabalho que faremos será: W = Fd = 100 Newtons x 8m = 800 Joules.

Muito trabalho é feito na subida de um elevador de 500 Kg, desde o térreo de um prédio até o seu 10º andar, 30 metros mais alto. Nós notamos que a força necessária, é igual ao peso do elevador que é "MG" (massa vezes gravidade).

No sistema métrico, massa ao invés de peso é normalmente especificado. Para descobrir o peso em Newton (unidade métrica de força), de alguma coisa cuja massa em Kg é conhecido, nós simplesmente utilizamos F = MG e colocamos $G = 9{,}8 m/seg^2$.

F (Newtons) = M (Kilogramas)xG ($9.8 m/seg^2$)

W (Joules) = M (Kilogramas)xG ($9{,}8 m/seg^2$) x d (Metros)

W = Fd = Mgd = 500 Kg x $9{,}8 seg^2$ x 30 m

147.000 Joules = 1,47 x 10^5 Joules

Força Paralela ao deslocamento

Se uma força for expressa em libras e as distâncias em pés, o trabalho será expresso em pés vezes libras.

Exemplo: quanto trabalho é feito, levantando um peso de 40 libras na altura vertical de 25 pés?

W = Fd = 40 x 25 = 1000 libras/pés

Exemplo: Quanto trabalho é feito empurrando uma pequena aeronave para dentro de um hangar, a uma distância de 115 pés, se uma força de 75 milhas é requerida para mantê-la em movimento ?

W = Fd = 75 x 115 = 8.625 libras/pés

Força não paralela ao deslocamento

Nesta equação consideramos "F" na mesma direção de "d".

Se isto não for verdade, por exemplo no caso de um corpo puxando um vagão com uma corda que não é paralela ao chão, devemos utilizar "F" para a componente da força aplicada que atua na direção do movimento, conforme a figura 7-36(B).

A componente de uma força na direção de um deslocamento "d" é: F cos θ. Sendo o θ o ângulo entre "F" e "d". Ainda que a equação mais comum para o trabalho seja:

$W = Fd \cos \theta$

Quando "F" e "d" são paralelos, θ = zero e $\cos \theta = 1$, de tal maneira que $Fd \cos \theta$ reduz-se a somente Fd. Quando F e d são perpendiculares, $\theta = 90^\circ$ e $\cos \theta = 0$, e nenhum trabalho é feito. Uma força que é perpendicular ao movimento de um objeto não pode realizar nenhum trabalho nele. Dessa forma a gravidade, que resulta em uma força para baixo em qualquer coisa perto da terra, não realiza o trabalho em objetos, em movimento horizontal através da superfície da terra. Entretanto, se jogarmos um objeto de forma que ele caia no chão, o trabalho definitivamente é feito nele.

Quando uma força e a distância, através da qual é aplicada, estão paralelas o trabalho feito é igual ao produto de F x d.

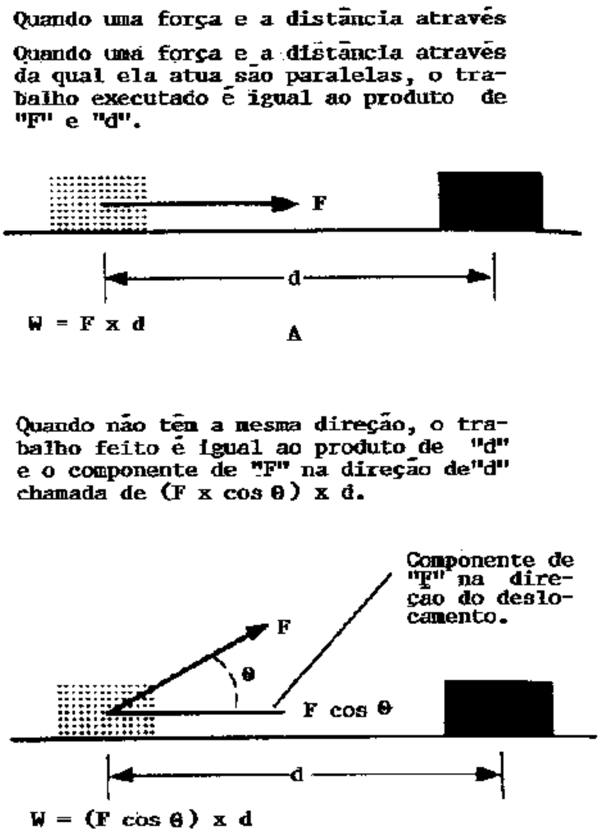

Quando uma força e a distância através
Quando uma força e a distância através da qual ela atua são paralelas, o trabalho executado é igual ao produto de "F" e "d".
F
d
W = F x d
A
Quando não têm a mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e o componente de "F" na direção de "d" chamada de (F x cos θ) x d.
Componente de "F" na direção do deslocamento.
F
θ
F cos θ
d
W = (F cos θ) x d

Figura 7-36 Direção do trabalho.

Quando elas não estão na mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e da componente de "F" na direção de "d". (F cos θ) x d.

Atrito

Calculando o trabalho feito, é medida à resistência real a ser sobrepujada. Isto não é necessariamente o peso do objeto a ser movido. Este ponto pode ser ilustrado pela figura 7-37.

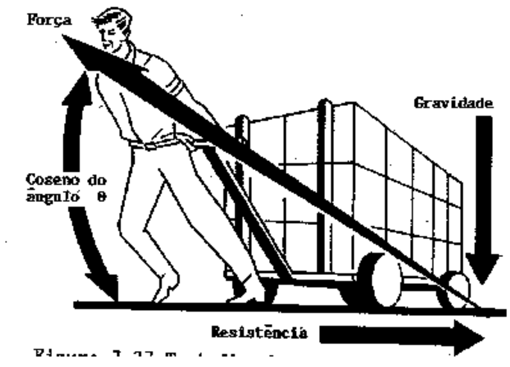

Força
Gravidade
Coseno do ângulo θ
Resistência

Figura 7-37 Trabalhando contra o atrito.

Uma carga de 900 libras está sendo puxada numa distância de 200 pés. O que não significa que o trabalho feito (força x distância) seja 180.000 libras/pés (900 libras x 200 pés). Isto porque o homem que está puxando a carga não está trabalhando contra o peso total da carga, e sim, contra o atrito do rolamento do carro, o qual não é mais do que 90 libras.

O atrito é um dos mais importantes aspectos da vida. Sem o atrito seria impossível andar. Uma pessoa teria que deslisar de um lugar para o outro e teria que bater contra algum obstáculo para parar no seu destino. Ainda assim o atrito é uma responsabilidade como um crédito, e requer considerações quando se analisa os mecanismos que têm movimento. Nos experimentos relacionados ao atrito, as medidas das forças aplicadas revelam que existem 3 tipos de atrito. Uma força é requerida para iniciar o movimento de um corpo, enquanto outra é requerida para manter o corpo em uma velocidade constante. Ainda, após o corpo estar em movimento, uma força definitivamente maior é requerida para manter o corpo deslisando, do que mantê-lo rolando.

Assim, existem 3 (três) tipos de atrito que podem ser classificados como:

(1) Atrito de partida (estático)
(2) Atrito de deslisamento e
(3) Atrito de rolamento.

Atrito estático

Quando é feita uma tentativa para deslisar um objeto pesado ao longo de uma superfície, o objeto deve ser, em primeiro lugar, forçado a romper a inércia. Uma vez em movimento, ele deslisará mais facilmente.

A força que rompe a inércia é proporcional ao peso do corpo. A força necessária para deslocar o corpo, movendo-o lentamente, é designada "F", e a força normal que pressiona o corpo contra a superfície (usualmente o seu peso) é "F'." São consideradas importantes a natureza da superfície em atrito com outra.

A natureza da superfície é indicada pelo coeficiente de atrito inicial designado pela letra "K". Esse coeficiente pode ser estabelecido por vários materiais e, é muitas vezes, divulgado em forma tabular. Deste modo, quando a carga é conhecida (peso do objeto), o início do atrito pode ser calculado pelo uso da equação, F = KF'.

Por exemplo, se o coeficiente de atrito de um bloco liso de ferro em uma superfície horizontal lisa é 0.3, a força requerida para movimentar um bloco de 10 libras, será de 3 libras; um bloco de 40 libras, será de 12 libras.

O atrito inicial, para os objetos equipados com rodas e rolamentos, é muito menor do que para os objetos deslizantes. No entanto, uma locomotiva teria dificuldade de pôr em movimento, um longo trem, com vários carros, todos ao mesmo tempo. Portanto, os acoplamentos entre os carros são propositadamente feitos para que tenham algumas polegadas de folga. Quando o maquinista está pronto para dar partida no trem, ele recua com o carro motor, até que todos os vagões sejam empurrados juntos. Então, com um impulso rápido para frente, o primeiro vagão entra em movimento. Esta técnica é empregada para superar o atrito estático de cada roda (tão bem como a inércia de cada vagão). Seria impossível para a máquina, deslocar todos os carros no mesmo momento, devido ao atrito estático, o qual é a resistência do que está sendo movimentado, sendo bem maior do que a força exercida pela máquina. Uma vez que os carros estejam em movimento, o atrito estático será grandemente reduzido, e uma força bem menor será necessária para manter o trem em movimento do que a requerida para a partida.

Atrito deslisante

Atrito deslisante é a resistência ao movimento oferecida por um objeto que deslisa sobre uma superfície. Ele relaciona-se com o atrito produzido após o objeto ter sido posto em movimento, e é sempre menor do que o atrito inicial.

A quantidade de resistência ao deslisamento depende da natureza da superfície do objeto, da superfície sobre a qual ele deslisa, e a força normal entre o objeto e a superfície. Esta força resistiva pode ser calculada pela fórmula: "$F = \mu N$" onde: "F" é a força resistiva, devido ao atrito e expressa em libras; "N" é a força perpendicular (normal) exercida pelo objeto sobre a superfície na qual desliza; e "μ" (mu) é o coeficiente de atrito deslisante (em uma superfície horizontal, "N" é igual ao peso do objeto, em libras).

A área do objeto deslisante, exposta à superfície onde deslisará, não tem efeito nos resultados.

Um bloco de madeira, por exemplo, não deslisará tão facilmente no lado largo, quanto deslisará no lado estreito (supondo que todos os lados estejam igualmente muito lisos). Portanto, a área não entra na equação acima.

Atrito de rolamento

A resistência ao movimento, é grandemente reduzida, se um objeto for montado sobre rodas ou roletes. A força do atrito para um objeto montado sobre rodas, é chamada de atrito de rolamento.

Essa força pode ser calculada pela mesma equação usada no cálculo do atrito deslisante, mas os valores de "μ" para pneus no concreto ou asfalto, é cerca de .02.

O valor de "μ"para rolamento de esferas é muito menor, variando de .001 a .003, sendo muitas vezes desprezado.

Exemplo:

Uma aeronave, com um peso total de 79.600 libras, é rebocada sobre uma pista de concreto. Qual a força que deve ser exercida pelo veículo rebocador, para manter a aeronave rolando, após iniciar o movimento?

$F = \mu N$

$F = .02 \times 79.600 = 1.592$ lb

Potência

Potência é um termo muitas vezes usando impropriamente. Quando falando sobre a potência de acionamento de um equipamento, as pessoas freqüentemente confundem o termo "potência", com a capacidade de mover cargas pesadas.

Este não é o significado de potência. Um motor de máquina de costura, tem potência suficiente para girar a hélice de um motor de aeronave, desde que esteja conectado ao eixo de manivelas, através de um mecanismo adequado. Ele porém, não poderá girar a hélice a 2.000 r.p.m., por não ter potência suficiente para movimentar uma grande carga em alta velocidade.

Potência, então, é um meio de produzir trabalho. Ele é medido em termos de trabalho, executado por unidade de tempo. É escrito na seguinte forma de equação:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Força x distancia}}{\text{tempo}}$$

$$\text{ou, } P = \frac{Fd}{t}$$

Se a força for expressa em libras, a distância em pés e o tempo em segundos, a potência, então, será dada em libra-pé por segundo (ft-lbs/sec).

O tempo pode também ser dado em minutos. Se o tempo for considerado em minutos nesta equação, a potência então será expressa em ft-lbs/min.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{libras x pes}}{\text{segundos}} = ft - lbs / seg$$

$$\text{ou, Potencia} = \frac{\text{libras x pes}}{\text{minutos}} = ft - lbs / min$$

Exemplo:

Um motor de aeronave, pesando 3.500 libras, foi erguido em uma altura vertical de 7 pés, para ser instalado em uma aeronave. A talha foi acionada manualmente e exigiu 3 minutos de manivela para erguer o motor. Qual a potência que foi desenvolvida pelo operador da manivela da talha? Não considerar o atrito da talha.

$$\text{Potencia} = \frac{Fd}{t}$$

$$= \frac{\text{3500 libras x 7 feet}}{\text{3 minutos}} = 8167 ft - lbs / min$$

A potência é muitas vezes expressa em unidades de cavalo vapor. Um cavalo vapor é igual a 550 ft-lbs/seg, ou 33.000ft-lbs/min.

Exemplo:

Na talha exemplificada anteriormente, calcular os cavalos vapor desenvolvidos pelo operador da manivela.

$$\text{Cavalo vapor} = \frac{\text{Potencia em ft - lbs / min}}{33000}$$

$$hp = \frac{\frac{Fd}{t}}{33000} =$$

$$\frac{8167}{33000} = 0{,}247, \text{ ou cerca de } 1/4 \text{ hp}$$

Potência é a razão do trabalho executado:

$$P = \frac{W}{t}$$

No sistema métrico, a unidade de potência é o "Watt", onde:

1 Watt = 1 Joule/segundo

O Watt é a unidade medidora de potência, então, um motor com uma potência de saída de 5.000 Watts é capaz de fornecer 5.000 joules de trabalho por segundo.

Um Kilowatt (Kw) é igual a 1,000 watts. Portanto, o motor tem uma potência de saída de 5 Kw.

Quanto tempo é necessário para o elevador, do exemplo previsto anteriormente, para ascender 30 metros; se ele é elevado por um motor de 5 Kw. Reescrevendo P = w/t na disposição $T = \frac{W}{P}$

E, então, substituindo $W = 1{,}47 \times 10^5$ joules, e $P = 5 \times 10^3$ concluímos que

$$t = \frac{W}{P} = \frac{1{,}47 \ x\ 10^5 \ joules}{5 \ x\ 10^3 \ Watts} = 29{,}4 \ segundos$$

Energia

Em muitos casos, quando um trabalho é executado em um objeto, muitas vezes são dadas condições de retenção e habilidade para posteriormente executar o trabalho. Quando um peso é levantado a certa altura, como o levantamento de um martelo, ou quando do retorno da mola de um relógio, ainda que haja trabalho, o objeto adquire condições de produzir trabalho por ele próprio.

Em estocagem de bateria ou gasolina, a energia fica estocada, podendo ser usada mais tarde, para produzir trabalho. Energia estocada em carvão ou alimento, pode ser usada para produzir trabalho. Estes estoques de energia, dão ao objeto habilidade para produzir trabalho.

Em geral, a troca de energia é igual ao trabalho fornecido; a perda de energia de um corpo pode ser medida pelo trabalho fornecido, ou o ganho de energia de um corpo, deve ser medido

pela quantidade do trabalho fornecido. Por conveniência; a energia a qual possuem os corpos, é classificada em duas categorias: (1) potencial e (2) cinética.

A energia potencial; pode ser classificada em três grupos: (1) aquele devido a posição, (2) aquele devido a distorções de um corpo elástico e (3) aquele que produz trabalho por ação química. Água em um reservatório elevado é do primeiro grupo; o estiramento de uma tira de borracha, ou a compressão de uma mola, são exemplos do segundo grupo; e a energia em carvão, alimentos e baterias estocados, são exemplos do terceiro grupo.

Corpos em movimento requerem trabalho, para ficarem em movimento. Assim, eles possuem energia de movimento.

Energia devido ao movimento, é conhecida como energia cinética.

Um veículo em movimento, um volante em rotação e um martelo em movimento, são exemplos de energia cinética.

Energia é expressa nas mesmas unidades, tais como aquelas usadas para expressar trabalho. A quantidade de energia potencial que possui um peso levantado, deve ser calculada pela equação:

Energia Potencial = peso x altura

Se o peso é dado em libras e a altura em pés, a unidade final de energia será ft.-lbs (pés-libras).

Exemplo: Uma aeronave com um peso total de 110.000 libras está voando em uma altitude de 15.000 pés sobre a superfície da terra. Qual a energia potencial que o avião possui com relação à terra ?

Energia Potencial = peso x altura
PE = 110.000 x 15.000= 1.650.000.000 ft.-lbs.

Formas de energia

As mais comuns formas de energia são: calorífica, mecânica, elétrica e química. As várias formas de energia podem ser trocadas ou transformadas em outras formas de energia, por muitas maneiras diferentes. Por exemplo, no caso de energia mecânica, a energia que produz trabalho durante atrito, é convertida em energia calorífica, e a energia mecânica a qual movimenta um gerador elétrico, desenvolve energia elétrica na saída do gerador.

MOVIMENTO DOS CORPOS

Geral

O estudo do relacionamento entre o movimento dos corpos ou objetos, e a força que os aciona, é freqüentemente chamada de estudo da "força e movimento". Em um maior sentido específico, o relacionamento entre velocidade, aceleração e distância, é conhecido como cinemática.

Movimento Uniforme

Movimento deve ser definido como uma troca contínua de posição ou lugar, ou o processo em que um corpo suporta o deslocamento. Quando um objeto está em diferentes pontos no espaço em momentos diferentes, aquele objeto é dito estar em movimento, e se a distância em que o objeto se move, permanecer igual, por um dado período de tempo, o movimento deve ser descrito como uniforme. Então, um objeto em movimento uniforme, tem uma velocidade constante.

Velocidade e Aceleração

No emprego diário, a aceleração e velocidade, são freqüentemente a mesma coisa. Em física elas têm definições e significados distintos.

Velocidade é atribuída à rapidez com que o objeto se move ou com a distância por ele percorrida em um tempo específico. A velocidade de um objeto não menciona sobre a direção em que o mesmo se move. Por exemplo, se a informação é fornecida, que uma aeronave deixa a cidade de Nova York e viaja 8 horas a uma velocidade de 150 m.p.h. esta informação não diz nada sobre a direção em que a aeronave está se movimentando. No fim de 8 horas ela pode estar na cidade de Kansas, ou navegando numa rota circular, voltando à cidade de Nova York.

Velocidade é uma quantidade em física, que indica a velocidade de um objeto e a direção em que o mesmo se movimenta. Velocidade também pode ser definida como a razão do movimento, em uma determinada direção.

A velocidade média de um objeto, pode ser calculada, usando a seguinte fórmula:

$$V_a = \frac{S}{t}$$

onde:

V_a = velocidade média
S = distância percorrida
t = tempo gasto

Aceleração

A aceleração é definida pela física como a razão da variação da velocidade. Se a velocidade de um objeto é aumentada de 20 m.p.h. para 30 m.p.h., o objeto foi acelerado. Se o acréscimo na velocidade é de 10 m.p.h. em 5 segundos, a razão de variação na velocidade é de 10 m.p.h., em 5 segundos ou

$\frac{2\text{m.p.h.}}{\text{seg}}$ Expresso pela equação:

$$A = \frac{Vf - Vi}{t}$$

ONDE:

A = aceleração
V_f = velocidade final (30 m.p.h.)
V_i = velocidade inicial (20 m.p.h.)
t = tempo gasto

O exemplo usado pode ser expresso da seguinte forma:

$$A = \frac{30\text{m.p.h.} - 20\text{m.p.h.}}{5\text{seg}}$$

$$A = \frac{2\text{m.p.h.}}{\text{seg}}$$

Se o objeto foi acelerado para 22 m.p.h. no primeiro segundo, 24 m.p.h. no próximo segundo e 26 m.p.h. no terceiro segundo, a variação de velocidade em cada segundo é de 2 m.p.h. A aceleração é dita como constante e o movimento é descrito como movimento uniformemente acelerado.

Se um corpo tem uma velocidade de 3 m.p.h. no final do primeiro segundo, 5 m.p.h. no final do próximo segundo e 8 m.p.h. no final do terceiro segundo, este movimento é descrito como uma aceleração, porém é um movimento variável acelerado.

Lei de Newton para o movimento

Quando um mágico retira rapidamente a toalha de uma mesa, deixando o local cheio de louça sem abalar as peças, ele não está fazendo nada místico; ele está demonstrando o princípio da inércia.

A inércia é responsável pelo sentimento de desconforto, quando uma aeronave pára repentinamente na área de estacionamento e os passageiros são atirados para frente de seus assentos. Inércia é uma propriedade da matéria.

Esta propriedade da matéria é descrita pela primeira lei de Newton para o movimento, que diz:

Objetos em repouso tendem a permanecer em repouso. Objetos em movimento, tendem a permanecer em movimento, com igual velocidade e igual direção.

Corpos em movimento, tem a propriedade chamada momento. Um corpo que tem grande momento, tem a grande tendência de permanecer em movimento e, por isso, difícil de parar. Por exemplo, um trem movimentando-se, até mesmo em baixa velocidade é difícil de parar, devido a sua grande massa.

A segunda lei de Newton aplica-se a esta propriedade e diz:

Quando uma força atua sobre um corpo, o momento daquele corpo é alterado. A razão da alteração do momento é proporcional à força aplicada.

O movimento de um corpo é definido como o produto de sua massa e de sua velocidade. Então:

Momento = massa x velocidade ou,
M = mV

Agora, se uma força é aplicada, o movimento é alterado a uma razão igual a força ou,

F = razão de alteração do momento

$$= \frac{Mf - Mi}{t}$$

Substituindo mV por M:

$$F = \frac{mf\ Vf\ -\ mi\ Vi}{t}$$

Desde que a massa não esteja constantemente em transformação; mf = mi = m. Então:

$$F = \frac{mVf\ -\ mi}{t} = \frac{m(Vf - Vi)}{t}$$

O segundo termo da seção anterior, é reconhecido como aceleração.

$F = m\ a$

Na terra, a gravidade exerce uma força em cada corpo, causando uma aceleração de 32ft./seg^2, que é usualmente designado como "g". A força é comumente chamada peso; "W". Usando a fórmula abaixo:

$W = m\ g$

ou; $m = \frac{w}{g}$

Então na terra, a segunda lei torna-se:

$$F = ma = \frac{W}{g}(a)$$

Os seguintes exemplos ilustram o uso desta fórmula.

Exemplo:

Um trem pesando 32.000 lbs e viajando a 10ft./seg.

Qual força é requerida para conduzi-lo ao repouso em 10 segundos ?

$$F = \frac{W}{g}(a) \therefore \frac{W}{g}\frac{(Vf - Vi)}{t} \therefore \frac{32000}{32}\frac{(0 - 10)}{10} \Rightarrow$$

$$\frac{32000x(-10)}{32x10} = -1000lbs$$

O sinal negativo significa que aquela força deve ser aplicada contra o movimento do trem.

Exemplo:

Uma aeronave pesa 6.400 libras. Qual a força necessária para dar uma aceleração de 6 ft/seg^2 ?

$$F = \frac{W(a)}{g} = \frac{6.400x6}{32} = 1.200\ lb$$

A terceira lei de Newton para o movimento é freqüentemente chamada de lei da ação e reação. Ela estabelece que, para toda ação há uma reação igual e oposta. Isto quer dizer que, se uma força for aplicada em um objeto, este objeto suprirá uma força resistiva aplicada. É fácil entender como esta força se aplica nos objetos em repouso. Por exemplo, um homem parado sobre um piso qualquer, este piso exerce uma força contra os seus pés, exatamente igual ao seu peso. Mas, esta lei é também aplicável a um objeto em movimento.

Quando uma força aplicada em um objeto, for mais do que suficiente para produzir e sustentar um movimento uniforme, a inércia do objeto causará uma força resistiva semelhante, contrariando o movimento do objeto, e igual à força que produziu o movimento. Esta resistência à mudança de velocidade, devido à inércia é normalmente chamada de força interna.

Quando várias forças atuam sobre um objeto para produzir movimento acelerado, a soma das forças externas está em um estado de desequilíbrio; porém as forças externas e internas, somadas, estão sempre em um estado de equilíbrio, estando o movimento produzido ou sustentado.

As forças sempre ocorrem aos pares. O termo “força atuando” significa a força que o segundo corpo exerce sobre o primeiro.

Quando a hélice de uma aeronave, empurra para trás um fluxo de ar com a força de 500 libras, o ar empurra as pás da hélice para frente com a força de 500 libras. Essa força para frente, ocasiona o movimento da aeronave neste sentido. Da mesma maneira, o fluxo de ar internamente, e a descarga dos gases de escapamento de um motor à turbina, compõem as forças de ação que causam o movimento da aeronave para frente.

As três leis para o movimento que foram discutidas aqui, estão intimamente relacionadas. Em muitos casos, todas as três leis podem estar atuando em um corpo ao mesmo tempo.

Movimento circular

Movimento circular, é o movimento de um objeto ao longo de um curso curvo, o qual tem um raio constante.

Por exemplo, se o final de um barbante é preso a um objeto e o outro final é mantido na mão, o objeto pode ser girado em círculos. O objeto é constantemente desviado de um curso reto (linear) pelo impulso exercido no barbante, como mostra a figura 7-38.

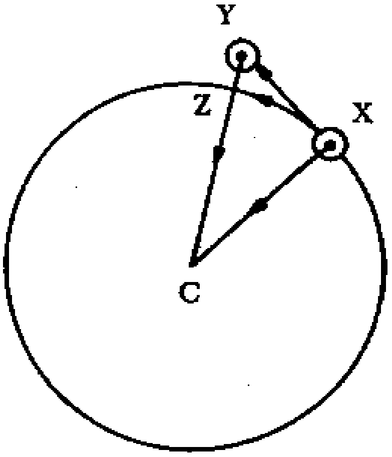


Figura 7-38 Movimento circular.

Quando um objeto como o da figura 7-38 é conduzido ao longo da circunferência de "x" para "y", o impulso ou força do barbante leva-o de "y" para "z". Este impulso no barbante, é chamado de força centrípeta, que desvia um objeto de um curso reto, forçando-o para um curso curvado. Assim, o barbante exerce uma força centrípeta no objeto e o objeto exerce uma igual força, porém oposta no barbante, obedecendo a terceira lei de Newton para o movimento.

Aquela força igual à força centrípeta, mas acionada em direção oposta, é chamada de força centrífuga.

No exemplo da figura 7-38, ela é a força exercida pelo objeto no barbante. Sem uma força centrípeta, não existe uma força centrífuga.

A força centrípeta, é sempre diretamente proporcional a massa do objeto em um movimento circular. Assim, se a massa do objeto na figura 7-38 é dobrada, o impulso no barbante deve ser dobrado, mantendo o objeto em seu curso circular, desde que a velocidade do objeto, permaneça constante.

A força centrípeta, é inversamente proporcional ao raio do círculo, no qual o objeto se movimenta.

Se o barbante na figura 7-38 for encurtado e a velocidade for mantida constante, o impulso no barbante deverá aumentar, desde que o raio seja diminuindo e o barbante puxe o objeto no seu curso linear, mais rapidamente.

Usando o mesmo raciocínio, o impulso no barbante deve ser aumentado, se o objeto for balançado mais rapidamente na sua órbita.

A força centrípeta é assim, diretamente proporcional ao quadrado da velocidade do objeto.

A fórmula para a força centrípeta é:

$$C.P. = \frac{MV^2}{R}$$

Onde:
M = a massa do objeto
V = velocidade
R = raio do curso do objeto

Movimento de Rotação

O movimento de um corpo; em torno de um eixo é chamado de movimento de rotação. Este é o movimento familiar, que ocorre quando o eixo de manivelas de um motor estiver girando.

A diferença entre rotação e movimento circular é que no caso do movimento de rotação, o corpo ou objeto rodopia, enquanto em movimento circular; o objeto se desloca ao longo de um curso curvado.

Quando um objeto rodopia em velocidade constante em torno de um eixo fixo, ele tem movimento de rotação uniforme.

Quando a sua direção ou razão de rotação muda, ele tem movimento de rotação variável.

Momento

Momento é definido como o produto da massa de um objeto e sua velocidade. A força requerida para acelerar um objeto, é proporcional à massa do objeto e a aceleração dada. A aceleração tem como definição, a mudança da velocidade de um objeto. Isto é expresso como na fórmula:

$$A = \frac{Vf - Vi}{t}$$

Onde:
A = Aceleração
Vf = Velocidade Final
Vi = Velocidade Inicial
t = Tempo decorrido

A segunda lei de Newton para o movimento, F = MA, implica aceleração.

Se a expressão original para aceleração for substituída na segunda lei de Newton, segue-se:

$$F = \frac{MVf - MVi}{t}$$

Esta fórmula pode ser resolvida mais adiante, para ilustrar o momento pela multiplicação, em ambos os lados para “t”.

$$Ft = MVf - MVi$$

Esta fórmula ilustra que o momento de um objeto é o produto de sua massa e sua velocidade.

CALOR

O calor é uma forma de energia. Ele é produzido somente pela conversão de uma das outras formas de energia.

O calor pode, também, ser definido como energia cinética total das moléculas de qualquer substância.

Algumas formas de energia, as quais podem ser convertidas em energia calorífica são as seguintes:

(1) **Energia mecânica** - esta incluí todos os métodos de produção do aumento de movimento das moléculas, como a fricção, o impacto de corpos ou á compressão de gases.

(2) **Energia elétrica** - é convertida em energia calorífica quando uma corrente elétrica flui através de qualquer forma de resistência. Isto pode ser um ferro elétrico, uma lâmpada elétrica ou um aquecedor elétrico.

(3) **Energia química** - a maioria das formas de reação química converte energia potencial armazenada em calor. Alguns exemplos são o efeito explosivo da pólvora, a queima de óleo ou madeira, e a combinação de oxigênio e graxa.

(4) **Energia radiante** - ondas eletromagnéticas de certas freqüências produzem calor quando são absorvidas pelos corpos no momento que se chocam. Incluindo estão raio X, raios de luz e raios infra vermelhos.

(5) **Energia nuclear** - energia estocada dentro dos núcleos dos átomos, é liberada durante o processo de divisão nuclear em um reator nuclear ou explosão atômica.

(6) **O sol** - toda energia calorífica pode ser diretamente ou indiretamente direcionada em reações nucleares ocorridas no sol.

Equivalência Mecânica do Calor

Quando um gás é comprimido, trabalho é feito e o gás torna-se morno ou quente. Inversamente, quando o gás sob alta tensão torna-se frio.

No primeiro caso, o trabalho foi convertido em energia na forma de calor; no segundo, a energia calorífica foi expandida.

Desde que o calor seja desprendido ou absorvido, então deverá haver um relacionamento entre a energia calorífica e o trabalho. Do mesmo modo, quando duas superfícies são esfregadas juntas, a fricção produz calor. Entretanto um trabalho foi requerido para causar o calor, e pela experimentação foi mostrado que o trabalho requerido e a quantidade de calor, produzidos pela fricção, estavam proporcionais. Assim, o calor pode ser considerado como uma forma de energia.

De acordo com esta teoria, de calor como uma forma de energia, as moléculas, átomos, e elétrons em todos os corpos, estão em um constante estado de movimento. Num corpo quente, estas pequenas partículas possuem relativamente, grande quantidade de energia cinética, mas as pequenas partículas são fornecedoras de movimento, e, portanto, energia cinética; trabalho deverá ser feito para deslisar um corpo sobre o outro.

Energia mecânica aparentemente é transformada, e o que nós conhecemos como calor é realmente energia cinética de pequenas subdivisões moleculares da matéria.

Duas diferentes unidades são usadas para expressar quantidades de energia calorífica. Elas são a caloria e a unidade termal britânica. Uma caloria é igual a quantidade de calor necessária para trocar a temperatura de 1 grama de água em 1 grau centígrado.

Este termo “caloria” (escreve-se com um c minúsculo) é 1/1.000 de Caloria (escrito com um C maiúsculo) usado para a medição do valor do calor produzido ou energia produzida em alimentos. Um B.t.u. (unidade térmica britânica) é definida como quantidade de calor necessário para mudar a temperatura de 1 libra de água em 1 grau Fahrenheit. A caloria e a grama são raramente usadas em discussões sobre manutenção de aeronaves. O B.t.u., entretanto, é comumente referido em debates de eficiência térmica do motor e o calor contido no combustível de aviação.

Um dispositivo conhecido como calorímetro é usado para medir quantidades de energia calorífica.

Por exemplo, ele pode ser usado para determinar a quantidade de energia calorífica disponível em 1 libra de gasolina de aviação.

Um determinado peso de combustível é queimado no calorímetro, e a energia calorífica é absorvida por uma grande quantidade de água. Pelo peso da água e o aumento em sua temperatura, é possível calcular o calor produzido pelo combustível.

Um relacionamento definido existe entre o calor e a energia mecânica. Este relacionamento tem sido estabelecido e verificado por muitas experiências como as abaixo:

1 B.t.u. = 778 pés-libras

Assim, se a amostra de combustível de 1 libra mencionada acima, foi achada para produzir 20.000 B.t.u., poderá ser o equivalente a 20.000 B.t.u. x 778 pés. lbs/B.t.u. ou 15.560.000 pés.lbs de energia mecânica.

Infelizmente, o calor do motor não é capaz de transformar toda a energia calorífica disponível no combustível queimado, em energia mecânica. Uma grande porção de energia é perdida através de perda de calor e fricção operacional.

Método de transferência de calor

Existem três métodos pelo qual o calor é transferido de um local para outro ou de uma substância para outra.

Estes três métodos são condução, convecção e radiação.

Condução

Todos conhecem por experiência que o metal de uma panela aquecida pode queimar a mão. Um cabo de plástico ou madeira, entretanto, permanece relativamente frio, ainda que esteja diretamente em contato com a panela.

O metal transmite o calor mais facilmente do que a madeira, porque é um melhor condutor de calor.

Diferentes materiais conduzem o calor em diferentes proporções.

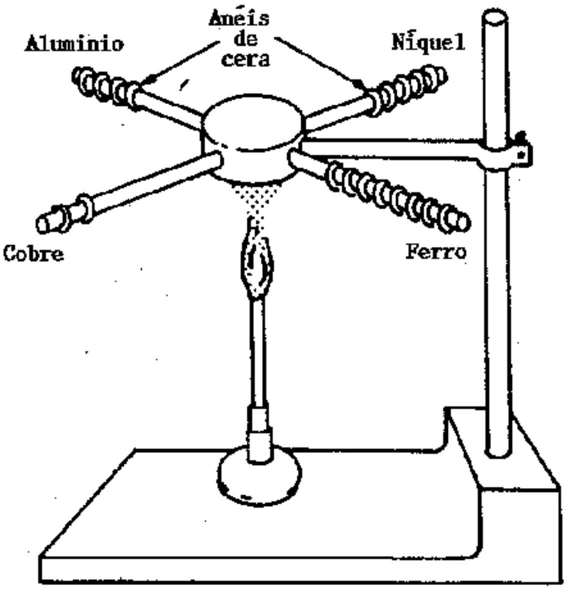


Figura 7-39 Vários metais conduzem calor em diferentes razões.

Alguns metais são melhores condutores de calor do que outros. Alumínio e cobre são usados em potes e panelas porque eles conduzem o calor muito rapidamente. Madeiras e plásticos são usados para punhos, porque eles conduzem o calor bem vagarosamente.

A figura 7-39, ilustra as diferentes razões de condução de vários metais. Quatro varetas de diferentes metais têm diversos anéis de cera pendurados nelas. Uma chama é usada para aquecer um terminal de cada vareta simultaneamente.

Os anéis derretem e pingam da vareta de cobre primeiro, então da vareta de alumínio, após vem a vareta de níquel, e por último vem a vareta de ferro.

Este exemplo mostra que entre os quatro tipos de metais usados, o cobre é o melhor condutor de calor e o ferro é o pior.

Líquidos são piores condutores de calor que os metais. Note que o gelo no tubo de teste mostrado na figura 7-40 não é fundido rapidamente, ainda que a água no topo esteja fervendo.

A água conduz o calor tão pobremente que não há bastante calor para atingir o gelo e derretê-lo.

Os gases são constantemente piores condutores de calor que os líquidos. É possível permanecer-se próximo a um fogão sem ser queimado, porque o ar é semelhante a um pobre condutor.

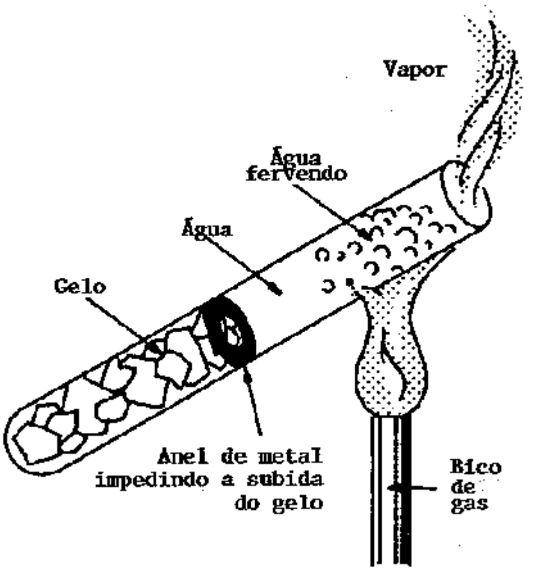


Figura 7-40 A água é um mau condutor de calor.

Visto que a condução é um processo pelo qual o aumento na energia molecular é transformado ao longo do contacto, os gases são pobres condutores.

No ponto de aplicação da fonte de calor, as moléculas tornam-se violentamente agitadas. Estas moléculas batem nas moléculas adjacentes, fazendo com que elas de tornem agitadas. Este processo continua até que a energia calorífica seja distribuída igualmente por todas as partes da substância.

As moléculas estão mais distantes nos gases que nos sólidos, os gases são piores condutores de calor.

Os materiais que são pobres condutores, são usados para evitar a transferência de calor, e são chamados de isoladores de calor. Um punho de madeira numa panela ou em um ferro de soldar servem como isolantes de calor. Certos materiais como fibra de vidro ou amianto, são particularmente pobres condutores de calor.

Estes materiais são, portanto, usados para muitos tipos de isolantes.

Convecção

É um processo pelo qual o calor é transferido pelo movimento de um fluido aquecido (gás ou líquido). Por exemplo, uma válvula eletrônica, quando aquecida, torna-se um aquecedor, aumentando o calor, até o ar ao redor começar a mover-se. O movimento do ar é ascendente. Este movimento para cima do ar aquecido carrega o calor da válvula quente, pela convecção. Transferir o calor pela convecção pode ser apressado pelo uso de um ventilador para mover o ar ao redor do objeto quente. A razão de refrigeração de uma válvula quente a vácuo, pode ser aumentada se estiver provido com tiras de cobre para reduzir o calor da válvula aquecida. As tiras aumentam a superfície, permitindo que o ar frio possa circular para a refrigeração.

Um processo de convecção pode acontecer tanto em um líquido como em um gás. A figura 7-41 mostra um transformador em um banho de óleo. O óleo aquecido é menos denso (tem menos peso por unidade de volume) e sobe, enquanto o óleo frio desce, é aquecido subindo em seguida.

Quando a circulação de um gás ou líquido não é rápida o suficiente para remover o calor, ventiladores ou bombas são usados para acelerar o movimento do material refrigerante. Em algumas instalações, são usadas bombas para circular água ou óleo, com a finalidade de refrigerar grandes equipamentos. Em instalações a bordo de aeronaves, ventiladores e circuladores de ar elétricos são usados para auxiliar a convecção.

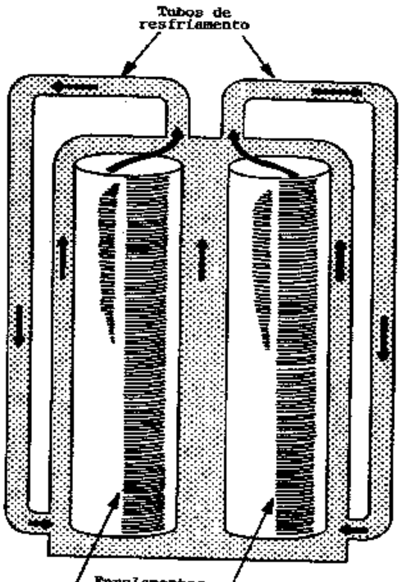


Figura 7-41 Resfriamento de transformador por convecção, com circulação de óleo.

Radiação

Condução e convecção não podem ser consideradas inteiramente, para alguns dos fenômenos associados com a transferência de calor. Por exemplo, o calor que uma pessoa sente quando sentada diante de um fogo aceso, não pode ser transferido por convecção, porque a corrente de ar está se movendo em direção ao fogo.

Ele não pode ser transferido por condução, porque a condutividade do ar é muito pequena e a corrente de ar frio, movendo-se em direção ao fogo em maior quantidade, superará a transferência de calor. Portanto, deve haver um outro meio para o calor viajar pelo espaço diferente da condução e da convecção.

A existência de um outro processo de transferência de calor é mais evidente quando o calor do sol é considerado. Uma vez que a condução e a convecção só podem transferir calor através de um meio, como um gás ou um líquido, o calor do sol deve atingir a terra por outro método, uma vez que o espaço é quase um vácuo perfeito. Radiação é o nome deste terceiro método de transferência de calor.

O termo "radiação" refere-se à emissão contínua de energia, da superfície de todos os corpos. Esta energia é conhecida como energia radiante. Ela está na forma de ondas eletromagnéticas, ondas de rádio ou de raios "X", as quais são todas semelhantes, exceto pela diferença do comprimento das ondas. Estas ondas, viajam na velocidade da luz e são transmitidas através do vácuo, mais facilmente do que através do ar, porque o ar absorve algumas delas. A maior parte das formas de energia podem ser pesquisadas pela energia da luz solar. A luz do sol é uma forma de energia calorífica radiante que viaja através do espaço para atingir a terra. Estas ondas eletromagnéticas de calor são absorvidas quando entram em contato com corpos não transparentes. O resultado é que o movimento das moléculas do corpo é aumentado, sendo indicado pelo aumento da temperatura do corpo.

As diferenças entre condução, convecção e radiação podem agora ser consideradas. Em primeiro lugar, embora a condução e a convecção sejam extremamente lentas, a radiação é feita com a velocidade da luz.

Este fato é evidente durante um eclipse do sol, quando a obstrução do calor do sol tem lugar ao mesmo tempo da obstrução da luz. Em segundo lugar, o aquecimento por radiação pode passar através de um meio sem aquecê-lo. Por exemplo, o ar dentro de uma estufa pode ser mais quente do que o vidro através do qual passam os raios do sol. Em terceiro lugar, embora o calor conduzido e o convectado possam percorrer caminhos curvos ou irregulares, o calor por radiação sempre é conduzido em linha reta. Por exemplo, o efeito da radiação pode ser cortado com a colocação de uma tela entre a fonte de calor e o corpo a ser protegido.

O sol, o fogo e uma lâmpada elétrica, todos irradiam energia, mas um corpo não precisa brilhar para irradiar calor. Um caldeirão de água quente ou um aquecido ferro de soldar irradiam calor. Se a superfície for polida ou de cor clara, menos calor será irradiado.

Corpos que não refletem, são bons irradiadores e bons absorventes de calor e os corpos que refletem são maus irradiadores e maus absorventes. Por esta razão, são usadas roupas claras no verão.

Um exemplo prático do controle da perda de calor é a garrafa térmica. O frasco é feito de duas paredes de vidro separadas por vácuo. O vácuo evita a perda do calor por condução e convecção e uma camada de prata nas paredes evita a perda de calor por radiação.

Calor específico

Um aspecto importante no qual as substâncias diferem, é na necessidade de diferentes quantidades de calor para produzir a mesma mudança de temperatura em uma determinada massa da substância.

Cada substância requer uma quantidade de calor, chamada capacidade específica de calor, para aumentar a temperatura de uma unidade de sua massa em 1 grau. O calor específico de uma substância é a relação da sua capacidade específica de calor para a capacidade específica de calor da água.

O calor específico é expresso por um número, o qual, pode ser uma razão, não possui unidade e se aplica tanto ao sistema inglês como ao sistema métrico.

É uma felicidade que a água tenha uma grande capacidade específica de calor. As grandes porções de água na terra mantêm o ar e a matéria sólida em sua superfície ou próxima a ela, em uma temperatura constantemente moderada.

Uma grande quantidade de calor é necessária para mudar a temperatura de um grande lago ou rio.

Material	Calor específico
Mercurio....................	0,033

Cobre.........................	0,095
Ferro e aço.................	0,113
Vidro..........................	0,200
Álcool.........................	0,500
Água...........................	1,000

Figura 7-42 Valores do calor específico de alguns materiais comuns.

Entretanto, quando a temperatura cai, abaixo daquela das porções de água, elas desprendem grandes quantidades de calor. Este processo preserva a temperatura atmosférica na superfície da terra, das rápidas variações.

O valor do calor específico de alguns materiais comuns estão relacionados na figura 7-42.

Expansão térmica

A expansão térmica acontece nos sólidos, líquidos e gases quando eles estão aquecidos. Com algumas exceções, os sólidos se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados. Devido as moléculas dos sólidos estarem muito juntas e serem fortemente atraídas umas com as outras, a expansão, dos sólidos é muito insignificante em comparação com a expansão dos líquidos e dos gases. A expansão dos fluidos foi discutida no estudo da lei de Boyle. A expansão térmica nos sólidos deve ser explanada em alguns detalhes devido ao seu relacionamento com os metais e materiais das aeronaves.

Expansão nos sólidos

Os materiais sólidos se expandem no comprimento, largura e espessura, quando são aquecidos. Um exemplo da expansão e contração das substâncias, é o aparelho bola e o anel, ilustrado na figura 7-43. A bola e o anel são feitos de ferro.

Quando ambos estão na mesma temperatura, a bola desliza através do anel. Quando a bola é aquecida ou o anel resfriado, a bola não passa no anel.

Experiências mostram que, para uma determinada mudança de temperatura, a variação do comprimento ou volume é diferente para cada substância.

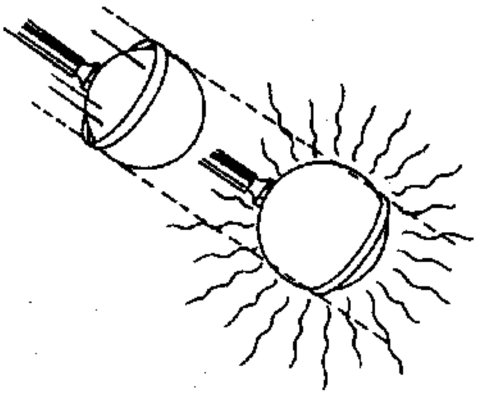


Figura 7-43 Bola e anel.

Por exemplo, uma determinada mudança na temperatura, causa a dilatação de uma peça de cobre, aproximadamente o dobro da expansão de uma peça de vidro do mesmo tamanho e formato. Por esta razão, o fio condutor do interior de uma válvula eletrônica não pode ser feito de cobre, mas deve ser feito de um metal que tenha a mesma razão de expansão do vidro. Se o metal não tiver a mesma razão de expansão, haverá uma perda do vácuo devido a entrada de ar pelo espaço entre o fio e o vidro.

Em virtude de algumas substâncias se expandirem mais do que outras é necessário a medição experimental da exata razão de expansão de cada uma. A quantidade de unidades de comprimento de uma substância, ao se expandir com o aumento de 1 grau na temperatura, é conhecida como coeficiente linear de expansão, para aquela substância.

Coeficientes de expansão

Para calcular a expansão de qualquer objeto, tal como um trilho de aço, é necessário conhecer três coisas sobre ele; isto é, seu comprimento, a elevação de temperatura a que ele está sujeito, e seu coeficiente de expansão. Este relacionamento é expresso pela equação:

Expansão = coeficiente x comprimento x elevação da temperatura

$$e = KL (t_2 - t_1)$$

Nesta equação, a letra "K" representa o coeficiente de expansão para a determinada substância. Em alguns casos a letra Grega "α" (alfa) é usada para indicar o coeficiente de expansão linear.

Se uma haste de metal mede exatamente 9 pés a 21ºC, qual é o seu comprimento a 55ºC ? O valor de "K" para metal é $10x10^{-6}$. Se a equação $e = KL (t_2 - t_1)$ for usada, então: $e = (10 \times 10^{-6}) \times 9 \times (55-21)$

$e = 0{,}000010 \times 9 \times 34$

$e = 0{,}00306$

Esta quantidade, quando adicionada ao comprimento original da haste, faz com que a haste tenha 9,00306 pés.

O aumento no comprimento da haste é relativamente pequeno; mas se a haste fosse colocada onde não pudesse expandir-se livremente, existiria uma tremenda força exercida, devido à expansão térmica. Desta maneira, a expansão térmica deve ser levada em consideração quando projetar células, grupos motopropulsores ou equipamentos relacionados.

A figura 7-44 contém a lista dos coeficientes de expansão linear para algumas substâncias comuns.

Substância	Coeficiente de expansão linear por grau cent.
Alumínio....................	24×10^{-6}
Latão.........................	19×10^{-6}
Cobre.........................	17×10^{-6}
Vidro.........................	$4 \text{ a } 9 \times 10^{-6}$
Quartzo......................	$0{,}4 \times 10^{-6}$
Aço............................	11×10^{-6}
Zinco..........................	26×10^{-6}

Figura 7-44 Coeficiente de expansão de alguns materiais comuns.

Uma aplicação prática que emprega a diferença dos coeficientes de expansão linear dos metais é o termostato. Este instrumento consiste de um arranjo de duas barras de metais diferentes fixadas juntas. Quando a temperatura muda, ocorre um arco por causa da expansão desigual dos metais. A figura 7-45 mostra um semelhante instrumento, feito com um punho de madeira para demonstrações de laboratório. Os termostatos são usados nos reles de sobrecarga dos motores, em chaves sensitivas de temperatura e em sistemas de aquecimento.

SOM

O som tem sido definido como uma série de perturbações na matéria que o ouvido humano pode detectar. Esta definição pode também ser aplicada a perturbações que estão além do alcance da audição humana.

Existem três elementos que são necessários para a transmissão e recepção do som. Estes são a fonte, um meio para transportar o som e o detetor. Alguma coisa que move de cá para lá (vibre) e perturbe o meio em volta dele, pode ser considerado uma fonte de força.

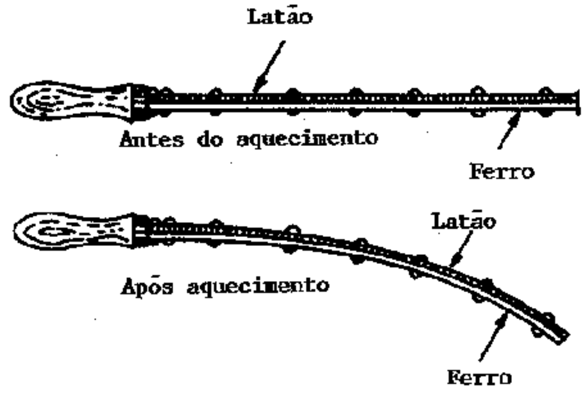


Figura 7-45 Barra composta.

Um exemplo da produção e transmissão do som é a badalada de um sino. Quando o sino é golpeado e começa a vibrar, as partículas do meio (o ar nos arredores) em contato com o sino também vibram. A perturbação vibracional é transmitida de uma partícula do meio para a próxima, e as vibrações viajam em uma onda através do meio, até encontrarem o ouvido. O tímpano, atuando como detector, é posto em movimento pelas partículas do ar, e o cérebro interpreta as vibrações do tímpano como a característica do som associada com o sino.

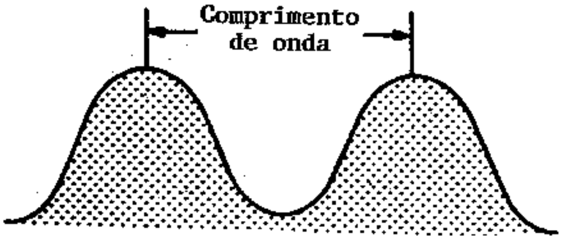


Figura 7-46 Onda transversa.

Movimento da onda

Visto que o som é um movimento de onda em questão, ele pode ser melhor entendido, primeiramente, considerando as ondas de água. Quando uma pedra é atirada dentro de uma piscina, uma série de ondas circulares viajam fora da perturbação. Na figura 7-46 tais ondas são diagramadas como vistas na seção transversal, de lado. Observe que as ondas de água são uma sucessão de cristas e cavados. O comprimento de onda é a distância da crista de uma onda à crista da próxima. As ondas de água são conhecidas como ondas transversais, por causa do movimento das moléculas da água para cima e para baixo, ou em ângulos retos para a direção na qual as ondas estão viajando. Isto pode ser visto observando uma rolha na água, boiando para cima e para baixo, quando as ondas passam por ela; as rolhas movem-se muito pouco para o lado.

O som viaja através da matéria na forma de movimentos longitudinais de onda. Essas ondas são chamadas de ondas longitudinais, porque as partículas do meio vibram de lá para cá, longitudinalmente na direção da propagação, como mostrado na figura 7-47.

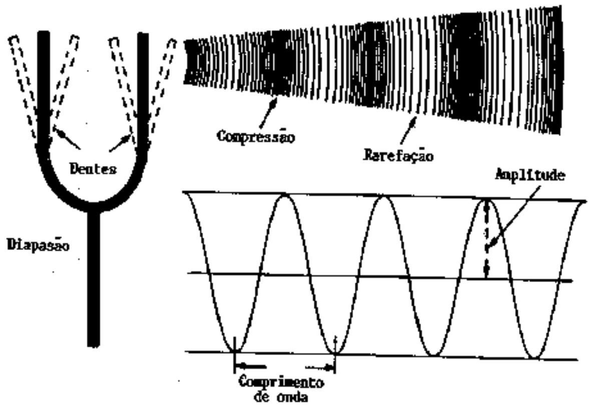


Figura 7-47 Propagação do som por um diapasão.

Quando o dente do diapasão (figura 7-47) se move para fora, o ar imediatamente na frente do dente é então comprimido, e sua pressão momentânea é aumentada acima dos outros pontos do meio em volta. Por causa da elasticidade, esta perturbação é transmitida progressivamente para fora do dente na forma de uma onda de compressão.

Quando o dente retorna e se move para dentro, o ar na frente do dente fica rarefeito, então sua pressão momentânea é reduzida abaixo dos outros pontos do meio em volta. Esta perturbação é transmitida na forma de uma onda de rarefação (expansão) e segue a onda de compressão através do meio.

O desenvolvimento de alguma onda envolve dois movimentos distintos: (1) A onda se move para frente com velocidade constante e, (2) simultaneamente, as partículas do meio que levam a onda vibram harmonicamente. (Exemplos de movimento harmônico são o movimento de um pêndulo de um relógio, a roda do balanço em um relógio, e o pistão de um motor convencional).

O período de uma partícula vibrando é o tempo “t” (em segundos), requerido para a partícula completar uma vibração.

A freqüência “f” é o número de vibrações completas por segundo e pode ser expressa em c.p.s. Quando expressa nesta unidade, a palavra “ciclos” significa vibrações. O período é o recíproco da freqüência:

$t = 1/f$

A velocidade de uma onda é igual ao comprimento da onda, λ (lambda) dividido pelo período. Visto que, o período é o recíproco da freqüência, a velocidade é,

$v = f\lambda$

Onde:

v = velocidade em pés/segundo
f = freqüência em c.p.s.
λ = comprimento de onda em pés.

A amplitude de vibração é o deslocamento máximo da partícula do seu ponto de equilíbrio.

Duas partículas estão em fase, quando elas estão vibrando com a mesma freqüência e continuamente passam através dos correspondentes pontos de seus caminhos ao mesmo tempo. Em qualquer outra condição, as partículas estarão fora de fase. Duas partículas estão em fase oposta, quando elas encontram seu deslocamento máximo em direções opostas ao mesmo tempo.

O comprimento de onda é a distância medida ao longo da direção de propagação entre dois pontos correspondentes e de igual intensidade que estão na fase adjacente as ondas. Este comprimento pode ser representado pela distância entre o ponto de rarefação máxima no curso completo da onda (fig 7-47).

Quando a figura 7-47 é referida, mantenha em mente que a onda transversal desenhada abaixo da onda de compressão é simplesmente um meio de simplificar o conceito e a relação com o tipo de onda da ilustração, comumente usada em discussões sobre ondas eletromagnéticas.

Quando uma onda avança e encontra um meio de natureza diferente, parte dessa energia é refletida de volta ao meio inicial, e parte é transmitida para dentro do segundo meio.

Reflexão das ondas sonoras

Para entender a reflexão das ondas sonoras, ajuda muito pensar na onda como um raio. Um raio é uma linha que indica a direção que a onda está se propagando. Num ambiente uniforme, um raio percorrerá uma linha reta. Apenas no limite entre dois ambientes, ou em uma área onde o meio está em mudança, os raios mudam a sua direção.

Se uma linha, chamada "normal", é desenhada perpendicular ao limite, o ângulo entre a entrada do raio e a linha normal é chamado de ângulo de incidência, "i" como mostrado na figura 7-48. O ângulo que o raio refletido faz com a linha normal é chamado de ângulo de reflexão "r". Algumas ondas são refletidas de tal maneira que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Freqüentemente pensa-se primeiro na luz quando o assunto discutido é reflexão, embora a reflexão seja igualmente comum em outros tipos de onda. Como exemplo, os ecos são causados pela reflexão das ondas sonoras. Quando uma superfície dura é posicionada de modo a permitir uma boa reflexão de som, ele retorna como um eco, e é ouvido com um certo atraso em relação ao momento no qual o som foi emitido. Se a superfície for côncava, ele pode ter um efeito de foco e concentrar a energia do som refletido em uma localidade.

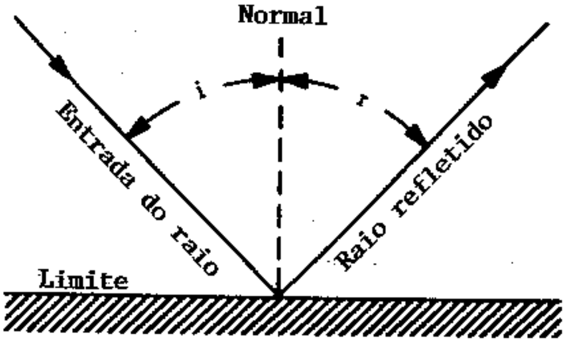


Figura 7-48 Reflexão de um raio.

Essa reflexão pode ser de nível variado em intensidade, maior que o som direto, e a sua chegada em um momento mais tarde, pode ter particular importância na sua aplicação, como o sonar.

Velocidade do som

Em um meio uniforme, sob determinada condição física, o som se propaga com uma velocidade definida.

Em algumas substâncias, a velocidade do som é maior do que em outras. Mesmo em meios iguais, mas sob diferentes condições de temperatura, pressão, etc., a velocidade do som varia. A densidade e a elasticidade são duas propriedades físicas básicas que governam a velocidade do som.

Em geral, uma diferença de densidade entre duas substâncias é suficiente para indicar que uma será um meio de transmissão mais lento para o som. Por exemplo, o som se propaga mais rapidamente na água do que no ar, ambos na mesma temperatura. Embora existam algumas inesperadas exceções para esta regra. Um notável exemplo entre estas exceções envolvem a comparação da velocidade do som no chumbo e no alumínio, na mesma temperatura. O som se propaga a 16.700 f.p.s. no alumínio a 20ºC., e apenas a 4.030 f.p.s. no chumbo a 20ºC., apesar do fato do chumbo ser muito mais denso que o alumínio.

A razão para tais exceções é encontrada no fato, mencionado acima, que a velocidade do som depende tanto da elasticidade quanto da densidade.

Usando a densidade como indicação grosseira da velocidade do som em dada substância, podemos afirmar como regra geral, que o som se propaga com velocidade maior nos materiais sólidos, menor nos líquidos e ainda menor nos gases.

Para uma temperatura fixa, a velocidade do som é constante para qualquer meio e é independente do período, freqüência, ou amplitude da manifestação. Desta maneira, a velocidade do som no ar a 0ºC.(32ºF) é 1.087 f.p.s. e aumenta de 2 f.p.s. para cada grau centígrado de temperatura e aumenta (1,1 f.p.s. para cada grau Fahrenheit). Na prática a velocidade do som no ar pode ser considerada 1.100 f.p.s.

Número *Mach*

No estudo de aeronaves que voam em velocidades supersônicas é costumeiro discutir a velocidade da aeronave em relação a velocidade do som (aproximadamente 750 milhas por hora). O termo "Número *Mach*" foi dado para a razão da velocidade da aeronave com a velocidade do som, em homenagem a *Ernst Mach*, um cientista austríaco.

Assim, se a velocidade do som ao nível do mar é 750 milhas por hora, uma aeronave voando em um número *Mach* de 2,2 estaria viajando em uma velocidade de 750 m.p.h. x 2.2 = 1.650 milhas por hora.

Freqüência do som

O termo "pitch" é usado para descrever a freqüência de um som. É importante reconhecer que a diferença entre os tons produzidos por duas diferentes teclas de um piano é uma diferença de "pitch". O "pich" de um tom é proporcional ao número de compressões e rarefações recebidas por segundo, que em geral, é determinado pela freqüência da vibração, da origem do som.

Freqüência, ou "pitch", é normalmente medido por comparação com um padrão. O tom padrão pode ser produzido por um diapasão de freqüência conhecida ou uma sirene cuja freqüência é computada por uma particular velocidade de rotação. Através da regulagem da velocidade, o "pitch" da sirene é igualado ao tom que está sendo medido.

Intensidade do som

Quando um sino toca, as ondas sonoras se propagam em todas as direções e o som é ouvido também em todas as direções. Quando um é tocado lentamente, as vibrações são de pequena amplitude e o som é baixo. Um golpe forte produz vibrações de maior amplitude no sino, e o som é mais alto.

É evidente que a amplitude das vibrações do ar será maior quando a amplitude das vibrações da fonte for aumentada. Daí, a altura do som depender da amplitude das vibrações das ondas sonoras. Quando a distância da fonte aumenta, a energia em cada onda espalha-se, e o som torna-se mais baixo.

A intensidade do som é a energia por unidade de área, por segundo. Em uma onda sonora de movimento harmônico simples, a energia é metade cinética e metade potencial; uma é devido a velocidade das partículas, outra devido a compressão e rarefação do meio. Estas duas energias em alguns instantes ficam defasadas 90 graus. Isto é, quando a velocidade de movimento da partícula está no máximo, a pressão está normal, e quando a pressão está no máximo ou mínimo, a velocidade das partículas é zero.

A altura do som depende tanto da intensidade quanto da freqüência. A intensidade de uma onda sonora em um meio é proporcional às seguintes quantidades;

(1) Quadrado da freqüência de vibração.

(2) Quadrado da amplitude.

(3) Densidade do meio.

(4) Velocidade de propagação.

Em determinada distância da fonte do som (ponto), a intensidade da onda varia inversamente com o quadrado da distância da fonte.

Quando a onda sonora avança, as variações da pressão ocorrem em todos os pontos do meio de transmissão.

Quanto maior a variação da pressão, mais intensa será a onda sonora. Pode ser demonstrado que a intensidade é proporcional ao quadrado da variação de pressão, para qualquer que seja a freqüência. Desta maneira, pela variação da pressão, a intensidade dos sons com freqüências diferentes podem ser comparadas diretamente.

Medida da intensidade do som

A altura (intensidade) do som não é medida pelo mesmo tipo de escala usada para medir comprimento. O ouvido humano tem um padrão de resposta não linear, e as unidades de medida do som usadas, variam logaritimicamente com a amplitude da variação do som. Estas unidades são o "BEL" e "DECIBEL", que se referem as diferenças entre sons de intensidade e níveis diferentes.

O decibel, que é um décimo de um bel, é a mudança mínima de nível do som perceptível pelo ouvido humano.

Daí, o decibel simplesmente descrever o índice entre dois níveis. Por exemplo, 5 decibéis podem representar qualquer volume de som, dependendo da intensidade do nível de referência, ou o nível do som em que o índice é baseado

CAPÍTULO 8

ELETRICIDADE BÁSICA

INTRODUÇÃO

Qualquer pessoa envolvida com manutenção de aeronaves está ciente do crescente uso da eletricidade nos sistemas modernos, e reconhece a importância do mecânico compreender os princípios da eletricidade.

A eletricidade, hoje, é extensamente usada nos sistemas de aeronaves, salientando a importância de um fundamento sólido de eletricidade para técnicos de célula e moto-propulsão.

No estudo da física, a teoria do elétron foi introduzida para explicar a natureza essencial da estrutura da matéria.

Um exame mais detalhado desta teoria é necessário para explicar o comportamento do elétrons, bem como sua aplicação no estudo da eletricidade básica.

MATÉRIA

A matéria pode ser definida como algo que possui massa (peso) e ocupa espaço. Logo, matéria é alguma coisa que existe. Ela pode existir em forma de sólidos, líquidos ou gases.

A menor partícula de matéria, em qualquer estado ou forma que existe, possui sua identidade, é chamada de molécula.

Substâncias compostas por apenas um único tipo de átomo são chamadas de elementos, entretanto a maioria das substâncias existentes na natureza são compostas, isto é, são combinações de dois ou mais tipos de átomos. Água, por exemplo, é um composto de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio.

Uma molécula de água é ilustrada na figura 8-1. Ela não teria mais características de água, se fosse composta por um átomo de hidrogênio e dois átomos de oxigênio.

O átomo

O átomo é considerado a parte constitutiva básica de toda matéria. É a menor partícula possível em que um elemento pode ser dividido conservando, ainda, suas propriedades químicas. Em sua forma mais simples, consiste em um ou mais elétrons, orbitando velozmente em torno de um centro ou núcleos, também na maioria dos átomos.

O átomo não é visível, mesmo que colocássemos 200.000 deles lado a lado numa linha de uma polegada, ainda assim não poderíamos vê-los. Apesar disso, grandes conhecimentos sobre seu comportamento são obtidos através de testes e experiências.

O átomo mais simples é o de hidrogênio, que é formado por um elétron girando em torno de um próton, conforme mostrado na figura 8-2. Um átomo mais completo é o do oxigênio (veja figura 8-3), que consiste de oito elétrons girando em duas órbitas diferentes, em torno de um núcleo formado por oito prótons e oito neutrons.

Um elétron representa a carga elétrica negativa básica e, além disso, não pode ser dividido. Alguns elétrons são mais fortemente ligados ao núcleo do seu átomo do que outros, e giram em órbitas imaginárias mais fechadas e próximas do núcleo, enquanto outros orbitam seus núcleos mais livremente e distantes.

Estes últimos são chamados elétrons "livres", porque podem ficar livres com facilidade da atração positiva dos prótons (núcleo) para formar o fluxo de elétrons num circuito elétrico.

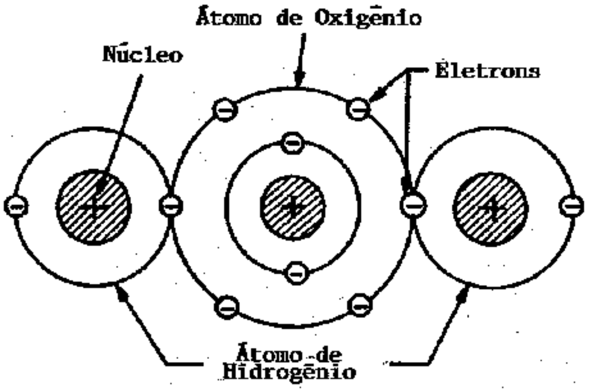


Figura 8-1 Uma molécula de água.

Os neutrons, no núcleo, não possuem carga elétrica. Eles não são positivos nem negativos, mas são iguais aos prótons em tamanho e peso. Como um próton pesa aproximadamente 1.845 vezes mais do que um elétrons, o peso total de um átomo é determinado através da quantidade de prótons e neutrons existentes no seu núcleo.

O peso do elétron não é considerado. Na verdade a natureza da eletricidade não pode ser definida claramente, porque não se tem certeza se o elétron é uma carga negativa desprovida de massa (peso) ou uma partícula de matéria com carga negativa.

A eletricidade é melhor compreendida pelo seu comportamento, que se baseia no papel da carga transportada pelo átomo. Quando a carga positiva total dos prótons, no núcleo, se equilibra com a carga total negativa dos elétrons em órbita, em torno do núcleo, diz-se que o átomo possui carga neutra.

Se um átomo tem escassez de elétrons, ou carga negativa, ele está carregado positivamente, e é chamado de íon positivo. Se ele possui um excesso de elétrons, diz-se que está carregado negativamente, e é chamado de íon negativo.

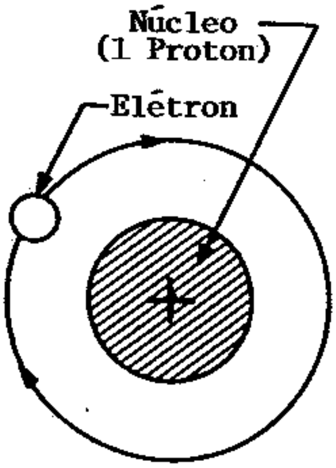


Figura 8-2 Átomo de hidrogênio.

Transferência de elétrons

Em condição de carga neutra, um átomo tem um elétron para cada próton existente no núcleo. Deste modo, o número de elétrons atrelados ao átomo configurarão os vários elementos, variando de 1, no caso do hidrogênio, até 92 para o urânio.

Os elétrons girando em torno do núcleo percorrem órbitas, chamadas camadas. Cada camada pode conter um certo número máximo de elétrons e, se tal quantidade for excedida, os elétrons excedentes serão obrigados a se transferirem para a camada mais alta (em relação ao núcleo), ou mais externa.

A camada mais próxima do núcleo pode conter no máximo dois elétrons. A segunda camada não mais do que oito elétrons; a terceira, dezoito elétrons; a quarta, trinta e dois; etc. Entretanto, é preciso observar que em alguns átomos, grandes e complexos, os elétrons podem estar dispostos nas camadas mais externas antes que algumas camadas internas estejam completas.

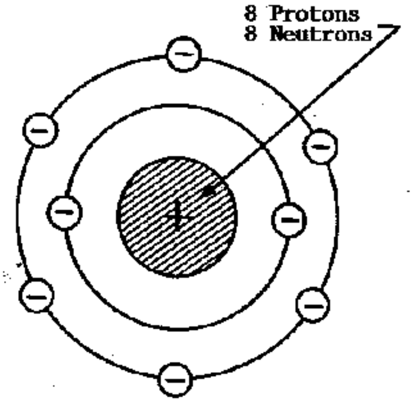


Figura 8-3 Átomo de Oxigênio.

ELETRICIDADE ESTÁTICA

A eletricidade é normalmente definida como sendo estática ou dinâmica. Como todos os elétrons são parecidos, tais palavras não descrevem de fato os diferentes tipos de eletricidade, distinguem, mais precisamente, elétrons em repouso ou em movimento.

A palavra estática significa "estacionária" ou "em repouso", e se refere à deficiência ou excesso de elétrons. Inicialmente pensava-se que eletricidade estática era eletricidade em repouso, porque a energia elétrica produzida por fricção não teria movimento.

Uma experiência simples, como passar um pente seco no cabelo, produz estalidos, indicando ocorrência de descarga estática, consistindo, pois na transferência de elétrons para o pente, como resultado da fricção.

A descarga é causada pelo rápido movimento na direção oposta (do pente para o cabelo), para equilibrar as cargas eventualmente. No escuro, há possibilidade de se enxergar pequenas centelhas correspondentes a essas descargas.

A eletricidade estática tem pouca utilidade prática e, freqüentemente, causa problemas. É difícil de controlar, e descarrega rapidamente.

Ao contrário, a corrente elétrica ou dinâmica é gerada e controlada facilmente, e supre energia para o trabalho do dia-a-dia.

Um resumo da teoria do elétrons ajuda a explicar a eletricidade estática. Todos os elétrons são semelhantes e repelem-se entre si, o mesmo ocorre com os prótons. Elétrons e prótons são diferentes e se atraem. Daí, a lei fundamental da eletricidade; Cargas iguais se repelem e diferentes se atraem.

Produção de eletricidade estática

Eletricidade estática pode ser produzida por contato, fricção ou indução. Como exemplo de fricção, uma vareta de vidro esfregada com pelica torna-se carregada negativamente, mas se esfregada com seda torna-se carregada positivamente. Alguns materiais que produzem eletricidade estática facilmente são flanela, seda, rayon (seda artificial), âmbar, borracha rígida e vidro.

Quando dois materiais são friccionados entre si, algumas órbitas de elétrons dos átomos de cada um podem se cruzar, ocasionando transferência de elétrons.

A transferência de elétrons se dá nas camadas ou órbitas externas do átomo, e são chamadas de elétrons livres.

Quando uma vareta de vidro é esfregada com seda, surgem elétrons ficando positivamente carregada. A seda se torna negativamente carregada, acumulando excesso de elétrons. A fonte destas cargas elétricas é a fricção.

Uma vareta de vidro carregada pode ser utilizada para carregar outras substâncias, por exemplo, se duas esferas maciças são penduradas, conforme mostrado na figura 8-4, e cada esfera é tocada com a vareta carregada, esta transfere alguma carga para as esferas.

As esferas então, passam a ter cargas similares e, consequentemente, repelem-se conforme mostrado na parte "B" da figura 8-4. Se uma vareta de plástico é esfregada com pelica, ela se torna negativamente carregada, e a pelica positivamente.

Tocando cada esfera com estas diferentes fontes de cargas, as esferas adquirem cargas contrárias e se atraem, como mostrado na parte "C" da figura 8-4.

Não obstante, muitos objetos se tornam carregados com eletricidade estática por meio de fricção. Uma substância carregada somente pode afetar objetos próximos por contato. Isto está ilustrado na figura 8-5.

Se uma vareta carregada positivamente toca uma barra de metal descarregada, fluirão elétrons da barra descarregada pelo ponto de contato. Alguns elétrons passarão para a vareta, deixando a barra metálica com deficiência de elétrons (positivamente carregada), e tornando a vareta menos positiva do que estava ou, talvez, igualmente neutralizando sua carga completamente.

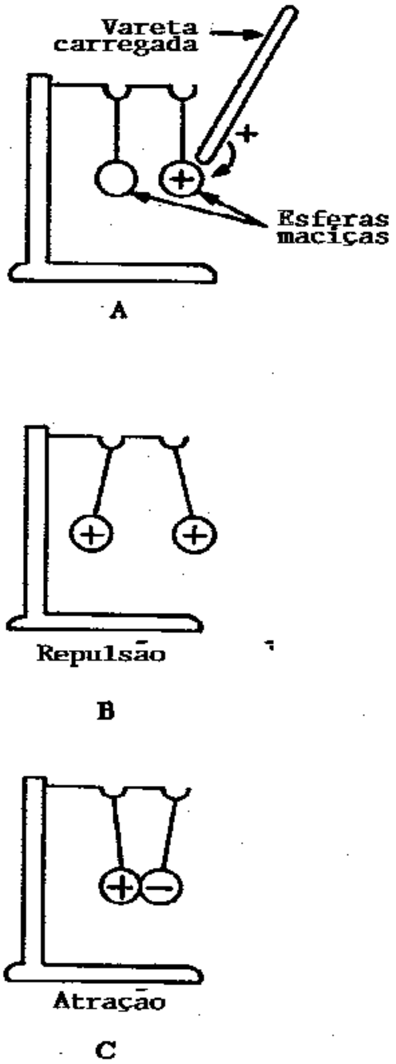


Figura 8-4 Reação de cargas iguais e desiguais.

Um método para carregar por indução uma barra metálica é demonstrado na figura 8-6. Uma vareta carregada positivamente é aproximada, mas não toca fisicamente uma barra de metal descarregada.

Os elétrons na barra metálica são atraídos para a extremidade mais próxima da vareta positiva, deixando a extremidade oposta da barra deficiente de elétrons.

Caso esta extremidade positiva seja tocada por um objeto neutro, elétrons fluirão para a barra metálica, neutralizando sua carga. A barra metálica é deixada com excesso de elétrons em toda a sua extensão.

Campo eletrostático

Existe um campo de força em torno de um corpo carregado. Esse campo é um campo eletrostático (às vezes chamado um campo dielétrico) e é representado por linhas estendendo-se em todas as direções a partir do corpo carregado, até onde houver uma carga oposta e com a mesma intensidade.

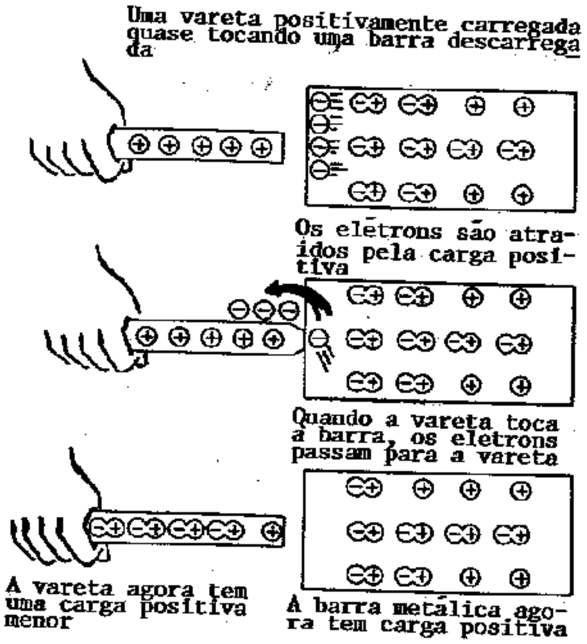

Uma vareta positivamente carregada quase tocando uma barra descarregada
Os elétrons são atraídos pela carga positiva
Quando a vareta toca a barra, os elétrons passam para a vareta
A vareta agora tem uma carga positiva menor
A barra metálica agora tem carga positiva

Figura 8-5 Carga por contato.

Para explicar a ação de um campo eletrostático, são empregadas linhas para representar a direção e a intensidade do campo de força elétrico.

Conforme ilustrado na figura 8-7, a intensidade do campo é indicada pela quantidade de linhas por área, e a direção é mostrada pelas setas sobre as linhas, apontando na direção em que uma pequena carga de teste poderia ou tenderia a mover-se, se afetada pelo campo de força.

Tanto uma carga de teste positiva ou negativa podem ser usadas, mas tem sido arbitrariamente consentido que uma pequena carga positiva será sempre usada na determinação da direção do campo.

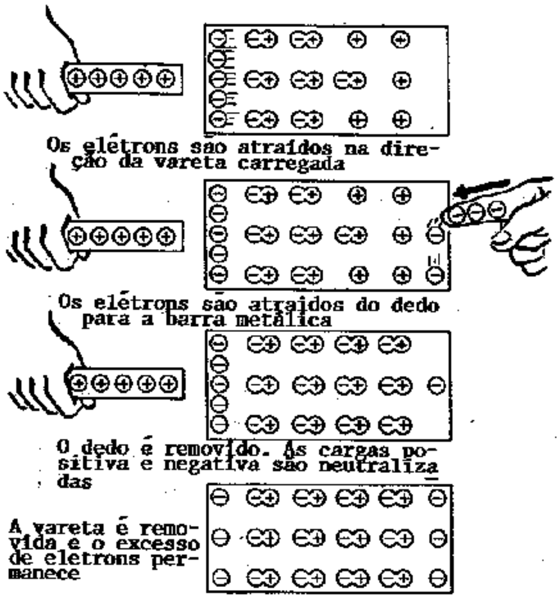

Os elétrons são atraídos na direção da vareta carregada
Os elétrons são atraídos do dedo para a barra metálica
O dedo é removido. As cargas positiva e negativa são neutralizadas
A vareta é removida e o excesso de elétrons permanece

Figura 8-6 Carga de uma barra por indução.

Deste modo, a direção do campo em torno de uma carga positiva é sempre no sentido de afastamento a partir da carga, conforme mostrado na figura 8-7, porque uma carga positiva de teste seria repelida. Por outro lado, a direção das linhas no caso de uma carga negativa é em direção a esta carga, já que uma carga de teste positiva é atraída por ela.

A figura 8-8 ilustra campos em torno de corpos possuindo cargas iguais (+). São mostradas cargas positivas, mas fossem positivas ou negativas, as linhas de força se repeliriam entre os campos, se as duas cargas fossem iguais.

As linhas terminam sobre um objeto material, e sempre se estendem da carga positiva para a carga negativa. Estas linhas são imaginárias, usadas para mostrar a direção do campo de força.

É importante saber como uma carga é distribuída sobre um objeto. A figura 8-9 mostra um pequeno disco de metal sobre o qual uma carga negativa concentrada foi colocada.

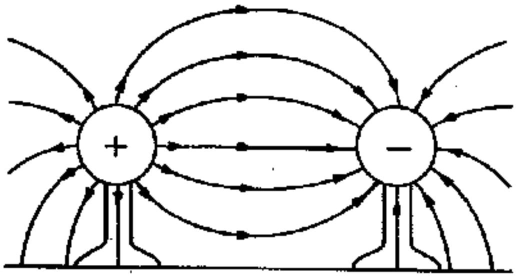


Figura 8-7 Direção de um campo elétrico em torno de cargas positivas e negativas.

Usando um detetor eletrostático, é possível mostrar que a carga é distribuída uniformemente sobre toda a superfície do disco.

Desde que o disco de metal proporcione resistência uniforme em todos os pontos de sua superfície, a repulsão mútua dos elétrons resultará numa distribuição equilibrada sobre toda a superfície.

Um outro exemplo, mostrado na figura 8-10, refere-se à carga em uma esfera oca. Apesar da esfera ser feita de material condutor, a carga é distribuída uniformemente por toda a superfície externa.

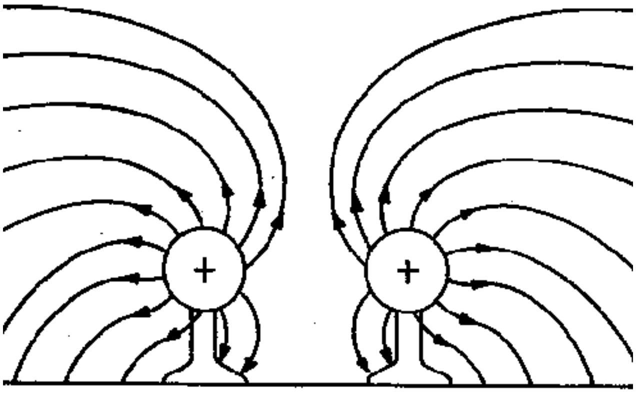


Figura 8-8 Campo em torno de dois corpos carregados positivamente.

A superfície interna é completamente neutra. Esse fenômeno é usado para proteger os operadores dos grandes geradores estáticos VAN DE GRAAFF.

A área de proteção para os operadores é dentro da grande esfera, onde são gerados milhões de volts.

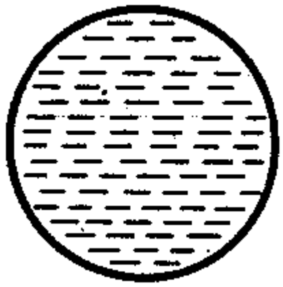


Figura 8-9 Distribuição uniforme da carga em um disco metálico.

A distribuição de carga num objeto de forma irregular é diferente da que ocorre no caso de um objeto de forma regular. A figura 8-11 mostra que a carga em objetos, deste modo, não é distribuída uniformemente. A maior concentração de carga dá-se nas extremidades, ou áreas de curvatura mais acentuada.

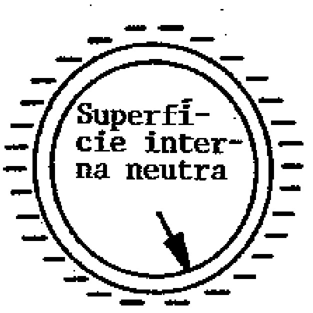


Figura 8-10 Carga em uma esfera oca.

Os efeitos da eletricidade estática devem ser considerados na operação e manutenção de aeronaves.

A interferência estática nos sistemas de comunicação, e a carga estática criada pelo movimento da aeronave através da massa de ar, são exemplos dos problemas ocasionados pela eletricidade estática.

Peças da aeronave precisam ser "unidas" ou ligadas entre si para prover um caminho de baixa resistência (ou fácil) para a descarga estática, e o equipamento rádio precisa ser blindado.

Cargas estáticas precisam ser consideradas no reabastecimento da aeronave para prevenir possível ignição do combustível e, é necessário aterrar a estrutura da aeronave, tanto através de pneus condutores de estática, como através de fiação de aterramento.

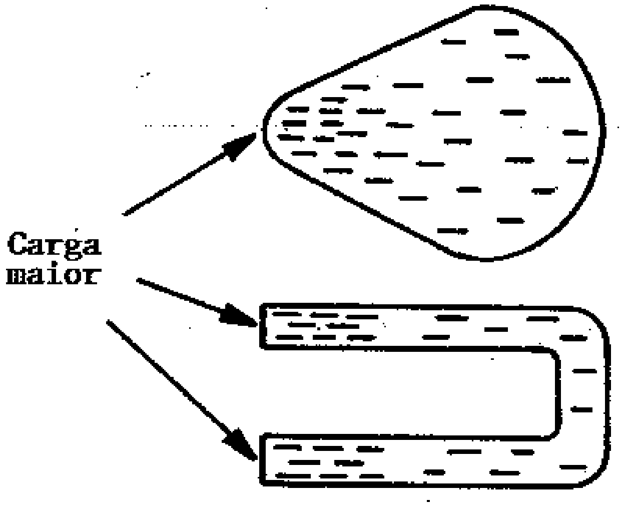


Figura 8-11 Carga em objetos de diferentes formatos.

FORÇA ELETROMOTRIZ

O fluxo de elétrons de um ponto negativo para um positivo é chamado de corrente elétrica; essa corrente flui por causa de uma diferença na pressão elétrica entre dois pontos.

Se um excesso de elétrons com carga negativa ocorre no final de um condutor, e uma deficiência de elétrons com carga positiva em outro, ocorre um campo eletrostático entre as duas cargas.

Os elétrons são repelidos do ponto carregado negativamente, e são atraídos pelo ponto carregado positivamente.

O fluxo de elétrons de uma corrente elétrica pode ser comparado ao fluxo d'água entre dois tanques interligados, quando existir diferença de pressão entre eles.

A figura 8-12 mostra que o nível d'água no tanque “A” é mais alto do que no tanque “B”. Se a válvula que interliga os tanques for aberta, a água fluirá do tanque “A” para o tanque “B”, até que o nível da água se torne igual em ambos os tanques.

É importante observar que não foi a pressão no tanque “A” que causou o fluxo d'água, mas foi a diferença de pressão entre os tanques que o fez.

Quando a água nos dois tanques está no mesmo nível, o fluxo cessa, porque não existe diferença de pressão ente eles.

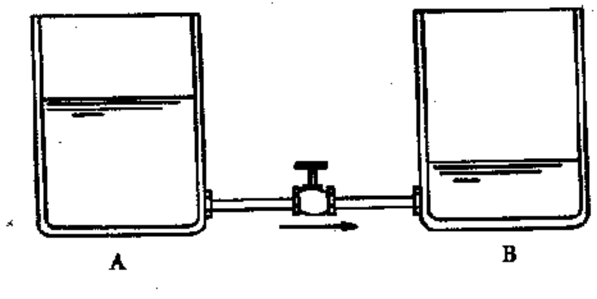


Figura 8-12 Diferença de pressão.

Essa comparação ilustra o princípio que causa o movimento dos elétrons, quando um caminho é disponível, de um ponto onde há excesso a outro onde há escassez de elétrons.

A força que provoca este movimento é a diferença potencial em entrega elétrica entre os dois pontos. Essa força é chamada de pressão elétrica ou diferença potencial ou força eletromotriz.

A força eletromotriz, abreviada f.e.m.., provoca corrente (elétrons) em um caminho ou circuito elétrico. A unidade de medida prática da f.e.m. ou diferença de potencial é o VOLT. O símbolo para f.e.m. é a letra maiúscula "E".

Se a pressão d'água no tanque “A” da figura 8-12 é 10 p.s.i. e no tanque “B” é de 2 p.s.i., existe uma diferença de 8 p.s.i.. Similarmente, pode-se dizer que uma força eletromotriz de 8 volts existe entre dois pontos elétricos. Como a diferença potencial é medida em volts, a palavra "voltagem" pode também ser usada para nomear quantidade de diferença potencial.

Assim, é correto dizer que a voltagem da bateria de certa aeronave é 24 volts, ou seja, uma outra maneira de indicar que a diferença potencial de 24 volts existe entre dois pontos conectados por um condutor.

Fluxo de corrente

A corrente elétrica é formada por elétrons em movimento. Essa corrente é normalmente referida como "corrente" ou "fluxo de corrente", não importando a quantidade de elétrons em deslocamento.

Quando o fluxo ocorre numa direção apenas, é chamado de corrente contínua. Posteriormente, no estudo dos fundamentos de eletricidade, a corrente que se inverte periodicamente será discutida. Agora, será abordada apenas a corrente contínua.

Como uma corrente elétrica consiste de variada quantidade de elétrons, é importante saber o número de elétrons fluindo num circuito em determinado tempo. A carga acumulada de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons é chamada de um Coulomb.

Quando esta quantidade de elétrons flui através de um determinado ponto em um circuito, é dito que um ampère de corrente passa por ele.

O fluxo de corrente é medido em ampères ou partes de ampères, por um instrumento chamado amperímetro.

O símbolo empregado para representar corrente em fórmulas ou esquemas é a letra maiúscula "I", que representa a intesidade do fluxo de corrente.

Figura 8-13 Movimento dos elétrons.

O impulso dos elétrons livres não deve ser confundido com o conceito de fluxo de corrente que diz respeito à velocidade da luz.

Quando uma voltagem é aplicada em um circuito, os elétrons livres percorrem pequena distância até colidirem com átomos. Essas colisões, normalmente, deslocam outros elétrons livres de seus átomos, e esses elétrons se movimentam na direção do terminal positivo do condutor, colidindo com outros átomos, assim deslocando-se com relativa e reduzida razão de velocidade.

Para se compreender o efeito de velocidade quase instantânea da corrente elétrica, basta uma visualização do longo tubo repleto de bolas de aço, conforme mostrado na figura 8-13.

Pode-se ver que cada bola introduzida na extremidade de entrada do tubo, que representa um condutor, causará imediatamente a expulsão da bola que estiver posicionada na extremidade oposta.

Desta forma, se o tubo for suficientemente comprido, esse efeito ainda poderá ser observado como instantâneo.

RESISTÊNCIA

A propriedade de um condutor de eletricidade que limita ou restringe o fluxo de corrente elétrica é chamada de resistência. É necessário pressão elétrica para superar essa resistência, que nada mais é do que a força de atração mantendo os elétrons em suas órbitas. Os materiais usados na fabricação de condutores, usualmente na forma de fios extrudados, são materiais que oferecem diminuta resistência ao fluxo de corrente.

Embora fios de qualquer medida ou valor de resistência possam ser usados, a palavra "condutor", normalmente, se refere a materiais que oferecem baixa resistência ao fluxo de corrente, e a palavra isolador nomeia materiais que oferecem alta resistência para a corrente elétrica.

Não existe distinção completamente definida entre condutores, sob condições adequadas, todos os tipos de material conduzem alguma corrente.

Materiais oferecendo alguma resistência para o fluxo de corrente, intercalados com os melhores condutores e os piores (isoladores), são, às vezes, referidos como "semicondutores" e encontram sua melhor aplicação no campo dos transistores. Os melhores condutores são materiais, principalmente metais, que possuem um grande número de elétrons livres; contrariamente, isolantes são materiais possuindo poucos elétrons livres.

Os melhores condutores são prata, cobre, ouro e alumínio, mas materiais não-métalicos, como o carbono e a água podem ser usados como condutores.

Materiais como borracha, vidro, cerâmica, sendo maus condutores, são normalmente usados como isoladores. O fluxo de corrente em alguns desses materiais é tão pequeno, que nem é considerado.

A unidade empregada para medir resistência é chamada Ohm. O símbolo desta unidade é a letra grega ÔMEGA ().

Nas fórmulas matemáticas a letra "R", refere-se a resistência. A resistência de um condutor, e a voltagem aplicada a ele determinam a quantidade de ampères (corrente) fluindo através desse condutor. Assim, 1 Ohm de resistência limitará o fluxo de corrente em 1 ampère, num condutor ao qual seja aplicada a voltagem de 1 volt.

Fatores que afetam a resistência

Dentre os quatro fatores mais importantes que afetam a resistência de um condutor, um dos mais considerados é o tipo de material do condutor.

Foi destacado que certos metais são comumente usados como condutores por causa da abundância de elétrons livres em suas órbitas externas.

O cobre é considerado o melhor material condutor disponível, tendo em vista que um fio de cobre com determinado diâmetro oferece menor resistência ao fluxo de corrente do que um fio de alumínio com o mesmo diâmetro. Entretanto o alumínio é mais leve do que cobre e, por esta razão o alumínio é freqüentemente utilizado, quando o fator peso é importante.

Um segundo fator de resistência é o comprimento do condutor. Quanto mais comprido, maior a sua resistência.

A figura 8-14 apresenta dois condutores de diferentes comprimentos. Se 1 volt de pressão elétrica for aplicado através das duas extremidades do condutor que tem 1 pé (304,799 *mm*) de comprimento e a resistência ao movimento de elétrons livres é supostamente 1 ohm, o fluxo de corrente fica limitado em 1 ampère.

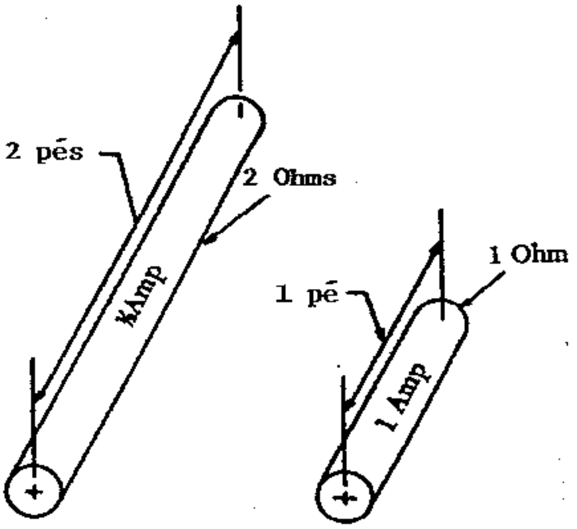


Figura 8-14 Variação da resistência com o comprimento do condutor.

Se o mesmo condutor tiver seu comprimento duplicado e a mesma voltagem aplicada (1 volt), agora a resistência encontrada é dobrada, conseqüentemente o fluxo de corrente fica reduzido à metade.

O terceiro fator que afeta a resistência de um condutor é a área da seção transversal, ou a superfície de sua extremidade. Essa área pode ser triangular e até mesmo quadrada, mas normalmente é circular.

Se a área de seção transversal de um condutor é dobrada, sua resistência ao fluxo de corrente é reduzida a metade. Isto é verdadeiro porque implica no aumento da área em que um elétron pode se deslocar sem colisão ou sem ser capturado por outro átomo. Deste modo, a resistência varia inversamente em relação a área da seção transversal de um condutor.

Para comparar a resistência de um condutor com um outro, tendo uma área de seção transversal maior, precisa ser estabelecido um padrão unidade e dimensões do condutor. A melhor unidade de medição do diâmetro do fio é o MIL (0,001 de uma polegada). A melhor unidade de medição do comprimento do fio é o "Pé". Usando esses padrões a unidade das dimensões será MIL-PÉS.

Então, um fio terá uma dimensão padrão se tiver 1 mil de diâmetro e 1 pé de comprimento. A especificação, em ohms, da unidade de condução de um certo material é chamada de resistência específica ou resistividade específica da substância.

Um mil quadrado é uma unidade adequada para condutores quadrados ou retangulares. Um mil quadrado é uma área de um quadrado com cada lado medindo 1 MIL.

Para calcular a área de uma seção transversal de um condutor, em MILS quadrados, o comprimento em MILS de um dos lados é elevado ao quadrado.

No caso de um condutor retangular, o comprimento de um dos lados é multiplicado pelo comprimento de outro lado. Por exemplo, uma barra retangular comum (grande, condutor especial) tem a espessura de 3/8 da polegada e 4 polegadas de extensão. A finura de 3/8 polegada pode ser expressa como 0,375 polegadas. Como 1000 MILS equivale a 1 polegada, o comprimento em polegadas pode ser convertido para 4000 MILS. A área da seção transversal do retangulo condutor é 00,375 x 4.000 ou 1.500 MILS quadrados.

O condutor circular é mais comum do que os de forma quadrada e retangular. Devido aos diâmetros dos condutores circulares serem medidos somente em frações da polegada é conveniente expressar esses diâmetros em MILS para evitar o uso de decimais.

O MIL circular é a unidade padrão da área da seção transversal do fio, usada na América e nas tabelas de fios Inglesas. Então, o diâmetro de um fio que tem 0,025 polegadas pode ser convenientemente escrito como 25 MILS. A figura 8-15 ilustra um circuito que tem um diâmetro de 1 MIL. A área em MIL circular é obtida, elevando-se ao quadrado a medida do diâmetro em MILS. Então, um fio com diâmetro de 25 MILS tem uma área de 25 ao quadrado ou 25 x 25 ou 625 MILS circular.

Comparando condutores quadrados e circulares, deve ser observado que o MIL circular é uma unidade de área menor do que um MIL quadrado. Para determinar a área em MIL circular quando a área em MIL quadrada é conhecida a área em MIL quadrada é dividida por 0,7854. Inversamente, para encontrar a área em MIL quadrado, quando o MIL circular é conhecido, a área em MIL circular é multiplicada por 0,7854.

Os fios são fabricados em dimensões numeradas de acordo com uma tabela conhecida como "*American Wire Gage*" (AWG). Os diâmetros de fio se tornam cada vez menores quan-

quando os números da espessura aumentam. Nessa tabela está disponível, como referência para os técnicos de aviação, não somente as dimensões do fio, como também a resistência e a área da seção transversal.

O último fator importante que influencia a resistência de um condutor é a temperatura. Embora algumas substâncias como o carbono apresentem diminuição em resistência, acompanhando elevação de temperatura ambiente, o maior porte dos materiais usados como condutores tem sua resistência aumentada conforme aumenta a temperatura. A resistência de poucas ligas, como *constantan* e *maganin*, muda muito pouco com as mudanças de temperatura ambiente.

A quantidade de aumento na resistência de uma amostra de condutor de 1 ohm por grau de elevação de temperatura acima de 0º centígrado, o padrão estabelecido, é chamado de coeficiente térmico de resistência. Este valor modifica-se para cada metal. Por exemplo, para o cobre o valor é aproximadamente 0,00427 ohm. Deste modo, um fio de cobre possuindo uma resistência de 50 ohm a uma temperatura de 0ºC, terá um aumento em resistência de 50 x 0,00427, ou 0,214 ohm, por cada grau de elevação na temperatura acima de 0ºC.

O coeficiente térmico de resistência precisa ser considerado quando existe apreciável mudança de temperatura de um condutor durante a operação. Existem tabelas listando coeficientes térmicos de resistência para os diferentes materiais.

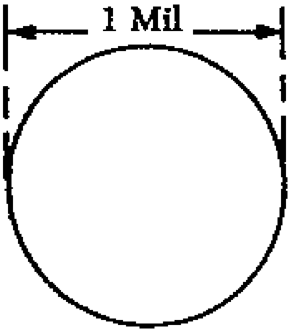


Figura 8-15 Mil circular.

COMPONENTES E SÍMBOLOS DE CIRCUITO BÁSICO

Um circuito elétrico consiste de: (1) uma fonte de pressão elétrica ou F.E.M.; (2) resistência na forma de um dispositivo de consumo elétrico; e (3) condutores, normalmente fio de cobre ou alumínio que representam o caminho para o fluxo dos elétrons do lado negativo da fonte de força, através da resistência retornando para o lado positivo.

A figura 8-16 é uma representação ilustrada de um circuito prático.

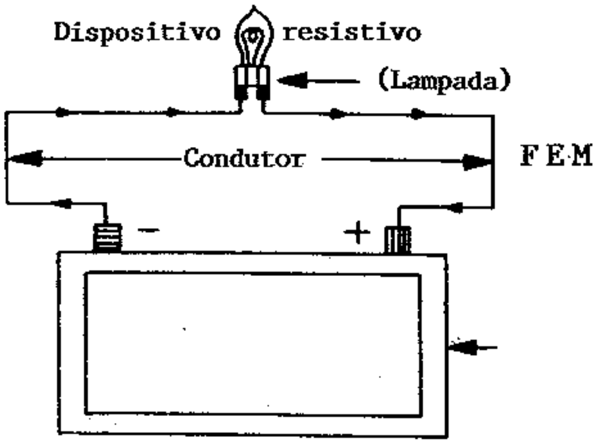


Figura 8-16 Um circuito prático.

Esse circuito contém uma fonte de F.E.M. (bateria de acumuladores), um condutor para permitir o fluxo de elétrons do terminal negativo para o positivo da bateria e um dispositivo de dissipação de força (lâmpada) para limitar o fluxo de corrente.

Sem qualquer resistência no circuito, a diferença de potencial entre os dois terminais seria neutralizada muito rapidamente ou o fluxo de elétrons tornar-se-ia tão violento que o condutor ficaria superaquecido e se queimaria.

Ao mesmo tempo em que a lâmpada funciona como resistência de limitação da corrente, ela também cumpre a desejada função de iluminar.

A figura 8-17 é uma representação esquemática da figura 8-16, e apresenta símbolos, substituindo as figuras representativas dos componentes do circuito.

Todos os componentes utilizados em circuitos elétricos são representados em desenhos, plantas elétricas e ilustrações esquemáticas por símbolos.

Os componentes comumente usados nos circuitos básicos, juntamente com seus símbolos esquemáticos, são aqui discutidos para prover o necessário suporte para interpretação dos diagramas de circuito.

Fonte de força

A fonte de força ou força aplicada, para um circuito pode ser qualquer uma das fontes comuns de f.e.m., como uma fonte mecânica (gerador), uma fonte química (bateria), uma fonte fotoelétrica (luz) ou uma fonte térmica (calor). A figura 8-18 ilustra dois símbolos esquemáticos referentes a um gerador.

A maior parte dos componentes elétricos possui apenas um símbolo; entretanto, no caso do gerador e de outros, mais de um símbolo foi criado para representar um mesmo componente elétrico. Esses símbolos são muito parecidos em desenho.

A figura 8-18 ilustra que os dois símbolos para um gerador são tão parecidos que a chance para confusão é mínima.

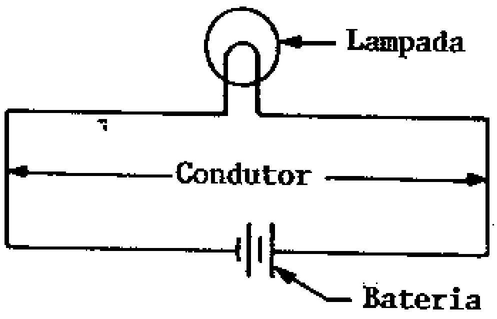


Figura 8-17 Componentes de um circuito representados por símbolos.

Uma outra fonte comum para a voltagem aplicada a um circuito é a bateria, uma fonte de força química. A figura 8-19 mostra símbolos para uma bateria de célula única e uma bateria de três células.

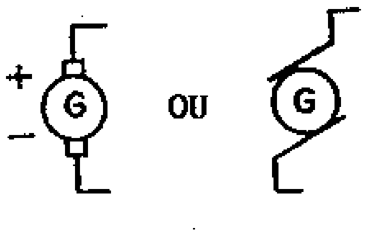


Figura 8-18 Símbolos para um gerador de corrente contínua.

Referente a símbolos de baterias, usados em diagramas esquemáticos, são verdadeiras as seguintes afirmativas (ver figura 8-19).

1. A linha vertical mais curta representa o terminal negativo.
2. A linha vertical mais longa é o terminal positivo.
3. As linhas horizontais representam os condutores conectados aos terminais.
4. Cada célula de uma bateria tem um terminal negativo e um positivo.

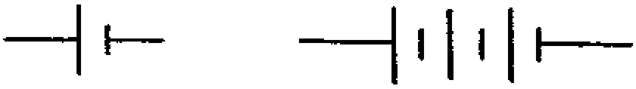


Figura 8-19 Símbolos para baterias de uma e de três células.

Pilhas secas, como as usadas em lanternas, são chamadas de pilhas primárias. As baterias de acumuladores maiores, contendo várias células primárias são chamadas de pilhas secundárias. O símbolo esquemático para pilha primária é mostrado na figura 8-20.

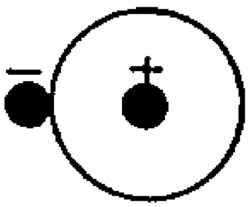


Figura 8-20 Símbolo esquemático de uma pilha seca.

A bola central é o terminal positivo e o círculo que a envolve é o terminal negativo.

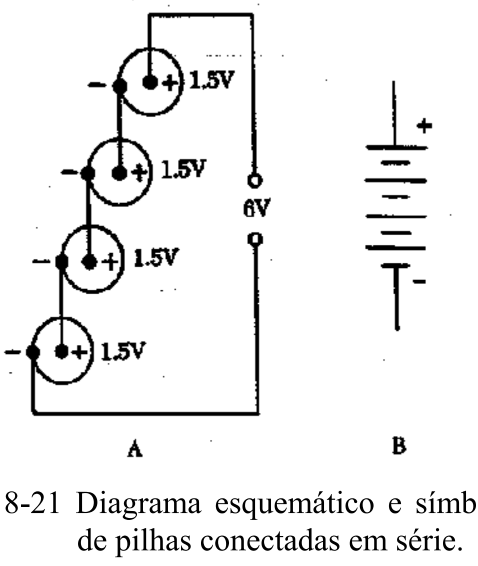


Figura 8-21 Diagrama esquemático e símbolos de pilhas conectadas em série.

Quando há necessidade de mais de 1,5v são conectadas células em série, ou seja, o terminal negativo de cada uma é ligado ao positivo da célula seguinte, conforme mostrado em "A" da figura 8-21. A voltagem fica então igual à soma das voltagens de cada uma das células.

Como a mesma corrente flui através das sucessivas células, a corrente que a bateria pode suprir é igual a capacidade de corrente de uma única célula. Assim, uma bateria composta por células em série proporciona uma voltagem maior, mas não uma maior capacidade de corrente.

Para obter um maior fluxo de corrente que uma célula é capaz de suprir, as células são ligadas em paralelo. A corrente total disponível é igual à soma das correntes individuais de cada célula, entretanto, a voltagem é a mesma de uma única célula.

Para ligar células em paralelo todos os terminais positivos são conectados entre si, e todos os terminais negativos da mesma forma. Na letra “A”da figura 8-22 é mostrado um diagrama esquemático de células ligadas em paralelo.

E na letra “B” da mesma figura é ilustrado o símbolo usado para representar este grupo de células conectadas em paralelo.

Cada célula precisa ter a mesma voltagem; caso contrário, uma célula com maior voltagem forçará corrente através das células de menor voltagem.

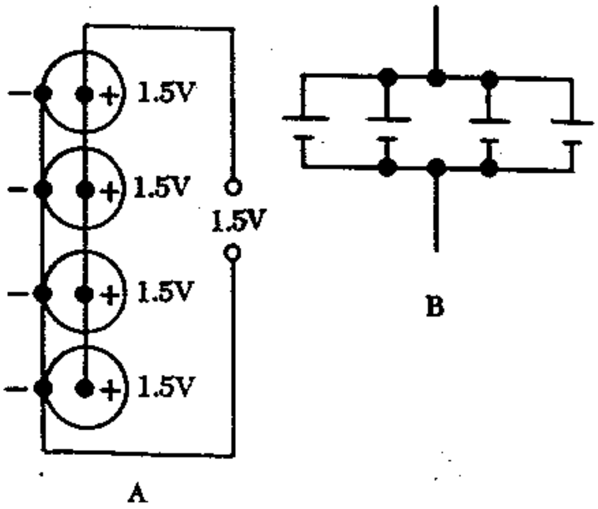


Figura 8-22 Pilhas conectadas em paralelo.

Um outro modo de combinar células é conectá-las em série-paralelo. Desta maneira, mostrada na figura 8-23, dois grupos de células (série) são conectados em paralelo.

Essa arrumação fornece tanto maior voltagem como maior saída de corrente.

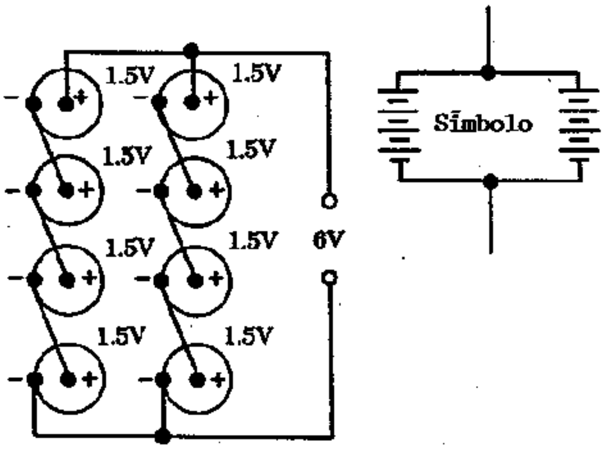


Figura 8-23 Arranjo de pilhas em série e em paralelo.

Condutor

Outra necessidade básica de um circuito é o condutor, ou fio, interligando os diversos componentes elétricos. É sempre representado em diagramas esquemáticos como uma linha. A figura 8-24 ilustra dois símbolos diferentes usados para indicar fios (condutores) que se cruzam mas não estão conectados.

Embora ambos os símbolos possam ser usados, o símbolo mostrado em "B" da figura 8-24 é encontrado mais freqüentemente, por ser menos provável de ser interpretado erroneamente.

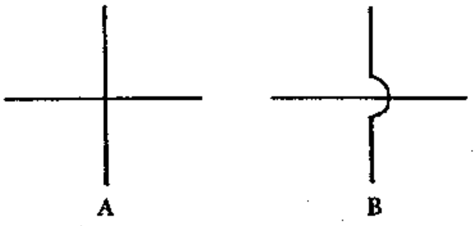


Figura 8-24 Cruzamento de fios não conectados.

A figura 8-25 ilustra os dois diferentes símbolos usados para representar fios conectados entre si.

Ambos os símbolos podem ser usados, entretanto é importante que não haja conflito com o símbolo escolhido para representar fios não conectados. Por exemplo, se o símbolo escolhido para fios não conectados for o mostrado em "A" da figura 8-24, o símbolo para fios interligados tem que ser o mostrado em "A" da figura 8-25.

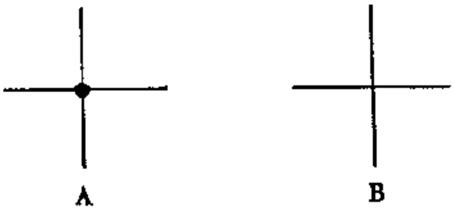


Figura 8-25 Fios conectados.

Um componente encontrado em todos os circuitos práticos é o fusível. Este é uma segurança ou dispositivo de proteção usado para prevenir danos aos condutores e componentes do circuito, sob fluxo excessivo de corrente. O símbolo esquemático para representar o fusível é mostrado na figura 8-26.

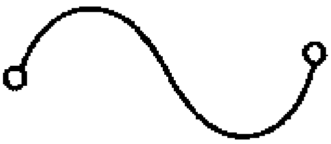


Figura 8-26 Símbolo esquemático de um fusível.

Um outro símbolo encontrado num esquema de circuito básico é o que representa uma chave (interruptor), mostrado na figura 8-27.

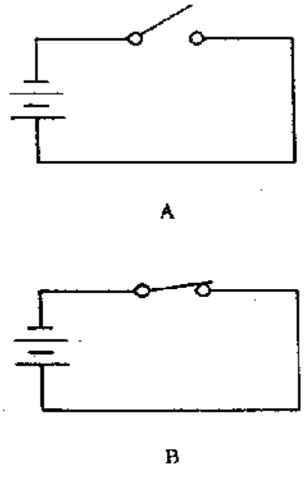


Figura 8-27 Símbolos de interruptores abertos e fechados.

O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fechada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves, mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas.A figura 8-28 ilustra o símbolo para "terra" (massa) ou o ponto de referência comum em um circuito. Este é o ponto de referência do qual a maior parte das voltagens são medidas. Este ponto é normalmente considerado como o de potencial zero.

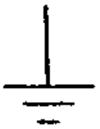


Figura 8-28 Símbolo do ponto de referência de massa, terra ou comum.

Às vezes, os medidores, para fluxo de corrente ou voltagem são conectados temporariamente a determinados circuitos e, em outros, aparecem como componentes permanentes. Na figura 8-29, os símbolos para amperímetro e voltímetro são utilizados em um circuito simples. É importante que tais componentes sejam conectados de modo correto.

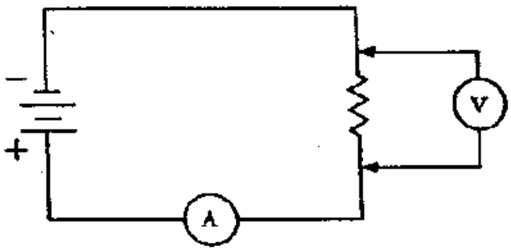


Figura 8-29 Símbolos de amperímetro e de voltímetro.

O amperímetro, que mede fluxo de corrente, é sempre ligado em série com a fonte de força e as resistências do circuito. O voltímetro, que mede voltagem através de um componente do circuito, é sempre ligado em paralelo com tal componente, nunca em série.

Resistores

O último dos requisitos básicos de componentes de um circuito completo pode ser agrupado sob o simples título de resistência, que num circuito prático aparece sob a forma de qualquer dispositivo elétrico, como um motor ou uma lâmpada que utilize energia elétrica e tenha alguma função utilitária. Por outro lado, a resistência de um circuito pode surgir na forma de resistores, cuja finalidade seja limitar o fluxo de corrente.

Existe uma grande variedade de resistores. Alguns têm valor fixo em OHMS e outros são variáveis. São fabricados com fios especiais, grafite (carvão) ou membrana metálica.

Resistores revestidos de fio controlam correntes elevadas, enquanto os resistores de carvão controlam correntes relativamente pequenas. Os resistores revestidos de fio são fabricados com fio de resistência enrolado em base de porcelana, com as extremidades do fio fixas em terminais metálicos, cobrindo a resistência com material protetor que permita dissipação de calor (ver figura 8-30).

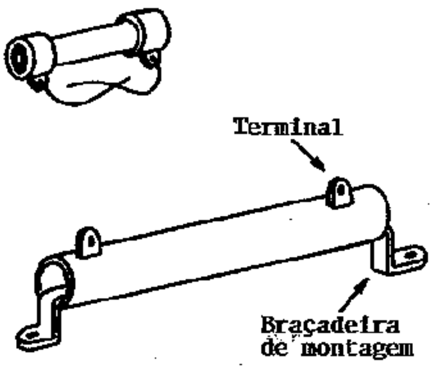


Figura 8-30 Resistores fixos revestidos de fio.

Existem resistores revestidos de fio, com tomadas (terminais) fixas, que podem ser escolhidas conforme se queira variar entre os valores disponíveis em ohms na resistência. Também podem ser providos de cursores que podem ser ajustados para modificar o valor em ohms para uma fração da resistência total (ver figura 8-31).

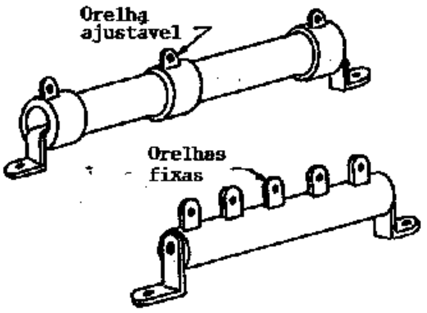


Figura 8-31 Resistores revestidos de fio com orelhas fixas e ajustáveis.

Ainda um outro tipo, é o resistor revestido de fio de precisão (figura 8-32) feito de fio de "manganin"; tipo usado quando é exigido valor de resistência extremamente preciso.

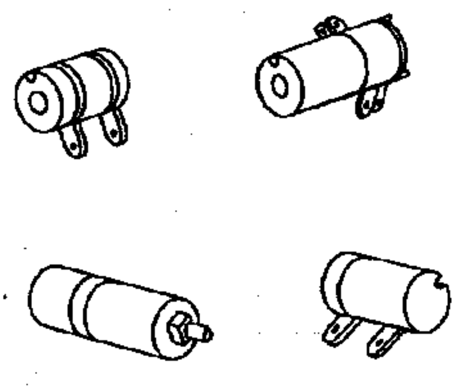


Figura 8-32 Resistores de precisão revestidos de fio.

Resistores de carbono são fabricados de uma haste de grafite comprimido, material aglutinante e com um terminal de fio, chamado *"pig-tail"* (rabo de porco) fixo em cada extremidade do resistor (ver figura 8-33).

Resistores variáveis são usados para variar a resistência, enquanto o equipamento está em operação. Resistores variáveis revestidos de fio ou de fio enrolado controlam altas correntes, e os variáveis de carbono controlam pequenas correntes.

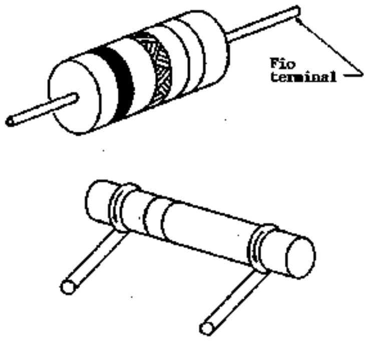


Figura 8-33 Resistores de carbono.

Estes resistores variáveis são fabricados com fio de resistência enrolado em porcelana ou baquelite de forma circular. Um braço de contato pode ser ajustado em qualquer posição sobre a resistência circular, por meio de uma haste rotativa, usada para selecionar a ajustagem da resistência (ver figura 8-34).

Resistores variáveis de carvão (ver figura 8-35), usados para controlar pequenas correntes, são fabricados com composto de carbono depositado sobre um disco de fibra.

Um contato sobre um braço móvel varia a resistência conforme o eixo do braço é girado.

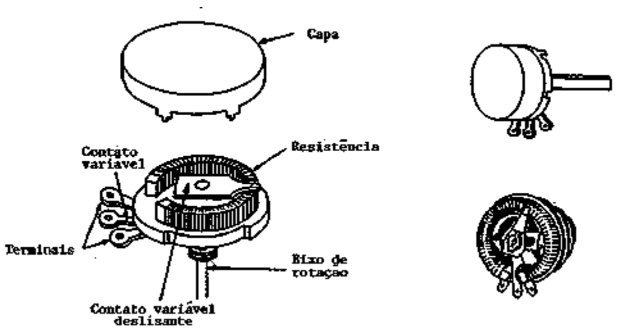


Figura 8-34 Resistor variável de fio enrolado.

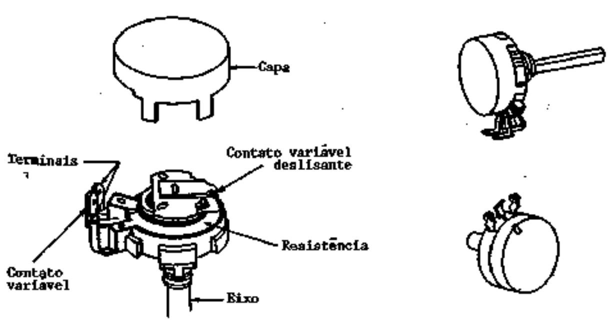


Figura 8-35 Resistor variável de carbono.

Os dois símbolos empregados em esquema ou diagrama de circuito para representar resistores variáveis são mostrados na figura 8-36.

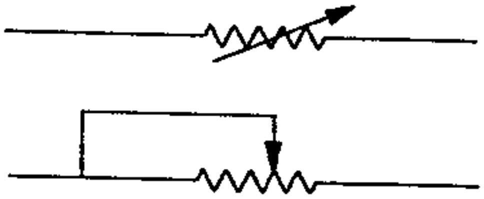


Figura 8-36 Símbolos para resistores variáveis.

O símbolo esquemático correspondente a um resistor fixo é mostrado em "A" da figura 8-37. A variação deste símbolo representa o resistor com tomadas, que tem valor fixo, mas é provido de tomadas, através das quais valores selecionados de resistência podem ser obtidos (ver "B" da figura 8-37).

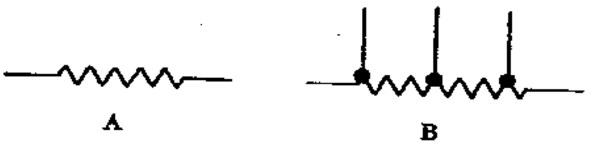
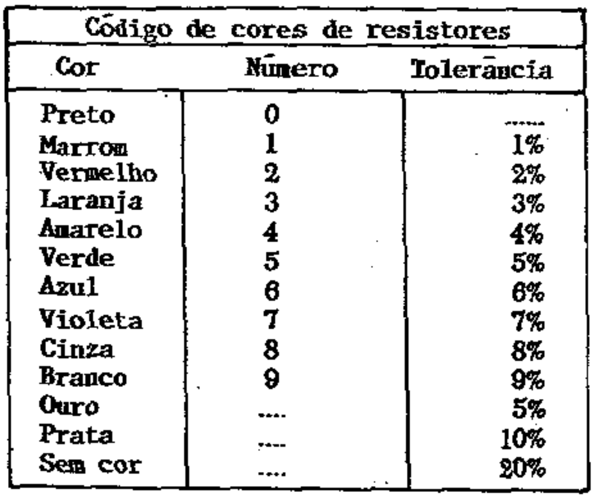


Figura 8-37 Símbolos para resistores fixos.

Código de cores de resistores

O valor resistivo de qualquer resistor pode ser medido por meio de um ohmímetro, mas isto não é absolutamente imprescindível. A maioria dos resistores de fio enrolado tem o seu valor de resistência impresso no corpo do resistor. Muitos resistores de carvão também têm, mas são freqüentemente montados, de forma que é muito difícil ou impossível ler o valor expresso.



Código de cores de resistores		
Cor	Número	Tolerância
Preto	0	......
Marrom	1	1%
Vermelho	2	2%
Laranja	3	3%
Amarelo	4	4%
Verde	5	5%
Azul	6	6%
Violeta	7	7%
Cinza	8	8%
Branco	9	9%
Ouro	....	5%
Prata	....	10%
Sem cor	....	20%

Figura 8-38 Código de cores resistores.

Ademais, o calor quase sempre desbota o corpo do resistor, tornando as marcações impressas ilegíveis, e muitos resistores de carvão são tão pequenos que não é possível imprimir neles as marcas de cor. Assim, o código de cores é usado para identificar o valor de resistência de resistores de carbono.

Existe apenas um código de cores para resistores de carvão, mas existem dois sistemas ou métodos usados para pintar o código em resistores. Um é o sistema de extremidade para o centro (*end-to-center-band*) e o outro é de extremidade e ponto (*body-end-dot*). Ver as figuras 8-39 a 8-46.

Em cada sistema, três cores são usadas para indicar o valor da resistência em ohms, uma quarta cor é, ás vezes, usada para indicar a tolerância do resistor.

Através da leitura das cores na ordem certa, e substituindo-as por algarismos, é possível determinar o valor do resistor.

É muito difícil fabricar um resistor com exato padrão de valor ôhmico. Felizmente a maioria dos circuitos não requer valores extremamente críticos. Para muitas aplicações os valores de resistência em ohms podem variar 20% acima ou abaixo do valor indicado, sem causar problemas aos circuitos.

A porcentagem de variação entre o valor marcado e o valor real de um resistor é conhecida como "tolerância" de um resistor.

Um resistor codificado para tolerância de 5% não pode ser maior ou menor do que 5% que o valor indicado pelo código de cores.

O código de cores (ver figura 8-38) é constituído de um grupo de cores, números e valores de tolerância. Cada cor é representada por um número e, na maioria dos casos, pelo valor de tolerância.

Quando o código de cores é usado pelo sistema "*end-to-center-band*", o resistor é normalmente marcado com faixas coloridas a partir de uma das extremidades do seu corpo.

A cor do corpo, ou básica do resistor, nada tem a ver com o código de cores e em hipótese alguma indica valor de resistência. Para prevenir confusões, o corpo jamais terá a mesma cor das faixas, indicando valor de resistência.

Quando é utilizado o sistema "*end-to-center band*", o resistor será marcado através de três ou quatro faixas, a primeira faixa de cor (mais próxima à extremidade do resistor) indicará o primeiro dígito no valor numérico de resistência. Esta faixa jamais será de cor dourada ou prateada.

A segunda faixa de cor (figura 8-39) indicará sempre o segundo dígito do valor ôhmico.

Ela nunca será de cor dourada ou prateada. A terceira faixa de cor indica o número de zeros a serem adicionados ao primeiro e segundo dígitos. Exceto nos seguintes casos:

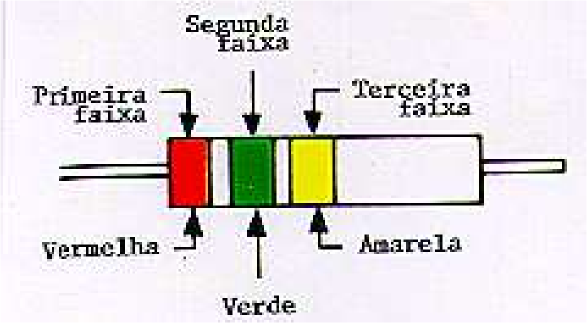

Segunda faixa
Primeira faixa
Terceira faixa
Vermelha
Amarela
Verde

Figura 8-39 Marcação da ponta para o centro.

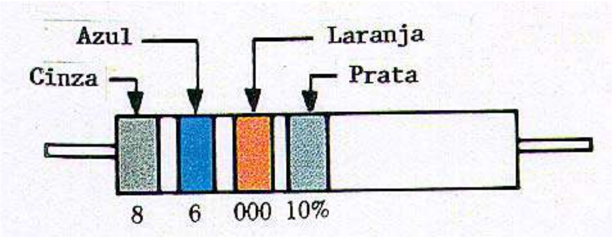

Azul
Laranja
Cinza
Prata
8
6
000
10%

Figura 8-40 Exemplo de código de cores de resistor.

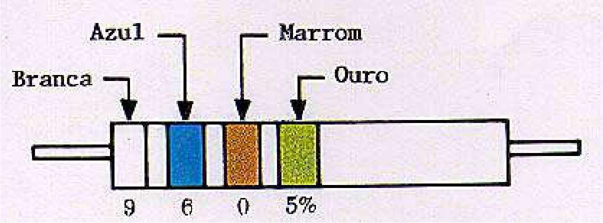

Azul
Marrom
Branca
Ouro
9
6
0
5%

Figura 8-41 Exemplo de código de cores de resistor.

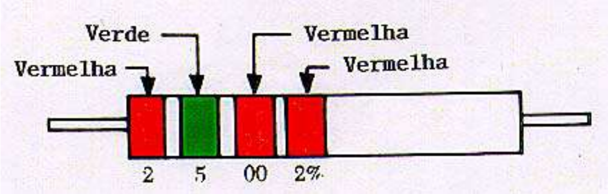

Verde
Vermelha
Vermelha
Vermelha
2
5
00
2%

Figura 8-42 Resistor com 2% de tolerância.

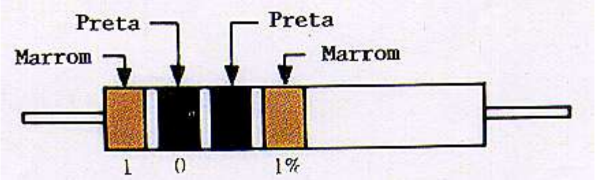

Preta
Preta
Marrom
Marrom
1
0
1%

Figura 8-43 Resistor com a terceira faixa preta.

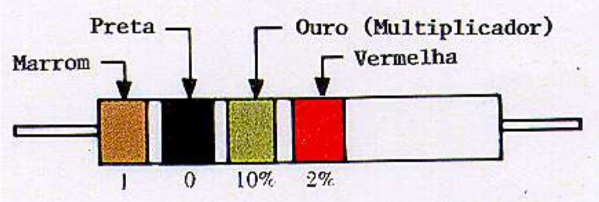

Preta
Ouro (Multiplicador)
Marrom
Vermelha
1
0
10%
2%

Figura 8-44 Resistor com a terceira faixa dourada.

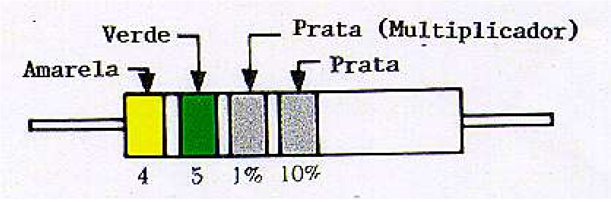

Verde
Prata (Multiplicador)
Amarela
Prata
4
5
1%
10%

Figura 8-45 Resistor com a terceira faixa prateada.

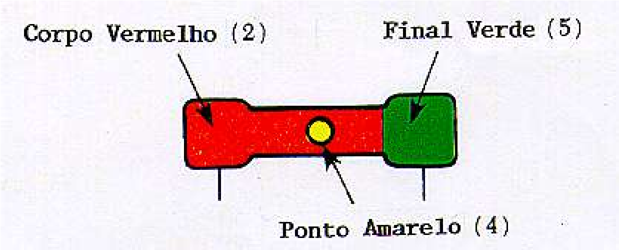

Corpo Vermelho (2)
Final Verde (5)
Ponto Amarelo (4)

Figura 8-46 Resistor codificado pelo sistema "Ponto e cor na ponta".

1. Se a terceira faixa é dourada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 10%.

2. Se a terceira faixa é prateada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 1%.

Se houver uma quarta faixa colorida, ela é usada como multiplicador para percentual de tolerância, conforme indicado na tabela de código de cores da figura 8-38.

Se houver a quarta faixa, a tolerância fica entendida como sendo de 20%.

A figura 8-39 ilustra as regras para leitura do valor de um resistor marcado pelo sistema "*end-to-center band*". Este resistor é marcado com três faixas coloridas, que têm precisam ser lidas no sentido da extremidade para o centro.

Estes são os valores que serão obtidos:

Cor	**Valor Numérico**	**Significação**
1ª faixa-vermelha	2	1º digito
2ª faixa-verde	5	2º digito
3ª faixa-amarela	4	Nº de zeros a adicionar

Não há quarta faixa de cor, logo a tolerância é entendida como sendo de 20%. 20% de 250.000 = 50.000.

Como a tolerância é mais ou menos, resistência máxima = 250.000 + 50.000 = 300.000 ohms; resistência mínima = 250.000 - 50.000 = 200.000 ohms.

A figura 8-40 contém um resistor com outro conjunto de cores, este código de resistor pode ser lido da seguinte forma:

A resistência é de 86.000 ± 10% ohms. A resistência máxima é 94.600 OHMS, e a resistência mínima é 77.400 ohms.

Como um outro exemplo, a resistência ou resistor na figura 8-41 é 960 ± 5% ohms. A resistência máxima é 1.008 ohms, e a resistência mínima é 912 ohms.

Às vezes as necessidades do circuito determinam que a tolerância precisa ser menor do que 20%. A figura 8-42 mostra um exemplo de resistor com 2% de tolerância. O valor de resistência dele é 2.500 ± 2% ohms.

A resistência máxima é 2.550 ohms, e a resistência mínima é 2.450 ohms.

A figura 8-43 contém o exemplo de um resistor com a terceira faixa na cor preta.

O valor numérico correspondente à cor preta é "zero", e a terceira faixa indica a quantidade de zeros a adicionar aos primeiros algarismos.

Neste caso, nenhum zero deve ser adicionado. Então, o valor de resistência é 10 ± 1% ohms.

A resistência máxima e 10,1 ohms e a resistência mínima e 9,9 ohms.

Existem duas exceções para a regra que estabelece a terceira cor, como indicativa da quantidade de zeros, a agregarem-se aos dois primeiros algarismos.

A primeira destas exceções é ilustrada na figura 8-44.

Quando a terceira faixa é dourada, ela indica que os dois primeiros dígitos têm que ser multiplicados por 10%. O valor deste resistor é:

10 x 0,10 ± 2% = 1 ± 0,02 ohms

Quando a terceira faixa é prateada, como é o caso na figura 8-45, os dois primeiros dígitos precisam ser multiplicados por 1%. O valor do resistor é 0,45 ± 10% ohms.

Sistema "*body-end-dot*"

Hoje, este sistema é raramente utilizado. Em poucos exemplos poderá ser explanado. A localização das cores tem o seguinte significado:

Cor do corpo ... 1º dígito do valor ôhmico
Cor da extremidade ... 2º dígito do valor ôhmico
Cor do ponto ... nº de zeros a adicionar

Se apenas uma extremidade do resistor é colorida, isto indica o segundo dígito do valor do resistor, e a tolerância será de 20% .

Os outros dois valores de tolerância são dourado (5%) e prateado (10%).

A extremidade oposta do resistor será colorida para indicar tolerância diferente de 20%.

A figura 8-46 mostra um resistor codificado pelo sistema "*body-end-dot*". Os valores são os seguintes:

Corpo	1º dígito	2
Extremidade	2º dígito	5
Ponto	Nº de zeros	0000 (4)

O valor do resistor é 250.000 ± 20% ohms. A tolerância é entendida como sendo de 20%, porque um segundo ponto não é utilizado.

Se a mesma cor é usada mais de uma vez, o corpo, a extremidade e o ponto podem ser todos da mesma cor, ou apenas dois desses elementos podem ter a mesma cor; mas o código de cores é usado da mesma maneira. Por exemplo, um resistor de 33.000 ohms será inteiramente na cor laranja.

LEI DE OHM

A lei mais importante aplicável ao estudo da eletricidade é a lei de Ohm. Esta lei, que delineia o relacionamento entre voltagem corrente e resistência, em um circuito elétrico, foi estabelecida pelo físico alemão George Simon Ohm (1787-1854).

Ela se aplica a todos os circuitos de corrente contínua, e pode também ser aplicada a circuitos de corrente alternada, de maneira modificada (estudada, adiante, neste texto).

As experiências de Ohm mostraram que o fluxo de corrente num circuito elétrico é diretamente proporcional à intensidade da voltagem aplicada ao circuito. Em outras palavras, esta lei estabelece que o aumento de voltagem corresponde ao aumento de corrente, e à diminuição da voltagem corresponde a diminuição da corrente.

Poderia ser acrescentado que essa relação é verdadeira somente se a resistência no circuito permanece constante, pois, se a resistência muda, a corrente também se modifica.

A lei de Ohm pode ser expressa através da seguinte equação:

$$I = \frac{E}{R}$$

onde "I" é corrente em ampères, "E" é a diferença de potencial medida em volts, e "R" é a resistência medida em ohms (designada pela letra grega ômega, cujo símbolo é Ω).

Se qualquer dupla desses três valores for conhecida, o terceiro valor pode ser obtido por simples transposição algébrica.

O circuito mostrado na figura 8-47 contém uma fonte de força de 24 volts, e uma resistência de 30 OHMS. Se um amperímetro for inserido no circuito, conforme mostrado na figura 8-47, a intensidade da corrente fluindo no circuito pode ser lida diretamente. Admitindo-se que um amperímetro não esteja disponível, a intensidade da corrente pode ser determinada por meio da lei de Ohm, da seguinte forma:

$$I = \frac{E}{R} \qquad I = \frac{24V}{3\Omega} \qquad I = 8 \text{ amperes}$$

Alguns aspectos da figura 8-47, que são típicos de todos os circuitos elétricos apresentados de modo esquemático, deverão ser revistos.

A pressão elétrica, ou diferença de potencial aplicada ao circuito é representada no esquema pelo símbolo de bateria. O sinal negativo é colocado próximo de um lado para indicar o terminal negativo da fonte ou bateria. O lado oposto é marcado com o símbolo +.

Setas são, às vezes, usadas para indicar a direção do fluxo de corrente do terminal negativo através dos fios condutores e outros dispositivos do circuito, para o terminal positivo da fonte.

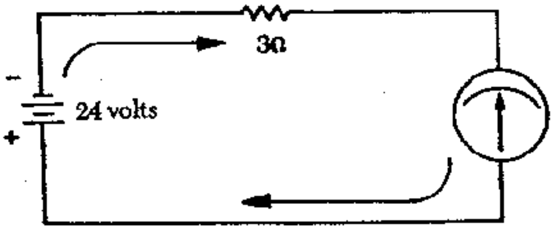


Figura 8-47 Circuito elétrico demonstrando a Lei de Ohm.

A figura 8-48 mostra que os valores da voltagem e da corrente são conhecidos. Para encontrar a quantidade de resistência no circuito, a lei de Ohm pode ser transposta para resolver o valor de "R". Mudando a fórmula básica I = E/R para R = E/I, e substituindo os valores conhecidos na equação, R = 24 volt/ 8 ampères = 3 Ohms, ou 3.

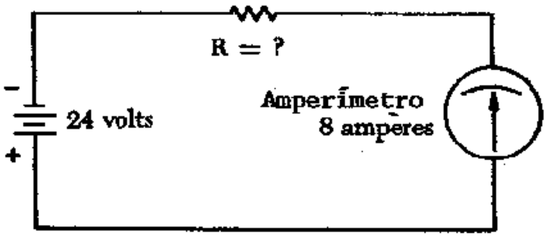


Figura 8-48 Circuito com resistência desconhecida.

A lei de Ohm também pode ser transposta para determinar a voltagem aplicada a um circuito, quando o fluxo de corrente e a resistência são conhecidos, conforme mostrado na figura 8-49.

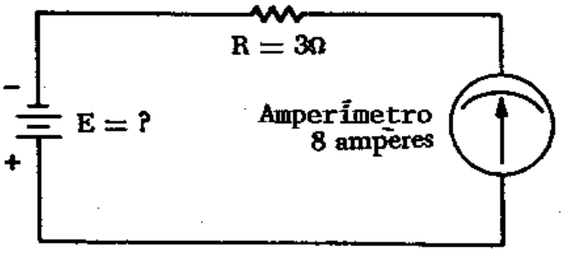


Figura 8-49 Circuito com voltagem desconhecida.

Neste circuito, a quantidade desconhecida da voltagem, é representada pelo símbolo "E". O valor de resistência é 3 ohms e o fluxo de corrente é 8 ampères (a palavra ampères é freqüentemente abreviada como "AMP"). Transpondo a lei de Ohm da sua fórmula básica, a equação para resolver o valor de "E" fica E = IxR.

Substituindo os valores conhecidos na equação, teremos:

$$E = 8 \times 3$$
$$E = 24 \text{ volts ou } 24 \text{ V}$$

A relação entre as várias quantidades do circuito pode ser demonstrada, se a resistência num circuito é considerada constante.

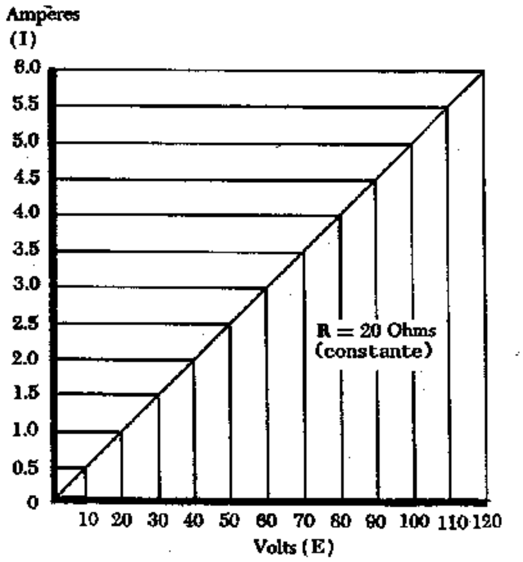


Figura 8-50 Relação entre voltagem e corrente em circuito de resistência constante.

Em tal caso, a corrente aumentará ou diminuirá na direta proporção do aumento ou diminuição da voltagem aplicada ao circuito. Por exemplo, se a voltagem aplicada a um circuito for 120 volts e a resistência for 20 ohms, o fluxo de corrente será 120/20 ou 6 ampères. Se a resistência de 20 ohms permanece constante, um gráfico da relação voltagem-corrente, conforme mostrado na figura 8-50, pode ser traçado.

A relação entre voltagem e corrente, neste exemplo, mostra voltagem plotada horizontalmente ao longo do eixo "X" , em valores de 0 a 120 volts; e os valores correspondentes de corrente são plotados verticalmente, de 0 a 6,0 ampères ao longo do eixo "Y".

$$\text{Corrente} = \frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Resistência}}$$

$$I = \frac{E}{R} \qquad \text{Ampères} = \frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$$

$$\text{Resistência} = \frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Corrente}}$$

$$R = \frac{E}{I} \qquad \text{Ohms} = \frac{\text{Volts}}{\text{Ampères}}$$

$$\text{Força eletromotriz} = \text{Resistência} \times \text{Corrente}$$

$$E = IR \qquad \text{Volts} = \text{ampères} \times \text{ohms}$$

Figura 8-51 Lei de Ohm.

A reta traçada através de todos os pontos, onde as linhas de voltagem e corrente se encontram, representa a equação = E/20, e é chamada de relação linear. A constante 20 representa a resistência que se arbitrou não mudar neste exemplo.

Este gráfico representa uma importante característica da lei básica, ou seja, que a corrente varia diretamente com a voltagem aplicada, se a resistência se mantém constante.

As equações básicas derivadas da lei de Ohm são resumidas, juntamente com as unidades de medida do circuito, na figura 8-51.

As várias equações que podem ser derivadas pela transposição da lei básica podem ser facilmente obtidas pelo uso dos triângulos na figura 8-52.

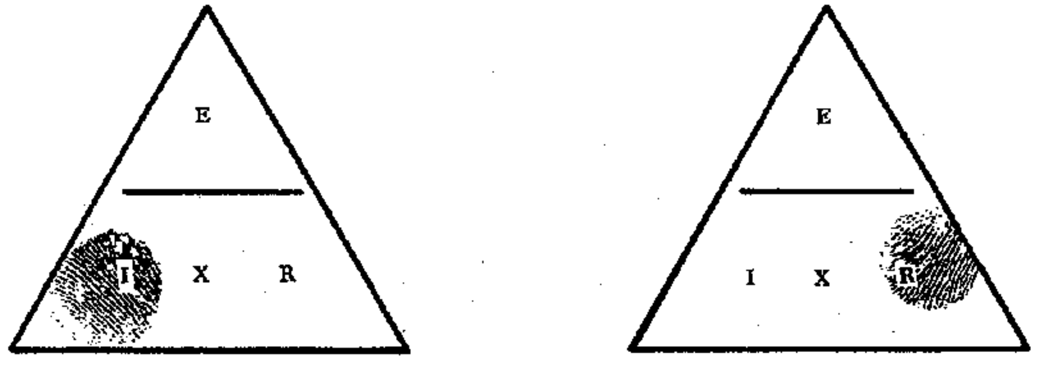
Os triângulos contendo “E”, “I” e “R” são divididos em duas partes, com “E” acima da linha e I x R abaixo dela.

Para determinar uma quantidade desconhecida do circuito, quando as outras duas são conhecidas, cobre-se a quantidade desconhecida com o polegar. A localização das letras que permanecem descobertas no triângulo indicará a operação matemática a ser efetuada. Por exemplo, para encontrar “I”, com referência a (A) da figura 8-52, basta cobrir “I” com o polegar. As letras descobertas indicam a divisão de “E” por “R”, ou I = E/R. Para encontrar “R”, conforme (B) da figura 8-52, é só cobrir “R” com o polegar. O resultado indica que “E” deve ser dividido por “I”, ou R = E/I.

Para encontrar “E”, com referência a (C) da figura 8-52, é só cobrir “E” com o polegar.

O resultado indica a multiplicação de “I” por “R”, ou E = I x R.

Este gráfico é útil para iniciantes no uso da lei de Ohm.

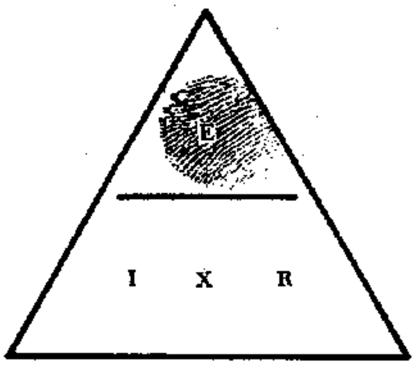


Para encontrar"I"(ampères)coloque o polegar sobre o "I" e divida "E" por "R" como indicado.

(a)

Para encontrar "R"(ohm) coloque o polegar sobre "R" e divida como indicado.

(b)



Para encontrar "E" (volt) coloque o polegar sobre "E" e multiplique como indicado.

(c)

E = volts I = ampères R = ohms

Figura 8-52 Gráfico da Lei de Ohm.

Potência elétrica

Juntamente com o volt, ampère e ohm, existe uma outra unidade freqüentemente usada em cálculos de circuitos elétricos, é a unidade de potência elétrica. A unidade empregada para medir potência em circuitos de corrente contínua é o watt. A potência é definida como a razão com que um trabalho é efetuado, e é igual ao produto da voltagem e corrente, num circuito de corrente contínua.

Quando a corrente em ampères (I) é multiplicada pela f.e.m em volts (E), o resultado é a potência, medida em watts (P). Isto indica que a potência elétrica atribuída a um circuito varia diretamente com a voltagem aplicada e a corrente fluindo no circuito. Expressa como uma equação, fica assim: P = IE

Esta equação pode ser transposta para determinar qualquer dos três elementos do circuito, desde que os outros dois sejam conhecidos. Desta forma, se a potência elétrica é lida diretamente em um wattímetro e a voltagem é medida com um voltímetro, a intensidade da corrente (I) fluindo no circuito pode ser determinada pela transposição da equação básica para

$$I = \frac{P}{E}$$

Similarmente, a voltagem (E) pode ser encontrada pela transposição da fórmula básica para E = P/I. Como alguns dos valores usados para determinar a potência distribuída em um circuito são os mesmos usados na lei de Ohm, é possível substituir os valores da lei de Ohm por valores equivalentes na fórmula de potência elétrica. Na lei de Ohm, I = E/R. Se o valor E/R é substituído por I, na fórmula de potência, fica

$$P = I \text{ x } E;\ P = E \text{ X } \frac{E}{R};\ \text{ou } P = \frac{E^2}{R}$$

Esta equação, $P = E^2/R$, ilustra que a potência elétrica em watts, distribuída por um circuito, varia diretamente com o quadrado da voltagem aplicada, e inversamente com a resistência do circuito.

O watt é nomenclatura proveniente de James Watt, o inventor do motor a vapor.

Watt concebeu uma experiência para medir a força de um cavalo, com o propósito de encontrar um meio de medir a potência de seu motor a vapor. Um cavalo-vapor é necessário para mover 33.000 libras, num espaço de 1 pé, em 1 minuto.

Como potência é a razão de trabalho realizado, é equivalente ao trabalho dividido pelo tempo. Daí a fórmula:

$$P = \frac{33.000 \text{ lb / pes}}{60\text{s (1min)}} \quad \text{ou } P = 550 \text{ lb/pés/s}$$

A potência elétrica pode ser avaliada de maneira similar. Por exemplo, um motor elétrico especificado como sendo de 1 Hp, corresponde a 746 watts de energia elétrica. Entretanto, o watt é uma unidade de força relativamente pequena.

O kilowatt, que é mais comum, é igual a 1000 watts.

Na medição de quantidade de energia elétrica consumida é usado o kilowatt/hora.

Por exemplo, se uma lâmpada de 100 watts consome energia por 20 horas, ela usou 2.000 watts/hora, ou 2 kilowatts/hora de energia elétrica.

A potência elétrica, que é perdida na forma de calor quando a corrente flui através de algum dispositivo elétrico, é freqüentemente chamada de potência dissipada (perdida).

Tal calor é normalmente dissipado no ar, ao redor, e não tem nenhuma utilidade, exceto quando usado para aquecimento.

Como todos os condutores possuem alguma resistência, os circuitos são projetados para reduzir essas perdas.

Com referência, de novo, à fórmula básica de potência elétrica, P = I x E, é possível substituir os valores da lei de Ohm por “E”, na fórmula de potência, para obter a formulação que reflete diretamente as perdas de potência em uma resistência.

$$P = I \text{ x } E;\ E = I \text{ x } R$$

Substituindo o valor da lei de Ohm por “E” (I x E), na fórmula de potência,

$$P = I \text{ x } I \text{ x } R$$

Simplificando, teremos:

$$P = I^2 R$$

Desta equação, pode ser visto que a potência em watts num circuito varia de acordo com o quadrado da corrente (I), e diretamente com a resistência do circuito (Ω).

Finalmente, a potência distribuída por um circuito pode ser expressa como uma junção de corrente e resistência, por transposição da equação de potência $P = I^2 R$, logo,

$$I^2 = \frac{P}{R}$$

e, extraindo a raiz quadrada na equação O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fechada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves, mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas. $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

Assim, a corrente relativa a 500 watts, com carga (resistência) de 100 ohms é a seguinte:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \frac{500}{100} = 2.24 \text{ ampères.}$$

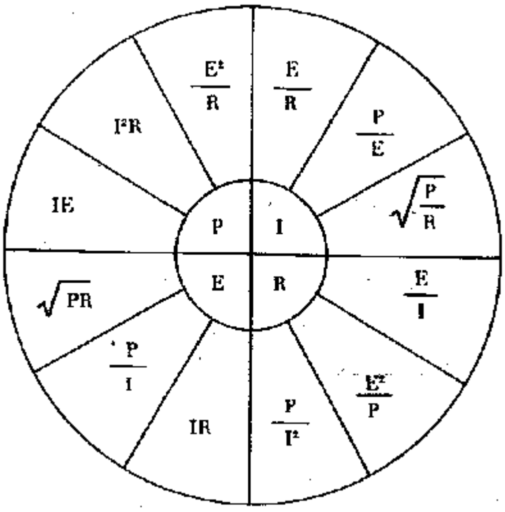


Figura 8-53 Resumo das equações básicas usando volts, ampères, Ohms e watts.

As equações derivadas da Lei de Ohm e a fórmula básica de potência elétrica não revelam tudo a respeito do comportamento de circuitos. Elas apenas indicam a relação numérica entre o volt, ampère, ohm e watt.

A figura 8-53 apresenta um resumo de todas as transposições possíveis dessas fórmulas, em um círculo com 12 segmentos.

CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA EM SÉRIE

O circuito em série é o mais elementar dos circuitos elétricos. Todos os demais tipos de circuitos são elaborações ou combinações de circuito em série. A figura 8-54 é um exemplo de um circuito em série simples, e é um circuito porque proporciona um caminho completo para o fluxo do terminal negativo para o positivo da bateria. É um circuito em série porque existe caminho único para a corrente fluir, conforme indicam as setas mostrando a direção do movimento de elétrons.

Também é chamado de circuito em série, porque a corrente tem que passar através dos componentes (a bateria e o resistor), um depois do outro, ou "em série".

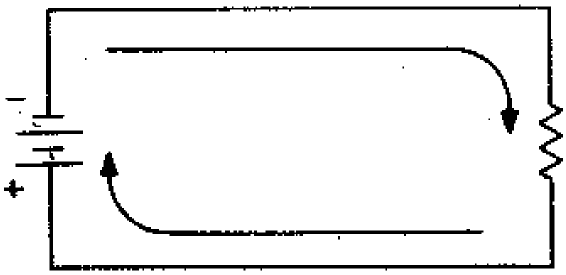


Figura 8-54 Circuito em série.

O circuito mostrado na figura 8-55 contém os componentes básicos requeridos por qualquer circuito: uma fonte de força (bateria), uma carga ou resistência limitadora de corrente (resistor) e um condutor (fio).

A maioria dos circuitos práticos contém no mínimo dois outros itens: um dispositivo de controle (interruptor) e um dispositivo de segurança (fusível).

Com todos os cinco componentes no circuito, este apareceria conforme mostrado na figura 8-55, que é um circuito em série de corrente contínua.

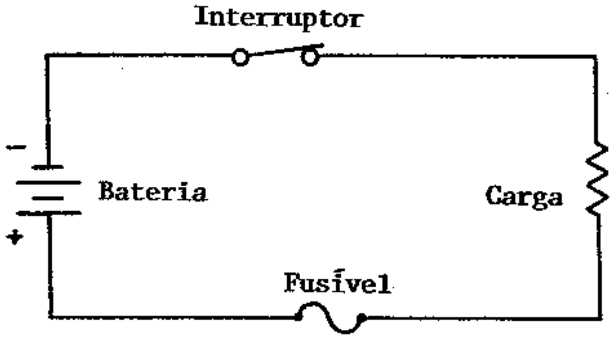


Figura 8-55 Circuito DC em série.

Num circuito de corrente-contínua, a corrente flui em uma direção, do terminal negativo da bateria através do interruptor (que precisa estar fechado), percorrendo a resistência de carga e o fusível, chegando à bateria, novamente, através do terminal positivo.

Para discutir o comportamento da corrente elétrica num circuito em série de corrente contínua, a figura 8-56 foi redesenhada na figura 8-57, agora incluindo três amperímetros e dois resistores. Como o amperímetro mede a intensidade do fluxo de corrente, três são colocados ao longo do circuito para medição em pontos distintos.

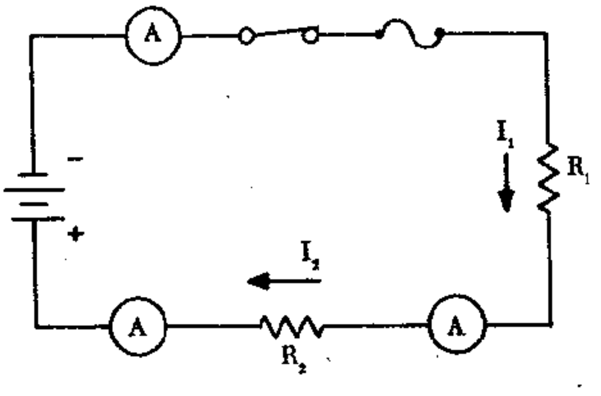


Figura 8-56 Fluxo de corrente em um circuito em série.

Com o interruptor fechado para completar o circuito, todos os três amperímetros indicarão a mesma intensidade de corrente. Esta é uma importante característica de todos os circuitos em série: não importa quantos componentes sejam incluídos no circuito em série, a corrente será a mesma em qualquer ponto do circuito. Embora seja verdade que um aumento na quantidade de componentes de um circuito aumentará a resistência para o fluxo de corrente, ainda assim, o valor da corrente fluindo pelo circuito será o mesmo em todos os pontos.

Na figura 8-56, a corrente através do resistor R_1 é chamada de I_1 e a corrente através de resistor R_2 é chamada de I_2. Se a corrente total no circuito é I_T, a fórmula demonstrando o fluxo de corrente é:

$$I_T = I_1 = I_2$$

Se o número de resistores é aumentado por cinco, a fórmula será:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

Sem indicar a quantidade de corrente fluindo, será sempre verdadeiro que a corrente, através de qualquer resistor, será a mesma que fluirá através de qualquer dos outros resistores.

A figura 8-57 é um circuito em série contendo duas resistências. Para determinar a quantidade de fluxo de corrente neste circuito é necessário saber o valor da resistência ou oposição ao fluxo. Assim, a segunda característica dos circuitos em série é: a resistência total num circuito em série é a soma de cada uma das resistências do circuito. Mostrada como fórmula, fica:

$$R_T = R_1 + R_2$$

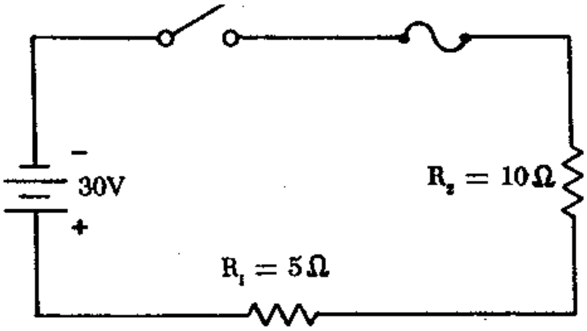


Figura 8-57 Circuito em série com dois resistores.

Na figura 8-57, temos o seguinte:

$$R_T = R_1\ (5\ \Omega) + R_2\ (10\ \Omega), \text{ ou}$$
$$R_T = 5 + 10 = 15\ \Omega$$

A resistência total do circuito na figura 8-57 é de 15 ohms. É importante lembrar que se o circuito fosse alterado com a inclusão de 10, 20 ou mesmo 100 resistores, a resistência total ainda seria a soma de todas as resistências separadas.

Também é verdadeiro que há uma certa resistência interna na própria bateria, bem como, no fusível e na chave (interruptor). Estes pequenos valores de resistência não serão considerados na determinação dos valores de fluxo de corrente num circuito.

A fórmula da lei de ohm para encontrar a corrente é I = E/R. Sendo a voltagem da bateria de 30 volts e a resistência total do circuito 15 ohms, a equação fica:

$$I = \frac{30V}{15\Omega} = 2 \text{ amperes}$$

O fluxo de corrente é de 2 ampères (às vezes a palavra ampères é abeviada por amp) e o valor da corrente é o mesmo em toda parte do circuito.

Para avaliar que efeito uma mudança na resistência terá sobre o fluxo de corrente quando a voltagem permanece constante, a resistência total é duplicada para 30 ohms, usando a lei de Ohm.

Pode ser visto que a corrente será reduzida para a metade do seu valor quando a resistência for dobrada. Por outro lado, se a voltagem permanece constante e a resistência for reduzida à metade do seu valor, a corrente dobrará o seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{30V}{7{,}5W} = 4 \text{ amperes}$$

Desta forma, se a voltagem permanece constante e a resistência aumenta, a corrente diminui. Contrariamente, se a resistência diminui, a corrente aumenta.

Contudo, se a resistência é considerada constante e a voltagem é duplicada, o fluxo de corrente dobrará o seu valor original.

Se a voltagem aplicada ao circuito na figura 8-58 é dobrada para 60 volts, e o valor original de resistência é mantido em 15 ohms.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{60V}{15W} = 4 \text{ amperes}$$

Se a voltagem é reduzida para a metade do seu valor original, com resistência constante, a corrente diminuirá para a metade do seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{15V}{15W} = 1 \text{ amp}$$

Assim, se a resistência permanece constante e a voltagem aumenta, a corrente também aumenta. Se a voltagem diminui, a corrente diminui também.

É importante fazer a distinção entre os termos "voltagem" e "queda de voltagem", na discussão sobre circuitos em série.

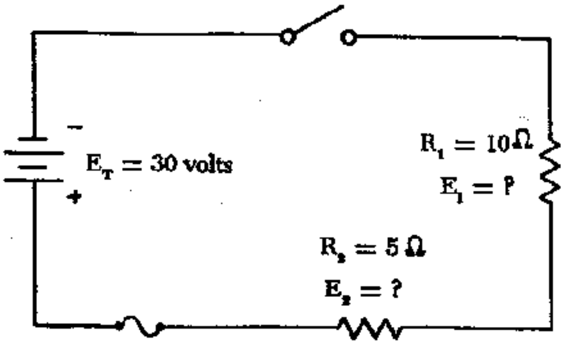


Figura 8-58 Queda de voltagem em um circuito.

Queda de voltagem refere-se à perda de pressão elétrica causada pelo forçamento de elétrons através de resistência. Na figura 8-58 a voltagem aplicada (bateria) é 30 volts e é chamada de E_T .

Havendo duas resistências no circuito, haverá duas diferentes quedas de voltagem, que serão a perda na pressão elétrica empregada para forçar os elétrons através das resistências. A quantidade de pressão elétrica necessária para forçar um dado número de elétrons através de resistência é proporcional à quantidade da resistência.

Assim sendo, a queda da voltagem cruzando R_1 será o dobro da observada em R_2, já que R_1 tem duas vezes o valor de resistência de R_2. A queda através de R_1é chamada de E, e através de R_2 é E_2. A corrente I é a mesma através de todo o circuito.

Usando:

$E = IR$	$E_2 = IR_2$
$E_1 = IR_1$	$E_2 = 2a \times 5$
$E_1 = 2a \times 10$	$E_2 = 10v$
$E_1 = 20v$	

Se as quedas de voltagem (usadas) através de dois resistores são somadas (10V + 20V), um valor igual à voltagem aplicada, 30 volts, é obtido. Isto confirma a fórmula básica para circuito em série: $E_T = E_1 + E_2$

Em qualquer circuito em série de corrente contínua, uma quantidade desconhecida como voltagem, resistência ou corrente pode ser calculada por meio da lei de ohm, se as outras duas quantidades forem conhecidas. A figura 8-59 é um circuito em série contendo três valores de resistência conhecidos, e uma voltagem aplicada de 150 volts. Usando estes valores, as quantidades desconhecidas podem ser determinadas aplicando-se a lei de Ohm, da seguinte forma:

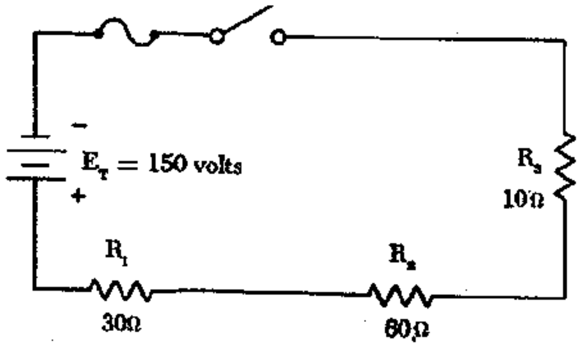


Figura 8-59 Aplicação da Lei de Ohm.

R_1 =	30 Ω
R_2 =	60 Ω
R_3 =	10 Ω
R_T =	-----
I_T =	-----
E_{R1} =	-----
E_{R2} =	-----
E_{R3} =	-----

Resistência total:

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \;=\; 30 + 60 + 10 = 100\ \Omega$

Corrente total:

$$I_T = \frac{ET}{RT} = \frac{150V}{100W} = 1{,}5amp$$

Quedas de voltagem:

E =	IR
E_{R1} =	I_Tx R_1
=	1.5 amps x 30
=	45V
E_{R2} =	I_Tx R_2
=	1.5 amps x 60
=	90V
E_{R3} =	I_Tx R_3
=	1.5 amps x 10
=	15V

Estes valores de quedas de voltagem seriam iguais à voltagem aplicada?

E_T =	$E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}$
E_T =	150V
150V =	45V +90V + 15V

A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada.

Leis de Kirchhoff

Em 1847, um físico alemão, G.R. Kirchhoff, em considerações sobre a lei de 0hm, desenvolveu duas afirmações que são conhecidas como leis de Kirchhoff, para corrente e voltagem.

O conhecimento destas leis habilita o técnico de aeronaves em melhor compreensão do comportamento da eletricidade. Utilizando as leis de Kirchhoff é possível encontrar: (1) A corrente em cada parte de um circuito com vários segmentos, tanto a resistência quanto a força eletromotriz são conhecidas em cada segmento; ou (2) a força eletromotriz em cada parte quando a resistência e a corrente em cada braço são conhecidas. Estas leis estão estabelecidas assim:

Lei da corrente - a soma algébrica das correntes em qualquer conexão de condutores em um circuito é zero. Isto significa que a quantidade de corrente fluindo de um ponto num circuito, é igual a quantidade fluindo para o mesmo ponto.

Lei da voltagem - a soma algébrica da voltagem aplicada e a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é zero, o que significa que a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é igual à voltagem aplicada.

Ao aplicarmos as leis de Kirchhoff, usamos os seguintes procedimentos para simplificar o trabalho:

1. Quando a direção de corrente não é aparente, supor a direção do fluxo. Se a suposição estiver errada, a resposta estará numericamente correta, mas precedida por um sinal negativo.

2. Colocar marcações de polaridade (sinais de mais e menos) sobre todos os resistores e baterias existentes no circuito que está sendo resolvido. A direção suposta do fluxo de corrente não afetará as polaridades das baterias, mas afetará a polaridade da queda de voltagem nos resistores, logo, a queda de voltagem deve ser marcada de modo que a extremidade do resistor que recebe o fluxo é negativa, e a outra extremidade que o fluxo de corrente deixa é positiva.

Nas colocações sobre as leis de Kirchhoff, o termo soma algébrica foi empregado. Uma soma algébrica difere de uma soma aritmética, já que ambos, a magnitude e o sinal de cada número, precisam ser considerados.

Nos circuitos elétricos a queda de voltagem ocorre quando a corrente flui através de um resistor. A magnitude da voltagem é determinada pelo valor do resistor e a quantidade de fluxo de corrente.

A polaridade (sinal) da queda de voltagem é determinada pela direção de fluxo de corrente. Por exemplo, observando as polaridades da força eletromotriz aplicada (f.e.m.) e a queda de voltagem, são observados conforme mostrado na figura 8-60.

A F.E.M. aplicada provoca o fluxo de elétrons através da oposição oferecida pelas resistências.

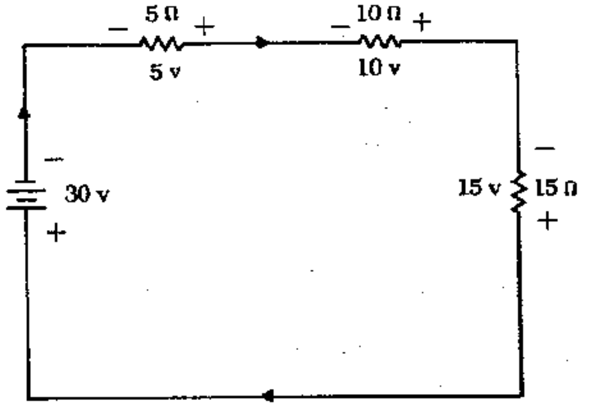


Figura 8-60 Polaridade da queda de voltagem.

A queda de voltagem de um lado a outro em cada resistência é consequentemente oposta em polaridade a da F.E.M. aplicada. Observa-se que o lado de cada resistor, onde a corrente entra é assinalado como negativo.

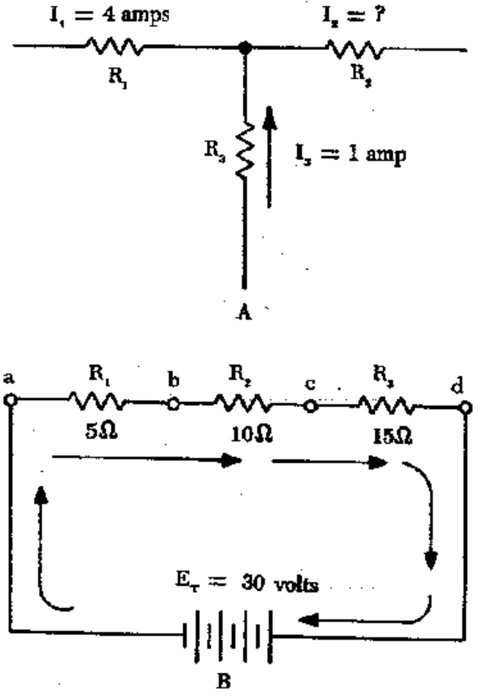


Figura 8-61 Circuito demonstrando a Lei de Kirchhoff: (A) lei da corrente e (B) lei da voltagem.

A figura 8-61 (A) mostra uma parte de um circuito que ilustra a lei da corrente de Kirchhoff.

A corrente, fluindo através do resistor R_1 tem uma intensidade de quatro ampères; fluindo através de resistor R_3 tem uma magnitude de um ampère, e está fluindo através da mesma junção que a corrente através de R_1.

Usando a lei da corrente de Kirchhoff, é possível determinar quanta corrente está fluindo através de R_2 ,e se está fluindo para ou da junção comum. Isto é expresso na forma de equação como:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Substituindo os valores de corrente na equação, fica:

$4 + I_2 + (-1)$	$= 0$
I_2	$= 1 + 4$
I_2	$= 5$
$-4 + (-1) + 5$	$= 0$

A lei da corrente de Kirchhoff encontra uma aplicação mais ampla nos mais complexos circuitos em paralelo ou série-paralelo.

A figura 8-61 (B) é um circuito de corrente contínua em série, que está sendo usado para demonstrar a lei da voltagem de Kirchhoff. A resistência total é a soma de R_1, R_2 e R_3, igual a 30 ohms. Sendo a voltagem aplicada 30 volts, a corrente fluindo no circuito é de 1 ampère. Então, as quedas de voltagem através de R_1, R_2 e R_3 são 5 volts, 10 volts e 15 volts, respectivamente. A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada, 30 volts.

Este circuito também pode ser resolvido, usando-se as polaridades das voltagens e mostrando que a soma algébrica das voltagens é zero. Quando trocando o fluxo de corrente, se o sinal (+) for encontrado primeiro, considerar as voltagens positivas; se for (-) considerar negativas. Partindo da bateria e indo na direção do fluxo de corrente (conforme indicado pelas setas) a seguinte equação pode ser formada:

Voltagem Total $(E_T) = +30-5-10-15$

$$E_T = 0$$

O ponto de início e a polaridade, no circuito, são arbitrários, é uma questão de escolher para cada circuito.

CIRCUITO DE CORRENTE CONTÍNUA EM PARALELO

Um circuito em que duas ou mais resistências elétricas, ou cargas, são conectadas através da mesma fonte de voltagem é um circuito em paralelo, desde que exista mais de um caminho para o fluxo de corrente - quanto maior a quantidade de caminhos paralelos, menor oposição para o fluxo de elétrons da fonte se observará.

Num circuito em série, a adição de resistências aumenta a oposição ao fluxo de corrente. Os requisitos mínimos para um circuito em paralelo são os seguintes:

1. uma fonte de força.
2. condutores.
3. uma resistência ou carga para cada caminho da corrente.
4. dois ou mais caminhos para o fluxo de corrente.

A figura 8-62 mostra um circuito em paralelo com três caminhos para o fluxo de corrente. Os pontos A, B, C e D são conectados ao mesmo condutor e ao mesmo potencial elétrico.

De um modo similar, os pontos E, F, G e H estão ligados à mesma fonte. Desde que a voltagem aplicada apareça entre os pontos A e E, a mesma voltagem estaria aplicada entre os pontos B e F, C e G e D e H.

Daí, quando os resistores são conectados em paralelo através da mesma fonte de voltagem, cada resistor tem a mesma voltagem aplicada, entretanto as correntes através dos resistores podem diferir entre si, dependendo dos valores dos resistores. A voltagem num circuito em paralelo pode ser expressa da seguinte forma: $E_T = E_1 = E_2 = E_3$ onde E_T é a voltagem aplicada, E_1 é a voltagem através de R_1 , E_2 é a voltagem através de R_2e E_3 é a voltagem através de R_3 . (Figura 8-62).

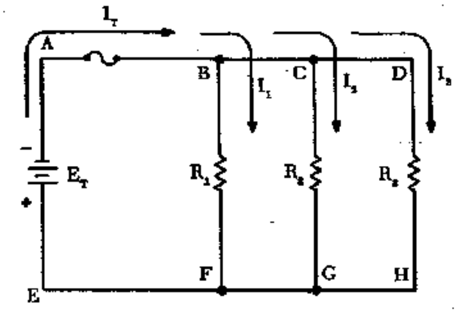


Figura 8-62 Circuito em paralelo.

A corrente num circuito em paralelo divide-se entre as várias derivações, de modo que dependa da resistência encontrada em cada uma delas (ver figura 8-63).

A ramificação contendo um menor valor de resistência terá um maior fluxo de corrente do que uma outra onde se encontre uma resistência maior.

A lei da corrente de Kirchhoff estabelece que a corrente fluindo em direção a um ponto é igual à corrente fluindo deste mesmo ponto em diante. Então, o fluxo de corrente num circuito pode ser expresso matematicamente assim:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

onde I_T é a corrente total e I_1 , I_2 , I_3 são as correntes através de R_1 , R_2 , R_3, respectivamente.

A lei de Kirchhoff e a de Ohm podem ser aplicadas para achar o fluxo total de corrente no circuito mostrado na figura 8-63.

O fluxo de corrente através do braço contendo a resistência R_1 é:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{15} = 0{,}4 \text{ amps}$$

A corrente através de R_2 é

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6}{25} = 0{,}24 amps \text{ amps}$$

A corrente através de R_3 é

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{6}{12} = 0{,}5 \text{ amps}$$

A corrente total, I_T, é

$I_T = I_1 + I_2 + I_3$

$I_T + 0{,}4$ amps + 0,24 amps + 0,5 amps

$I_T = 1{,}14$ amps

Num circuito em paralelo, $I_T = I_1 + I_2 + I_3$. Pela lei de Ohm, as seguintes equações podem ser obtidas:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T}, I_1 = \frac{E_1}{R_1}, I_2 = \frac{E_2}{R_2} e I_3 = \frac{E_3}{R_3}$$

Substituindo estes valores na equação para corrente total:

$$\frac{E_T}{R_T} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

Num circuito em paralelo $E_T = E_1 = E_2 = E_3$. Conseqüentemente:

$$\frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Dividindo tudo por E, temos:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Essa equação é a fórmula recíproca para encontrar a resistência total ou equivalente de um circuito em paralelo. Resolvendo para R_T, é uma outra maneira de derivar a equação.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Uma análise da equação para resistência total em um circuito em paralelo mostra que R_T é sempre menor do que a menor resistência num circuito em paralelo. Assim, um resistor de 10 ohms, um de 20 ohms e um de 40 ohms conectados em paralelo têm a resistência total inferior a 10 ohms. Se existirem apenas dois resistores num circuito em paralelo, a fórmula recíproca é:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Simplificando, fica:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

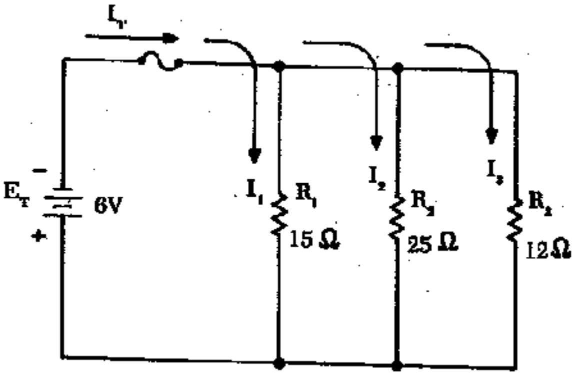


Figura 8-63 Fluxo de corrente no circuito em paralelo.

Essa fórmula simplificada pode ser utilizada quando duas resistências estão em paralelo. Um outro método pode ser empregado para qualquer número de resistores em paralelo, se seus valores forem iguais entre si. O valor de um resistor é dividido pela quantidade de resistores em paralelo para determinar a resistência total. Em expressão matemática, fica:

$$R_T = \frac{R}{N}$$

Onde R_T é a resistência total, R é resistência de um resistor, e N é o número de resistores.

CIRCUITOS EM SÉRIE-PARALELO

A maior parte dos circuitos em equipamentos elétricos são circuitos em série ou em paralelo.

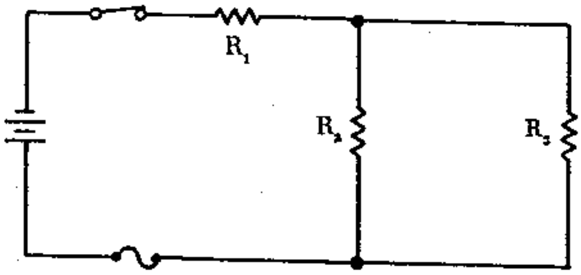


Figura 8-64 Circuito em série-paralelo.

São, normalmente, circuitos combinados, isto é, em série-paralelo, o que consiste em grupos de resistores em paralelo conectados em série com outros resistores. A figura 8-64 mostra um exemplo deste tipo de circuito.

Os requisitos para um circuito em série-paralelo são os seguintes:

1. fonte de força (bateria)
2. condutores (fios)
3. carga (resistências)
4. mais de um caminho para o fluxo de corrente
5. um controle (interruptor)
6. dispositivo de segurança (fusível)

Embora os circuitos em série-paralelo possam parecer extremamente complexos, a mesma regra usada para circuitos em série e paralelo pode ser empregadas para simplificá-los e resolvê-los. O método mais fácil de lidar com circuito em série-paralelo é separá-lo, redesenhando as partes como circuitos equivalentes. O circuito na figura 8-65 é um exemplo de um circuito simples em série-paralelo que pode ser redesenhado para ilustrar esse procedimento.

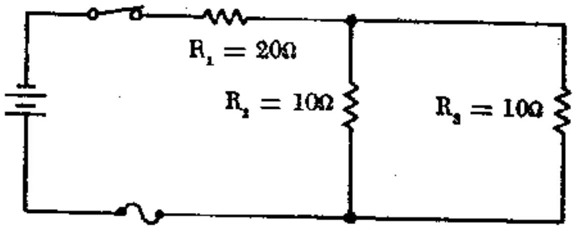

$R_1 = 20\Omega$
$R_2 = 10\Omega$
$R_3 = 10\Omega$

Figura 8-65 Circuito em série-paralelo simples.

Nesse circuito, a mesma voltagem é aplicada em R_2 e R_3; logo elas estão em paralelo. A resistência equivalente a esses dois resistores é igual a resistência de um resistor dividida pelo número de resistores em paralelo.

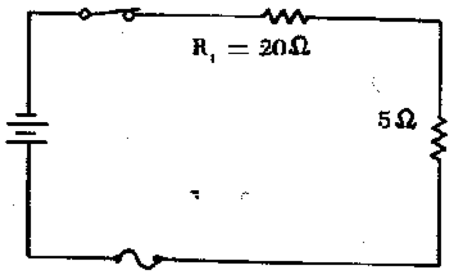

$R_1 = 20\Omega$
5Ω

Figura 8-66 Circuito em série-paralelo redesenhado.

Isto só é verdadeiro quando os resistores em paralelo têm o mesmo valor ôhmico. Se esta regra é aplicada, o circuito pode ser redesenhado, como mostrado na figura 8-66.

Dessa maneira, o circuito em série-paralelo original foi convertido em um simples circuito em série contendo duas resistências. Para simplificar mais ainda o circuito, as duas resistências em série podem ser somadas e o circuito poderá ser redesenhado, conforme mostrado na figura 8-67.

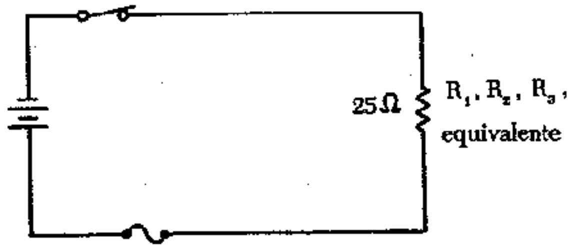

25Ω
R_1, R_2, R_3, equivalente

Figura 8-67 Circuito em série-paralelo equivalente.

Apesar do circuito não precisar ser redesenhado (figura 8-67), já que os cálculos poderiam ser feitos mentalmente, esse circuito ilustra claramente que um resistor de 25 ohms é equivalente aos três resistores do circuito original. A figura 8-68 contém um circuito em série-paralelo mais complexo.

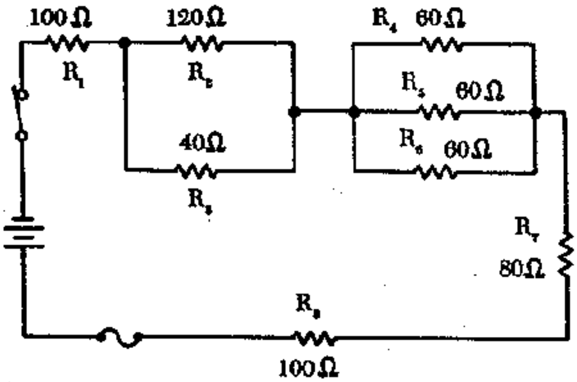

100Ω
R_1
120Ω
R_2
40Ω
R_3
R_4 60Ω
R_5 60Ω
R_6 60Ω
R_7
80Ω
R_8
100Ω

Figura 8-68 Circuito em série-paralelo mais complexo.

O primeiro passo para simplificar esse circuito é reduzir cada grupo de resistores em paralelo em um único resistor equivalente. O primeiro grupo é a combinação em paralelo de R_2 e R_3.

Como esses resistores têm valores desiguais de resistência, a fórmula para dois resistores em paralelo é usada:

$$R_a = \frac{R_2R_3}{R_2+R_3} = \frac{120x40}{120+40} = \frac{4800}{160} = 30\Omega$$

Assim, a combinação em paralelo de R_2 e R_3 pode ser apresentada por um único resistor de 30Ω, conforme mostrado na figura 8-69

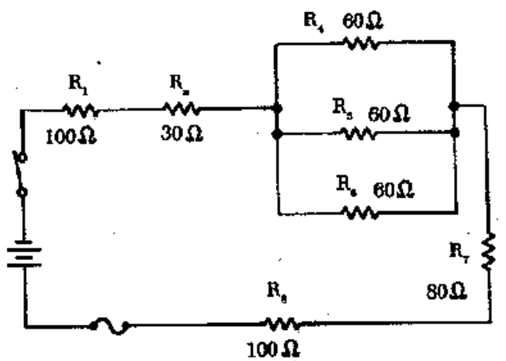

R_4 60Ω
R_1
100Ω
R_a
30Ω
R_5 60Ω
R_6 60Ω
R_7
80Ω
R_8
100Ω

Figura 8-69 Circuito em série-paralelo com um resistor equivalente.

Em seguida, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_4, R_5 e R_6 pode ser determinada, usando-se a fórmula $R_b = R/N$:

onde, R_b é a resistência equivalente à R_4, R_5 e R_6, R é o valor de um dos resistores e N é o número de resistores em paralelo.

$$R_b = \frac{R}{N} = \frac{60}{3} = 20\Omega$$

A combinação em paralelo de R_4, R_5 e R_6 pode então ser redesenhada como um simples resistor de 20 Ω, conforme mostrado na figura 8-70.

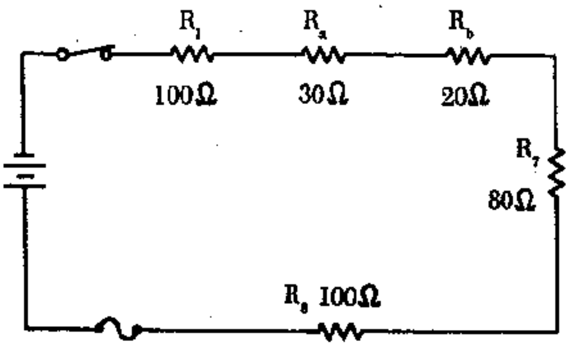


Figura 8-70 Circuito equivalente a série-paralelo.

O circuito original em série-paralelo foi então substituído pelo circuito em série equivalente. Esse circuito poderia ser redesenhado novamente substituindo-se os cinco resistores em série por um resistor de 330 ohms.

Isto pode ser demonstrado, usando-se a fórmula de resistência total para circuitos em série:

$$R_T = R_1 + R_a + R_b + R_7 + R_8 = 100 + 30 + 20 + 80 + 100 = 330 \text{ ohms}.$$

O primeiro circuito em série-paralelo usado é redesenhado para discutir-se o comportamento do fluxo de corrente (figura 8-71).

Ao contrário do circuito em paralelo, os braços de corrente I_1 e I_2 não podem ser estabelecidos, usando-se a voltagem aplicada. Como R_1 está em série com a combinação de R_2 R_3,houve queda parcial da voltagem aplicada através de R_1.

Para obter as correntes dos braços, a resistência total e a corrente total precisam ser encontradas primeiro. Como R_2 e R_3 são resistências iguais:

$$R_{\text{equiv.}} = \frac{R}{N} = \frac{14}{2} = 7\Omega$$

A resistência total é:

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_{\text{equiv}} \\ &= 21\Omega + 7\Omega \\ &= 28\Omega \end{aligned}$$

Usando a lei de Ohm, a corrente total é:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{28 \text{ V}}{28\ \Omega} = 1 \text{ amp ère}$$

A corrente total de 1 ampère flui através de R_1 e divide-se no ponto “A”, com parte da corrente fluindo através de R_2 e outra parte através de R_3.

Como R_2 e R_3 têm tamanhos iguais, é obvio que a metade de corrente total, ou 0,5 amps, fluirá através de cada ramificação.

As quedas de voltagem no circuito são determinadas por meio da lei de Ohm:

$E = IR$
$E_{R1} = I_T R_1 = 1 \text{ x } 21 = 21$ volts
$E = IR$
$E_{R2} = I_1 R_2 = 0{,}5 \text{ x } 14 = 7$ volts
$E = IR$
$E_{R3} = I_2 R_3 = 0{,}5 \text{ x } 14 = 7$ volts

As quedas de voltagem em resistores em paralelo são sempre iguais.

Convém lembrar que quando a voltagem é mantida constante e a resistência de qualquer resistor em circuito série-paralelo é aumentada, a corrente total diminuirá.

Não se deve confundir isto com a adição de um novo resistor numa combinação em paralelo, o que reduziria a resistência total e aumentaria o fluxo total de corrente.

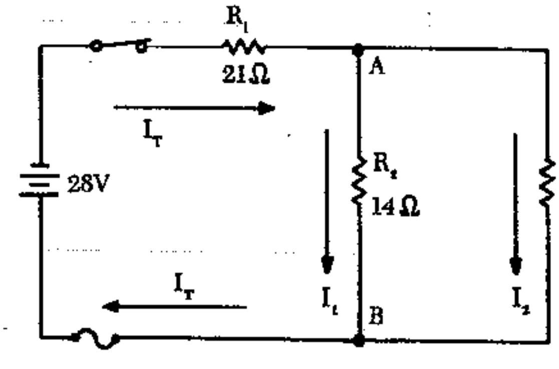


Figura 8-71 Fluxo de corrente em circuito série-paralelo.

DIVISORES DE VOLTAGEM

Os divisores de voltagem são dispositivos que possibilitam obter mais de uma voltagem de uma única fonte de força.

Um divisor de voltagem normalmente consiste de um resistor ou resistores ligados em série, com contatos móveis ou fixos e dois contatos de terminais fixos.

Como a corrente flui através do resistor, voltagens diferentes podem ser obtidas entre os contatos. Um divisor de voltagem típico é mostrado na figura 8-72.

Uma carga é qualquer dispositivo que consome corrente. Uma carga alta significa um grande dreno de corrente. Juntamente com a corrente consumida por várias cargas, existe certa quantidade consumida pelo próprio divisor de voltagem. Isto é conhecido como corrente "drenada".

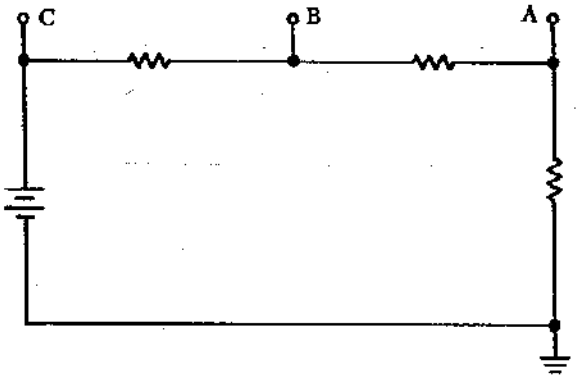


Figura 8-72 Circuito divisor de tensão

Para se entender como um divisor de voltagem trabalha, examina-se cuidadosamente a figura 8-73, e observa-se o seguinte:

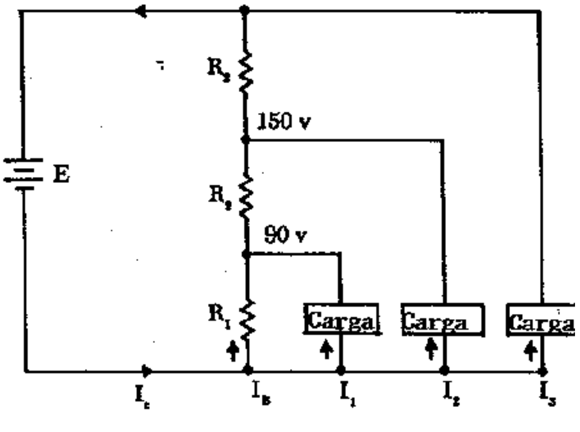


Figura 8-73 Típico divisor de voltagem.

Cada carga consome uma dada quantidade de corrente: I_1, I_2, I_3. Em adição às correntes de carga, alguma corrente drenada (I_B) flui. A corrente I_t é tirada da fonte de força e é igual à soma de todas as correntes.

A voltagem em cada ponto é medida com base em um ponto comum. Vê-se que este ponto comum é o ponto no qual a corrente total (I_t) divide-se em correntes separadas (I_1, I_2, e I_3).

Cada parte do divisor de voltagem tem uma diferente corrente fluindo em si. A distribuição da corrente é a seguinte:

Através de R_1 - corrente drenada (I_B)
Através de R_2 - $I_B + I_1$
Através de R_3 - $I_B + I_1 + I_2$

A voltagem através de cada resistor do divisor de voltagem é:

90 volts em R_1
60 volts em R_2
50 volts em R_3

O circuito divisor de voltagem, discutido até agora, tinha um lado da fonte de força (bateria) ligada na massa (terra).

Na figura 8-74 ponto comum de referência (símbolo de "terra") foi mudado para outro ponto do divisor de voltagem.

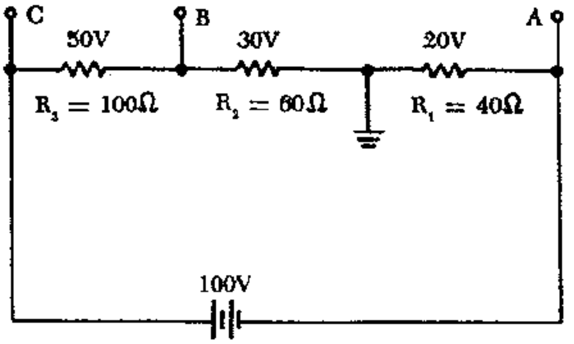


Figura 8-74 Voltagem positiva e negativa em um divisor de voltagem.

A queda de voltagem através de R_1 são 20 volts; todavia, desde que o ponto "A" seja ligado a um ponto no circuito que seja do mesmo potencial que o lado negativo da bateria, a voltagem entre o ponto "A" e o ponto de referência são de 20 volts negativos. Considerando os resistores R_2 e R_3 ligados ao lado positivo da bateria, as voltagens entre o ponto de referência e o ponto "B" ou "C" são positivas.

Um método simples para determinar voltagens negativas e positivas é conseguido por meio das seguintes regras: (1) se a corrente entra numa resistência fluindo a partir do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é positiva em relação ao ponto de referência; (2) se a corrente flui de uma resistência na direção do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é negativa em relação ao ponto de referência.

É a localização do ponto de referência que determina se uma voltagem é negativa ou positiva.

Traçar o fluxo de corrente é um meio de determinar a polaridade da voltagem. A figura 8-75 mostra o mesmo circuito, com indicação das polaridades das quedas de voltagem e direção do fluxo de corrente.

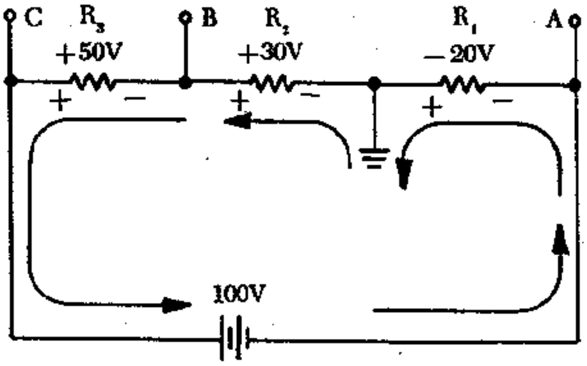


Figura 8-75 Fluxo de corrente através de um divisor de voltagem.

A corrente flui do lado negativo da bateria para R_1. O ponto “A” tem o mesmo potencial que o terminal negativo da bateria, desde que seja desconsiderada a desprezível resistência do próprio condutor (fiação); contudo os 20 volts da fonte são necessários para forçar a corrente através de R_1 ,e esta queda de 20 volts tem a polaridade indicada. Afirmando, de outro modo, existem apenas 80 volts de pressão elétrica presentes no circuito no lado "terra" de R_1.

Quando a corrente alcança o ponto “B”, 30 volts a mais foram empregados para movimentar os elétrons através de R_2 e, de forma similar, os restantes 50 volts são usados por R_3. Mas as voltagens através de R_2 e R_3 são positivas, desde que estejam acima da do ponto "terra".

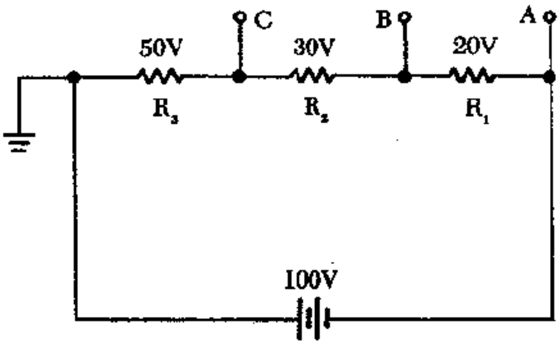


Figura 8-76 Divisor de voltagem com mudança do “terra”.

A figura 8-76 mostra o divisor de voltagem usado anteriormente. As quedas de voltagens através dos resistores são as mesmas: contudo o ponto de referência ("terra") foi mudado. A voltagem entre o "terra" e o ponto “A” é agora de 100 volts negativos, ou seja, a voltagem aplicada. A voltagem entre o "Terra" e o ponto “B” é de 80 volts negativos, e a voltagem entre o "Terra" e o ponto “C” é de 50 volts negativos.

REOSTATOS E POTENCIÔMETROS

Os divisores de voltagem, discutidos até então são resistores de valores variados, através dos quais são desenvolvidas diversas quedas de voltagem. Os reostatos e os potenciômetros são resistores variáveis que são, às vezes, usados em conexão com os divisores de voltagem.

Um reostato é um resistor variável usado para variar a quantidade de corrente fluindo num circuito.

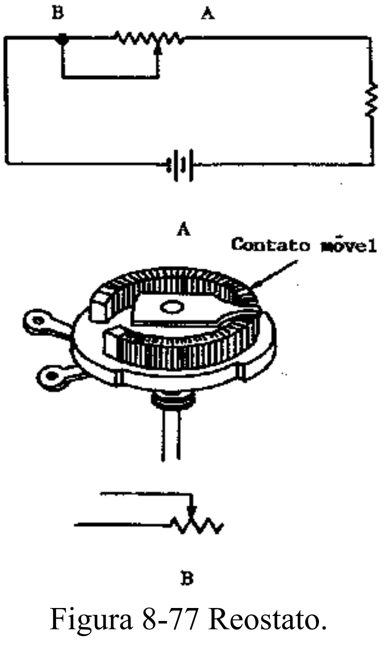


Figura 8-77 Reostato.

O reostato é representado esquematicamente como uma resistência de dois terminais com um braço de contato corrediço. A figura 8-77 mostra um reostato conectado em série com uma resistência comum, num circuito em série.

Conforme o braço deslizante se mover do ponto “A” para o ponto “B”, a quantidade de resistência do reostato (AB) é aumentada. Como a resistência do reostato e a resistência fixa estão em série, a resistência total no circuito também aumenta e a corrente diminui. Por outro lado, se o braço deslizante é movido na direção de ponto “A”, a resistência total diminui e a corrente, no circuito, aumenta.

O potenciômetro é um resistor variável que possui três terminais. As duas extremidades e o braço corrediço são ligados num circuito. Um potenciômetro é usado para variar a quantidade de voltagem num circuito, e é um dos controles mais comuns usados em equipamentos elétricos e eletrônicos. Alguns exemplos são os controles de volume nos receptores de rádio e o controle de brilho em aparelhos de televisão.

Em “A” da figura 8-78, um potenciômetro é usado para obter uma voltagem variável de uma fonte de voltagem para aplicar a uma carga elétrica. A voltagem aplicada à carga é a voltagem entre os pontos “B” e “C”. Quando o braço deslizante é movido para o ponto “A”, a totalidade da voltagem é aplicada ao dispositivo elétrico (carga); quando o braço é movido para o ponto “C”, a voltagem aplicada à carga é zero. O potenciômetro torna possível a aplicação de qualquer voltagem entre zero e a voltagem total à carga.

A corrente fluindo através do circuito da figura 8-78 deixa o terminal negativo da bateria e se divide, uma parte fluindo através de um setor do potenciômetro (ponto C para B) e a outra parte através da carga. Ambas as partes combinam-se no ponto “B” e fluem através do restante do potenciômetro (ponto B para A) retornando ao terminal positivo da bateria.

Em “B” da figura 8-78 são mostrados um potenciômetro e o seu símbolo esquemático.

Na escolha da resistência de um potenciômetro é preciso considerar a quantidade de corrente demandada pela carga, bem como a que flui através do potenciômetro considerando todos os ajustes possíveis do braço deslizante. A energia da corrente através do potenciômetro é dissipada em forma de calor. É importante manter esta corrente dissipada tão pequena quanto possível, empregando resistência do potenciômetro tão grande quanto praticável. Na maioria dos casos, a resistência do potenciômetro pode ser muitas vezes superior à resistência da carga.

Reostatos e potenciômetros são construídos com uma resistência circular, sobre a qual se move um braço corrediço.

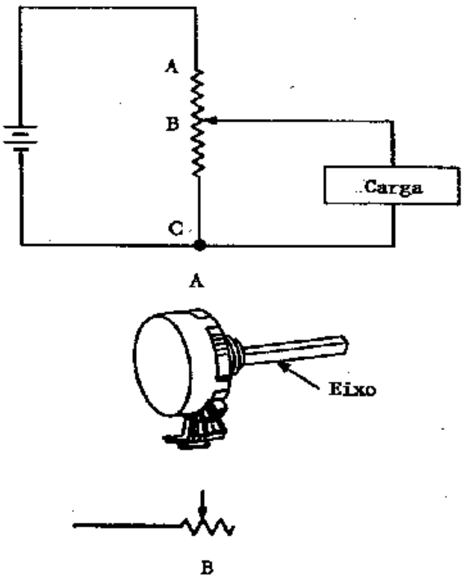


Figura 8-78 Potenciômetro.

A resistência pode ser distribuída de modo variado, e o método empregado determina a classificação linear ou logarítimica.

O tipo linear proporciona uma resistência normalmente distribuída sobre sua extensão, enquanto o logarítimico varia a razão entre o aumento da resistência e o espaço percorrido pelo braço deslizante. Como exemplo, podemos dizer que num reostato linear, meio curso do braço deslizante corresponde à metade da resistência total entre uma extremidade e o cursor, enquanto no caso do logarítimico, meio curso corresponde à um décimo (ou qualquer fração desejada) da resistência total, entre uma extremidade e o cursor.

Prefixos para unidades de medidas elétricas

Em qualquer sistema de medidas, um conjunto de unidades simples não é normalmente suficiente para todos os cálculos envolvidos em manutenção e reparos elétricos. Peqenas distâncias, por exemplo, podem ser medidas em centímetros, mas grandes distâncias são mais significativamente expressas em metros ou quilômetros.

Visto que os valores elétricos frequentemente variam desde números que representam a milionésima parte de uma unidade básica de medida até valores extremamente grande, é completamente necessário o uso de uma faixa larga de números para representar as unidades tais, como volts, ampères ou ohms.

Uma série de prefixos que aparecem com o nome da unidade foram concebidos para os vários múltiplos e sub-múltiplos das unidade básicas.

Existem 12 desses prefixos que são também conhecidos como fatores de conversão. Seis dos prefixos mais comunente usados com definição reduzida são os seguintes:

Mega	significa um milhão	(1.000.000)
Quilo	significa mil	(1.000)
Centi	significa um centésimo	(1/100)
Mili	significa um milésimo	(1/1000)
Micro	significa um milionésimo	(1/1.000.000)
Micro micro	significa um milionésimo de milionésimo	(1/1.000.000.000.000)

Um dos fatores de conversão mais usados, o Quilo (Kilo), pode ser utilizado para explanar o uso dos prefixos com as unidades básicas de medida.

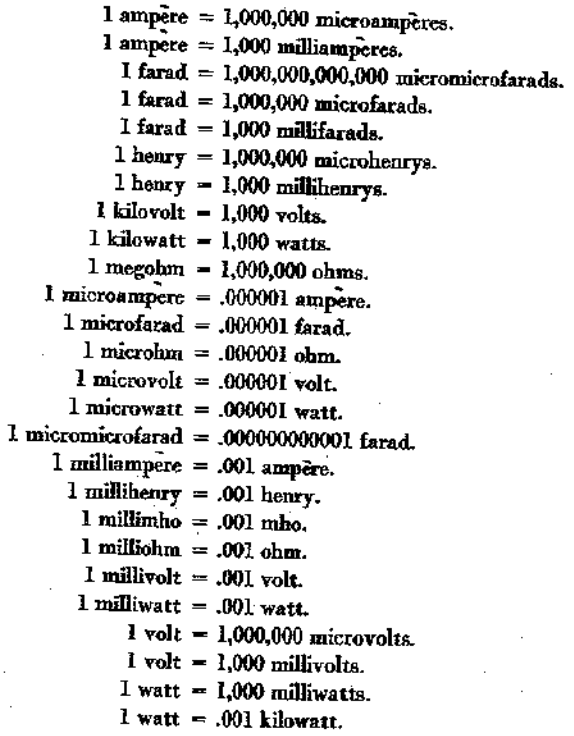
Quilo significa 1.000 e, quando usado com volts é expresso como Quilovolt (Kilovolt), significando 1.000 volts. O símbolo para Quilo (Kilo) é a letra "K". Então, 1.000 volts são 1 Quilo volt ou 1 KV.

Por outro lado, 1 volt seria igual a um miléssimo de KV, ou 1/1000 KV. Isto pode ser escrito como 0,001 KV.

Estes prefixos podem ser usados com todas as unidades elétricas. Eles proporcionam um método conveniente para que se escrevam valores grandes e pequenos.

A maior parte das fórmulas elétricas requer o uso de valores expressos nas unidades básicas; conseqüentemente todos os valores normalmente devem ser convertidos antes de efetuar o cálculo.

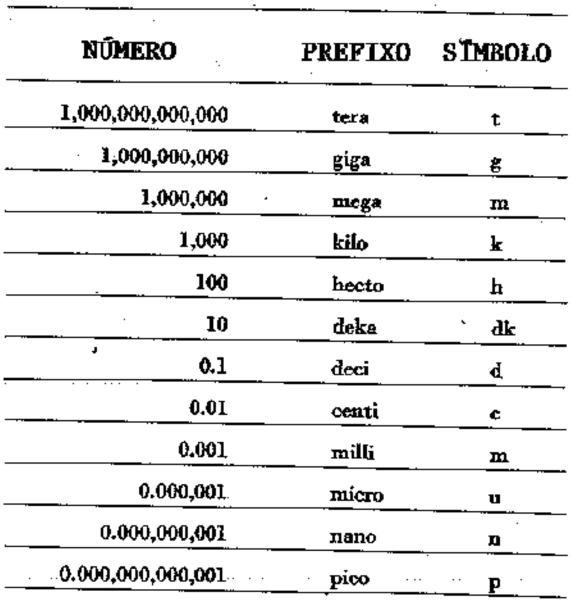
A figura 8-79 contém uma tabela de conversão que relaciona os valores elétricos mais comumente utilizados.



1 ampère = 1,000,000 microampères.
1 ampere = 1,000 milliampères.
1 farad = 1,000,000,000,000 micromicrofarads.
1 farad = 1,000,000 microfarads.
1 farad = 1,000 millifarads.
1 henry = 1,000,000 microhenrys.
1 henry = 1,000 millihenrys.
1 kilovolt = 1,000 volts.
1 kilowatt = 1,000 watts.
1 megohm = 1,000,000 ohms.
1 microampere = .000001 ampère.
1 microfarad = .000001 farad.
1 microhm = .000001 ohm.
1 microvolt = .000001 volt.
1 microwatt = .000001 watt.
1 micromicrofarad = .000000000001 farad.
1 milliampere = .001 ampère.
1 millihenry = .001 henry.
1 millimho = .001 mho.
1 milliohm = .001 ohm.
1 millivolt = .001 volt.
1 milliwatt = .001 watt.
1 volt = 1,000,000 microvolts.
1 volt = 1,000 millivolts.
1 watt = 1,000 milliwatts.
1 watt = .001 kilowatt.

Figura 8-79 Tabela de conversão.

A figura 8-80 contém uma lista completa dos múltiplos usados para expressar as quantidades elétricas, juntamente com os prefixos e símbolos usados para representar cada número.



NÚMERO	PREFIXO	SÍMBOLO
1,000,000,000,000	tera	t
1,000,000,000	giga	g
1,000,000	mega	m
1,000	kilo	k
100	hecto	h
10	deka	dk
0.1	deci	d
0.01	centi	c
0.001	milli	m
0.000,001	micro	u
0.000,000,001	nano	n
0.000,000,000,001	pico	p

Figura 8-80 Prefixos e símbolos para os múltiplos de quantidade básicas.

MAGNETISMO

O magnetismo é tão intimamente relacionado com a eletricidade no mundo industrial moderno, que pode ser afirmado seguramente que sem o magnetismo o mundo da eletricidade não seria possível. O magnetismo é conhecido há vários séculos, mas depois do século dezoito uma torrente de conhecimento foi ligada a da eletricidade pelos pesquisadores científicos.

O mais primitivo magnetismo conhecido se resumia a um mineral natural, magnético, encontrado na Ásia Menor. Hoje, tal substância é conhecida como magnetita ou óxido magnético de ferro.

Quando um pedaço desse minério está suspenso horizontalmente por um fio (ou linha), ou flutua sobre um pedaço de madeira em água parada, alinha-se sozinho na direção norte-sul. É o único imã natural que existe, sendo todos os outros produzidos artificialmente.

Desde os tempos mais remotos, conhecia-se o comportamento elementar dos imãs, como por exemplo, a propriedade da magnetita de induzir magnetismo numa haste de ferro, esfregando uma na outra; ainda que, se as extremidades orientadas para o Norte, de um e outro imã, forem aproximadas, os imãs repelir-se-ão; por outro lado descobriram que se a extremidade "norte" de um fosse aproximada da extremidade "sul" de outro, eles atrair-se-iam.

O magnetismo é definido como a propriedade de um objeto para atrair certas substâncias metálicas.

Em geral, tais substâncias são materiais ferrrosos, isto é, materiais compostos de ferro ou ligas de ferro, tais como ferro-doce, aço e alnico (alumínio-níquel-cobalto).

Esses materiais, às vezes chamados de materiais magnéticos, hoje, incluem, no mínimo, três materiais não-ferrosos: níquel, cobalto e gadolínio, que são magnéticos em grau limitado.

Todas as outras substâncias são consideradas não-magnéticas e uma pequena porção destas substâncias podem ser classificadas como diamagnéticas; desde que elas sejam repelidas por ambos os pólos de um imã.

O magnetismo é uma força invisível, de natureza não completamente determinada. Ele pode ser melhor descrito pelos efeitos que produz.

O exame de uma barra magnética simples, similar a ilustrada na figura 8-81 desvenda algumas características básicas de todos os imãs. Se o imã for suspenso para pender livremente, ele alinhar-se-á com os pólos magnéticos da terra. Uma extremidade é chamada "N", significando a ponta orientada para o pólo Norte magnético, ou o pólo norte do imã. Similarmente, é o que ocorre com a extremidade "S". Os pólos magnéticos não têm a mesma localização dos pólos geográficos.

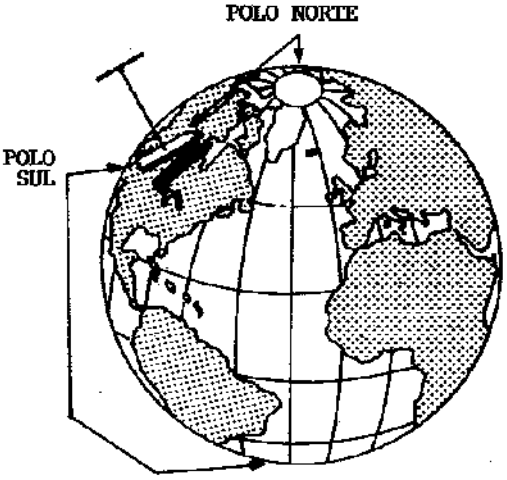


Figura 8-81Uma das pontas de uma barra magnética aponta para o pólo magnético.

A força, um tanto misteriosa e completamente invisível de um imã, depende do campo magnético que o envolve, conforme ilustrado na figura 8-82. Esse campo sempre existe entre os pólos de um imã e o seu feitio será de acordo com a forma do imã.

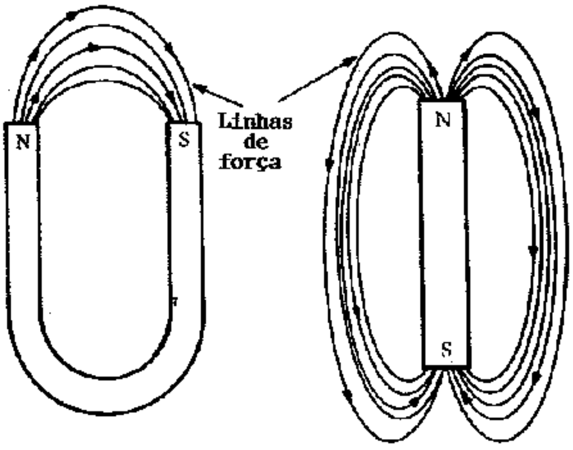
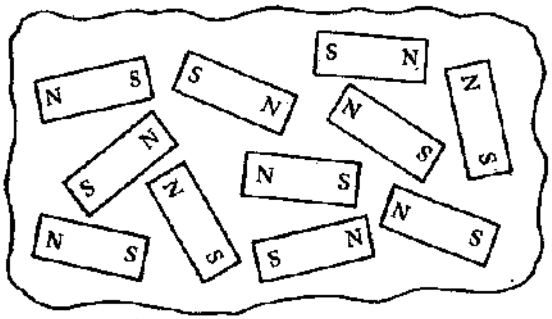
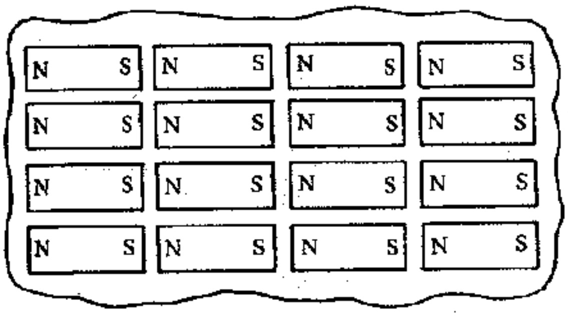


Figura 8-82 Campo magnético em torno de imãs.

A teoria que explica a ação de um imã considera que cada molécula constituindo uma barra de ferro é um pequeno imã com ambos os pólos, norte e sul, conforme ilustrado na figura 8-83.



(A) Desmagnetizado



(B) Magnetizado

Figura 8-83 Arranjo das moléculas em uma peça de material magnético.

Esses imãs moleculares, cada qual possui um campo magnético, mas no estado desmagnetizado as moléculas estão desarrumadas ao longo da barra de ferro.

Se uma força magnetizadora for aplicada em tal barra, como por exemplo, fricção com a magnetita, os imãs moleculares alinhar-se-ão conforme o campo magnético induzido. Isto é ilustrado em B da figura 8-83.

Em semelhante configuração, os campos magnéticos dos imãs combinaram para produzir o campo total da barra magnetizada.

Quando manuseando um imã, evita-se aplicação direta de calor e pancadas, ou deixá-lo cair.

O aquecimento ou choque repentino causará desalinhamento das moléculas, resultando em enfraquecimento de seu poder magnétQuando um imã é estocado, dispositivos conhecidos como armaduras de proteção ("keeper bars") são instalados para proporcionar um caminho fácil para o fluxo de linhas de um pólo a outro. Isto favorece a conservação das moléculas no seu alinhamento norte-sul.

A presença da força do campo magnético em torno de um imã pode ser melhor demonstrada através da experiência ilustrada na figura 8-84. Uma folha de material transparente, tal como vidro ou plástico, é colocada sobre um imã (barra), e a limalha de ferro é salpicada vagarosamente sobre esta cobertura transparente, na qual se vai batendo levemente para que a limalha desenhe o contorno do campo magnético, formando linhas entre os dois pólos do imã.

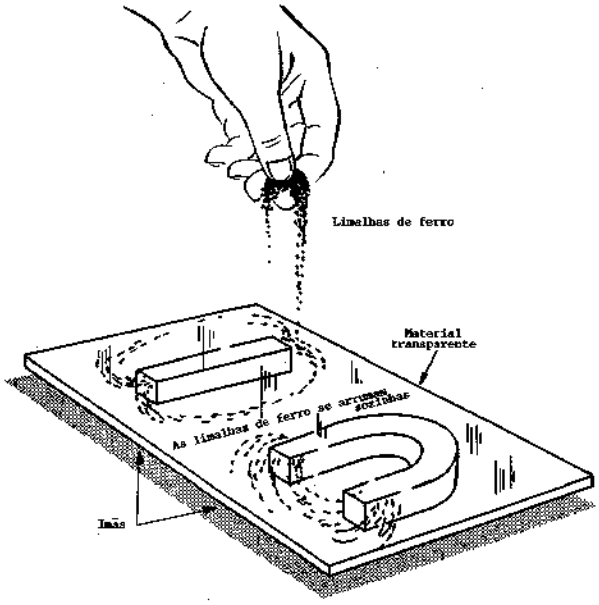


Figura 8-84 Demonstrando um campo magnético por meio de limalhas de ferro.

Conforme mostrado, o campo de um imã é formado por muitas forças individuais, que aparecem como linhas na demonstração com limalhas de ferro.

Embora não se trate de "linhas" no sentido comum, essa palavra é usada para descrever a particular natureza das forças separadas, constituindo o campo magnético como um todo. Essas linhas de força também são mencionadas como fluxo magnético. Elas são forças individuais e separadas, tendo em vista que uma linha jamais cruza outra. Em verdade, elas de fato se repelem. Elas se mantêm paralelas, umas com as outras, e assemelham-se a estrias de borracha estendidas, que são mantidas no lugar em torno da barra pela força magnetizadora interna do imã.

A demonstração com limalhas de ferro mostra ainda que o campo magnético de um imã, é concentrado em suas extremidades. Essas áreas de concentração do fluxo são chamadas de pólos norte e sul do imã.

Existe um limite para o número de linhas de força que constituem o fluxo de um imã de determinado tamanho. Quando uma força magnetizadora é aplicada a um pedaço de material magnético, atinge uma situação em que não é possível indução ou introdução de nenhuma linha de força a mais, diz-se que o material está saturado.

As características do fluxo magnético podem ser demonstradas pelos contornos dos modelos de fluxo de duas barras de imã com os pólos iguais aproximados, conforme mostrado na figura 8-85.

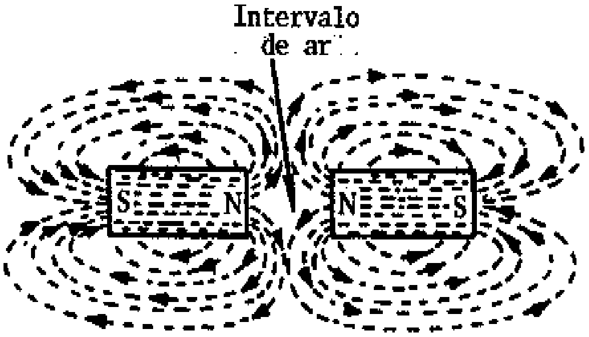


Figura 8-85 Pólos iguais se repelem.

Os pólos iguais se repelem porque as linhas de força não se cruzam. Conforme as setas sobre as linhas indicam, as linhas se evitam percorrendo caminhos paralelos, onde os campos se aproximam, causando a repulsão entre os imãs.

Invertendo-se a posição de um dos imãs, a atração entre pólos diferentes pode ser demonstrada, conforme mostrado na figura 8-86.

Como os pólos diferentes são aproximados um do outro, as linhas de força mudam seu percurso; e a maior parte do fluxo deixando o polo norte de um dos imãs entra no pólo sul de outro imã.

A tendência de repulsão entre as linhas de força é indicada pelo arqueamento de fluxo no intervalo entre os dois imãs.

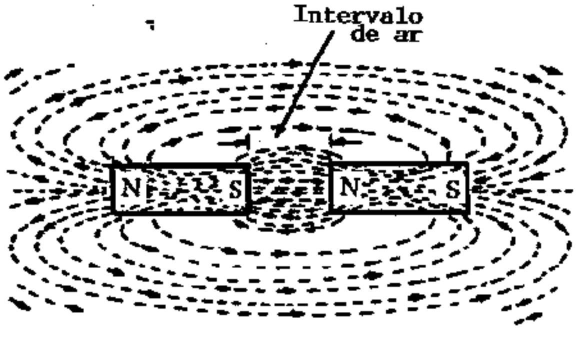


Figura 8-86 Pólos opostos se atraem.

Ainda para demonstrar que as linhas de força não se cruzarão, um imã em barra e outro em ferradura podem ser posicionados para mostrar um campo magnético semelhante ao da figura 8-87. Os campos dos dois imãs não combinam, mas se reformulam num modelo de fluxo distorcido.

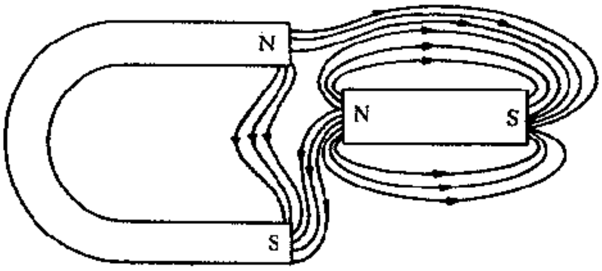


Figura 8-87 Desviando linhas de fluxo.

Duas barras de imãs podem ser seguradas com as mãos para a demonstração das ações de atração e repulsão entre si. Estas experiências estão ilustradas na figura 8-88.

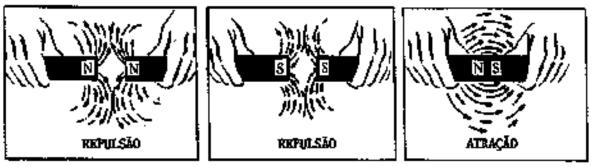


Figura 8-88 Atração e repulsão dos pólos de um imã.

A figura 8-89 ilustra uma outra característica dos imãs. Se uma barra de imã for cortada ou quebrada em pedaços, cada um deles imediatamente se torna um imã, com um pólo norte e um pólo sul. Este aspecto sustenta a teoria de que cada molécula é um imã, posto que cada divisão sucessiva de um imã produz ainda mais imãs.

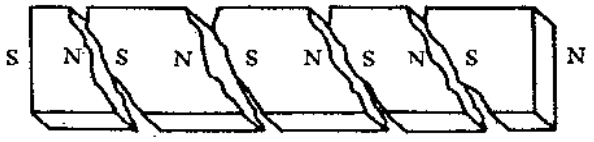


Figura 8-89 Pólos magnéticos de pedaços de imãs.

Considerando que as linhas de força magnética formam um contínuo enlace, elas constituem um circuito magnético. É impossível dizer onde, no imã, elas se originam ou se iniciam. Arbitrariamente, é entendido que todas as linhas de força deixam o pólo norte de qualquer imã e entram pelo pólo sul.

Não existe nenhum isolador conhecido para o fluxo magnético, ou linhas de força, porque elas atravessarão todos os materiais. Entretanto, descobriu-se que elas atravessarão alguns materiais mais facilmente que outros. Então é possível blindar certa áreas, como instrumentos, dos efeitos do fluxo, circundando-as com um material que ofereça um caminho mais fácil para as linhas de força.

A figura 8-90 mostra um instrumento protegido por um revestimento de ferro-doce, que oferece diminuta resistência ao fluxo magnético. As linhas de força seguem o caminho mais fácil, de maior permeabilidade, e são guiadas externamente em relação ao instrumento.

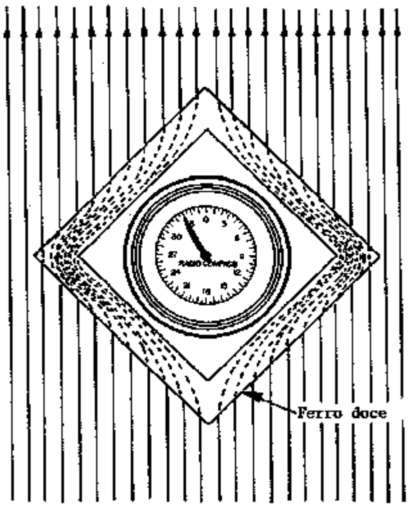


Figura 8-90 Escudo magnético.

Materiais como ferro-doce e outros metais ferrosos são considerados de alta permeabilidade, que é o grau de facilidade com que o fluxo magnético pode penetrar num material. A escala de permeabilidade é baseada no vácuo perfeito, considerando-se a razão de um.

O ar e outros materiais não magnéticos são tão aproximados do vácuo que também são considerados como tendo razão de um. Os metais não ferrosos tendo permeabilidade maior do que um, tais com níquel e cobalto, são chamados de paramagnéticos, enquanto o termo ferromagnético é atribuído ao ferro e suas ligas, que têm a mais alta permeabilidade.

Qualquer substância, a exemplo do bismuto, tendo permeabilidade menor do que um, é considerada diamagnética.

A relutância (medida de oposição para as linhas de força atravessarem um material) pode ser comparada à resistência de um circuito elétrico. A relutância do ferro-doce, por exemplo, é muito menor do que a do ar. A figura 8-91 demonstra que um pedaço de ferro-doce, colocado perto do campo de um imã, pode distorcer as linhas de força, que seguem então o caminho de relutância mais baixa através do pedaço de ferro.

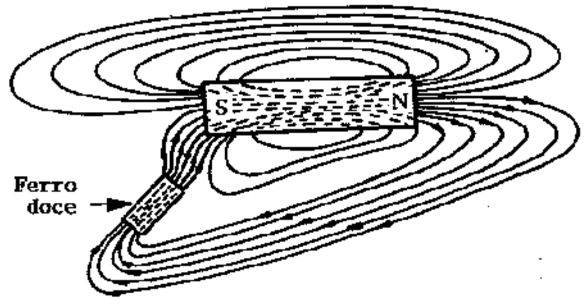


Figura 8-91 Efeito de uma substância magnética.

O circuito magnético pode ser comparado, sob muitos pontos de vista, a um circuito elétrico. A força magnetomotriz (f.m.m.) proporcionando linhas de força num circuito magnético pode ser comparada à força eletromotriz ou pressão elétrica de um circuito elétrico.

A f.m.m. é medida em *gilberts*, simbolizada pela letra maiúscula "F". O símbolo para a intensidade das linhas de força, ou fluxo, é a letra grega PHI (∅) e a unidade de intensidade de campo é o *gauss*. Uma linha de força individual, chamada um *Maxwell*, numa área de um centímetro quadrado produz uma intensidade de campo de um *gauss*.

Usando-se relutância preferivelmente à permeabilidade, a lei para circuitos magnéticos pode ser estabelecida: uma força magnetomotriz de um *gilbert* proporcionará um *Maxwell*, ou linha de força, atuando num material quando a relutância do material é igual a um.

Tipos de imãs

Existem imãs naturais e artificiais. Como os imãs naturais ou magnetitas não têm uso prático, todos os imãs considerados neste estudo são artificiais ou produzidos pelo homem.

Os imãs artificiais podem, então, ser classificados como imãs permanentes que conservam seu magnetismo muito tempo após ser removida a fonte magnetizadora de imãs temporários, que rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força de magnetização é removida.

Aço duro tem sido usado ao longo do tempo para imãs permanentes, mas imãs até mesmo de melhor qualidade podem agora ser obtidos de várias ligas. **Almico**, uma liga de ferro, alumínio, níquel e cobalto é considerada uma das melhores. Outras com excelentes qualidades magnéticas são ligas como **Remalloy** e **Permendur**.

O velho método de produzir um imã esfregando um pedaço de aço ou ferro com um imã natural foi substituído por outros processos.

Um pedaço de metal colocado em contato ou suficientemente perto de um imã tornar-se-á magnetizado por indução, e o processo pode ser acelerado aquecendo-se o metal, e então colocando-o para esfriar dentro de um campo magnético.

Imãs também podem ser produzidos, colocando-se o metal a ser magnetizado num forte campo magnético, golpeando-o várias vezes com um martelo. Este processo pode ser usado para produzir imãs permanentes com metais como aço duro.

A capacidade de um imã absorver seu magnetismo varia enormemente conforme o tipo de metal e é conhecido como retentividade. Imãs feitos de ferro-doce são facilmente magnetizados, mas rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força externa magnetizadora é removida. A pequena quantidade de magnetismo restante, chamada de magnetismo residual, é de grande importância em aplicações elétricas conforme a operação de geradores.

Imãs em ferradura são comumente fabricados em duas formas, conforme mostrado na figura 8-92. O tipo mais comum é feito de uma barra curvada na forma de uma ferradura, enquanto uma variação consiste em duas barras ligadas por uma terceira, ou forquilha.

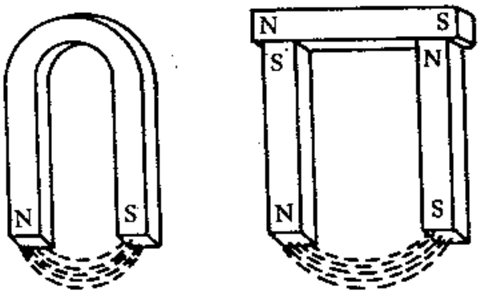


Figura 8-92 Duas formas de imã ferradura.

Imãs podem ser feitos com muitas formas diferentes, como bolas, cilíndros ou discos. Um tipo especial de imã é na forma de anel, frequentemente utilizado em instrumentos. É um elo fechado, e é o único tipo que não possui pólos.

Algumas vezes, aplicações especiais requerem que o campo de força repouse através da espessura, em vez do comprimento de uma peça de metal. Tais imãs são chamados imãs chatos, e são usados como elementos de polarização em geradores e motores.

Eletromagnetismo

Em 1819, o físico dinamarquês, Hans Christian Oersted descobriu que a agulha de uma bússola aproximada de um condutor sob corrente podia ser deflexionada. Quando o fluxo de corrente parava, a agulha retornava a sua posição original.

Esta importante descoberta demonstrou a relação entre a eletricidade e o magnetismo, que diz respeito ao eletroimã e muitas das invenções em que se baseia a industria moderna.

Oersted descobriu que o campo magnético não tinha ligação com o condutor, no qual os elétrons estavam fluindo, porque o condutor era feito de cobre (material não-magnético). O campo magnético era criado pelos elétrons movendo-se através do fio. Como o campo magnético acompanha uma partícula carregada, quanto maior o fluxo de corrente, maior o campo magnético. A figura 8-93 ilustra o campo magnético em torno de um fio conduzindo corrente.

Uma série de círculos concêntricos em torno do condutor representa o campo e, se todos fossem mostrados, pareceria mais como um contínuo cilindro à semelhança dos círculos em torno do condutor.

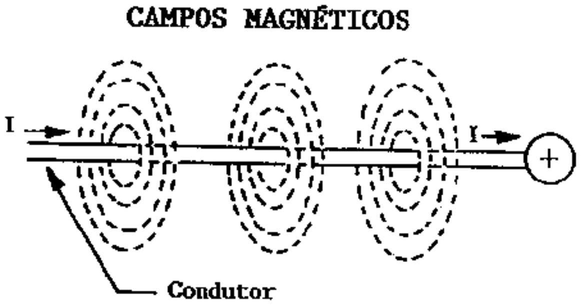


Figura 8-93 Campo magnético formado em torno de um condutor com fluxo de corrente.

A expansão do campo de força é proporcional à intensidade da corrente, conforme mostrado na figura 8-94. Se uma pequena corrente flui através do condutor, as linhas de força estender-se-ão conforme o círculo "A". Se o fluxo de corrente é aumentado, crescerá conforme o círculo "B", e um aumento adicional da corrente implicará em expansão, conforme o círculo "C".

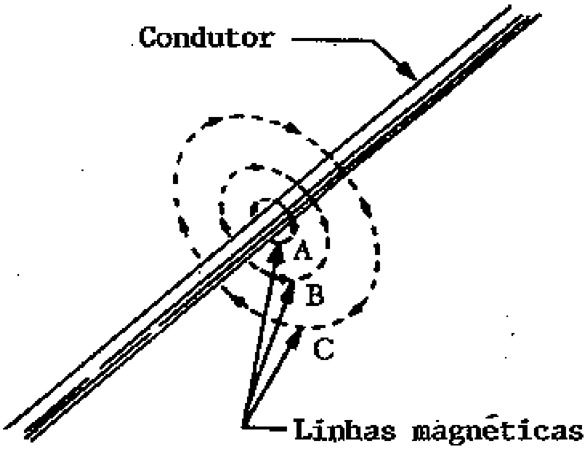


Figura 8-94 Expansão do campo magnético quando a corrente aumenta.

Conforme a linha de força original (círculo) se expande do círculo "A" para o "B", uma nova linha de força aparecerá para o círculo "A". Conforme o fluxo de corrente aumenta, o número de círculos de força aumenta, expandindo os círculos externos mais longe da superfície do condutor conduzindo corrente.

Se o fluxo de corrente é de corrente contínua estável, sem variação, o campo magnético permanece estacionário. Quando a corrente cessa, o campo magnético acaba, e o magnetismo em torno do condutor desaparece.

Uma agulha de bússola é usada para demonstrar a direção do campo magnético ao redor do condutor onde flui corrente. A letra "A" da figura 8-95 mostra uma agulha de bússola em ângulos alinhados com o condutor. Se não houvesse corrente fluindo, o norte indicado pela agulha seria o pólo norte magnético da terra.

Quando a corrente flui, a agulha se alinha um ângulos retos com o raio delineado no condutor. Como a agulha da bússola é um pequeno imã, com linhas de força estendendo-se de sul para o norte dentro do metal, ela irá se virar na direção dessas linhas de força que envolvem o condutor.

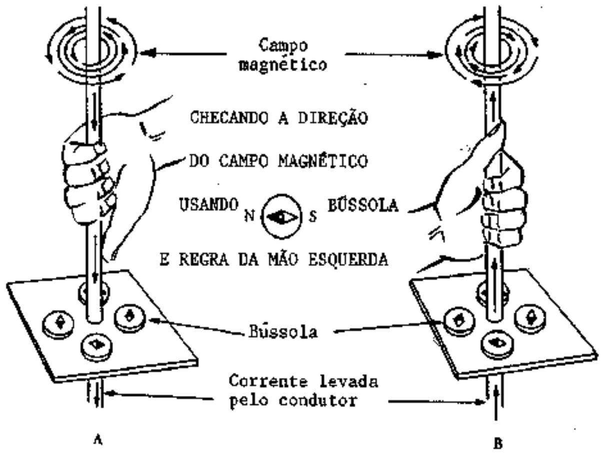


Figura 8-95 Campo magnético em torno de um condutor transportando corrente.

Conforme a agulha de bússola se move em torno do condutor, manter-se-á uma posição em ângulos retos com ele, indicando que o campo é circular em torno do fio por onde a corrente flui.

Como mostrado na figura 8-95, letra "B", quando a direção da corrente é revertida, a agulha da bússola passa a apontar na direção oposta, indicando a reversão do campo magnético.

Um método usado para determinar a direção das linhas de força, quando a direção do fluxo de corrente é conhecido, é mostrado na figura 8-96.

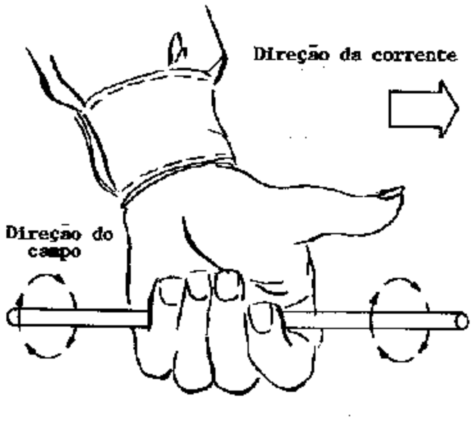


Figura 8-96 Regra da mão esquerda.

Se um condutor é seguro com a mão esquerda, com o polegar apontando na direção do fluxo de corrente, os dedos estarão envolvendo o condutor na mesma direção que as linhas de força do campo magnético. Isto é chamado de regra da mão esquerda.

Embora tenha sido afirmado que as linhas de força têm direção, não deve ser interpretado que as linhas tenham movimento circular em torno do condutor.

Embora as linhas de força tendem a agir numa ou noutra direção, elas não estão circulando ao redor do condutor.

Desde que a corrente flui do negativo para o positivo, muitas ilustrações indicam a direção da corrente com uma pinta que simboliza a extremidade do condutor para onde os elétrons estão fluindo, e um sinal de (+) na extremidade de onde a corrente flui. Isto é ilustrado na figura 8-97.

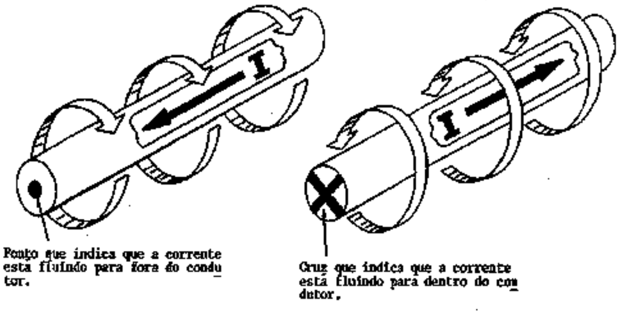

I
I
Ponto que indica que a corrente esta fluindo para fora do condutor.
Cruz que indica que a corrente está fluindo para dentro do condutor.

Figura 8-97 Direção da corrente fluindo de um condutor.

Quando um fio é enrolado num "loop", e uma corrente elétrica flui através dele, a regra da mão esquerda permanece válida, conforme mostrado na figura 8-98.

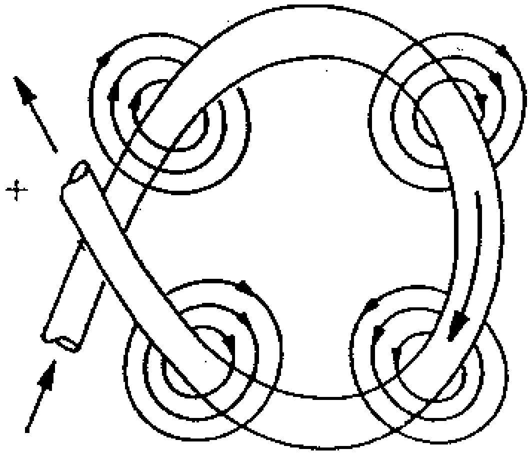


Figura 8-98 Campo magnético em torno de um condutor com uma volta.

Se o fio é enrolado em duas voltas, muitas linhas de força se tornam largas suficientemente para incluir as duas voltas.

As linhas de força circularão na mesma direção por fora das duas voltas (veja a figura 8-99).

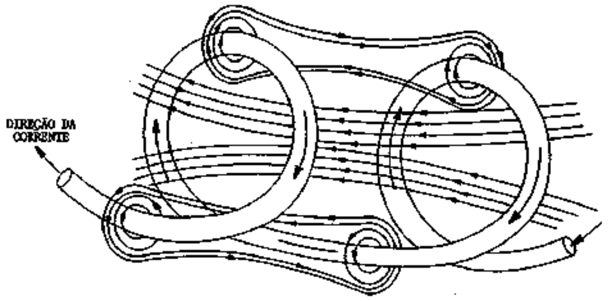


Figura 8-99 Campo magnético em torno de um condutor com duas voltas.

Quando um fio tem muitas voltas é chamado de bobina. As linhas de força formam um modelo através de todos os "*loops*" (voltas), ocasionando alta concentração de linhas de fluxo no centro da bobina (veja a figura 8-100).

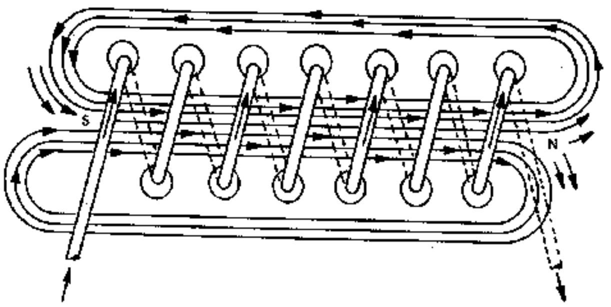


Figura 8-100 Campo magnético de uma bobina.

Em uma bobina feita de voltas de um condutor, muitas linhas de força se dissipam entre as voltas da bobina. Colocando-se uma barra de ferro-doce no interior da bobina, as linhas de força concentrar-se-ão em seu centro, já que o ferro-doce tem maior permeabilidade de que o ar (ver figura 8-101).

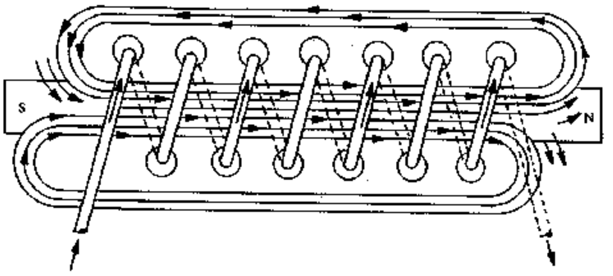


Figura 8-101 Eletroimã.

Esta combinação de um núcleo de ferro numa bobina é chamada de eletroímã, já que os pólos da bobina possuem as características de um imã de barra. A adição do núcleo de ferro-doce produz dois resultados. Primeiro, aumenta o fluxo magnético. Segundo, as linhas de fluxo são mais altamente concentradas.

Quando uma corrente contínua flui através da bobina, o núcleo se torna magnetizado com a mesma polaridade (localização de pólos norte e sul) que a bobina teria sem o núcleo. Se a corrente for revertida, a polaridade também se reverterá.

A polaridade do eletroímã é determinada pela regra da mão esquerda, da mesma maneira que a polaridade da bobina sem o núcleo é determinada.

Se a bobina for mantida na mão esquerda, de forma que os dedos se curvem em torno da bobina na direção do fluxo de elétrons (menos para mais), o polegar apontará na direção do pólo norte. (veja figura 8-102).

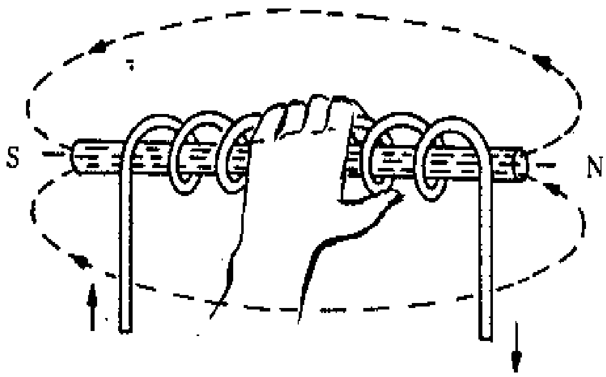


Figura 8-102 Regra da mão esquerda aplicada à bobina.

A intensidade do campo magnético de um eletroímã pode ser aumentada, tanto pelo fluxo de corrente, quanto pelas voltas de fio. Dobrando o fluxo de corrente, dobra-se, aproximadamente, a intensidade do campo magnético.

De modo similar, dobrando-se o número de voltas de fio, dobra-se a força do campo magnético. Finalmente, o tipo de metal do núcleo também influi na intensidade do campo do eletroimã.

Uma barra de ferro-doce é atraída por ambos os pólos de um imã permanente e, da mesma forma, é atraída por uma bobina conduzindo corrente.

Conforme mostrado na figura 8-103, as linhas de força estendem-se através do ferro-doce, magnetizando-o por indução, puxando a barra de ferro na direção da bobina.

Se a barra estiver livre para se mover, ela será atraída para o interior da bobina, para uma posição próxima do centro, onde o campo é mais forte.

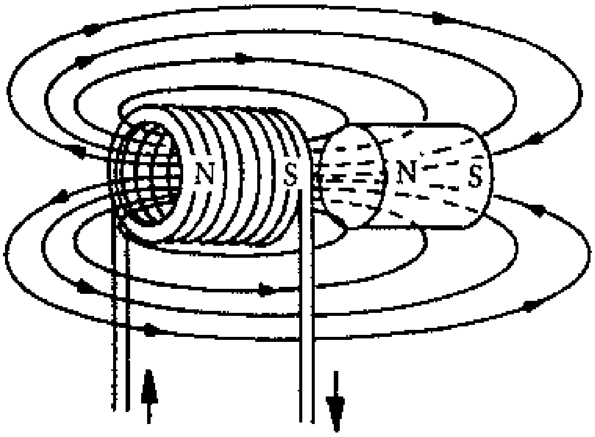


Figura 8-103 Solenóide com núcleo de ferro.

Eletroímãs são usados em instrumentos elétricos, motores, geradores, relés e outros dispositivos.

Alguns dispositivos eletromagnéticos funcionam sob o princípio de que um núcleo de ferro, conservado fora do centro de uma bobina será puxado imediatamente para a posição central, quando a bobina é energizada.

Este princípio é usado no solenóide, também conhecido como chave-solenóide ou relé, no qual o núcleo de ferro é mantido fora do centro por pressão de mola, e é atraído quando a bobina é energizada.

A aplicação de solenóide é mostrada na figura 8-104, onde aparece um relé solenóide. Quando o interruptor da cabine é ligado, o enrolamento puxa o núcleo (chave) para baixo, completando o circuito do motor.

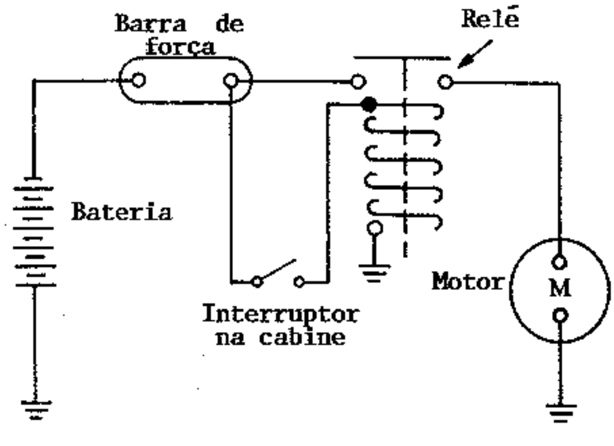


Figura 8-104 Uso de solenóide em um circuito.

Como o relé solenóide aciona um circuito de baixa corrente, elimina fiação de alta amperagem na cabine da aeronave.

O imã tipo "*solenoid-and-plunger*" em vários formatos é amplamente utilizado para abrir circuitos de segurança (*circuit breakers*) automaticamente, quando a carga da corrente se torna excessiva e opera válvulas "*magnetic-breakers"* e muitos outros dispositivos.

O eletroímã tipo armadura também tem ampla utilização. Para este tipo de imã, a bobina é enrolada sobre o núcleo de ferro e isolada deste, que não se move. Quando a corrente flui através da bobina, o núcleo de ferro se torna magnetizado e causa a atração da armadura de ferro articulada, localizada próxima do eletroimã.

Estes imãs são usados em campainhas, relés, "*circuit breakers*" , aparelhos telefônicos e muitos outros dispositivos.

BATERIAS DE ACUMULADORES

Existem duas fontes de energia elétrica numa aeronave: (1) o gerador, que converte energia mecânica em energia elétrica, e (2) a bateria, que converte energia química em energia elétrica. Durante a operação normal do motor, a energia elétrica é obtida do gerador acoplado ao eixo do motor. A bateria de acumuladores é usada como fonte auxiliar, quando o gerador está inativo.

Quando os geradores estão operando em velocidade baixa, o suprimento de energia elétrica para a aeronave é mantido pela bateria, perdendo parte da energia nela estocada. Durante o vôo, o gerador carrega a bateria por grande período de tempo, e reestabelece a energia química.

Chumbo-ácido e níquel-cádmio são tipos de baterias de acumuladores geralmente em uso.

BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Essas baterias são usadas em aeronaves e são similares às de automóveis. As células ou elementos de uma bateria são conectados em série.

Cada célula possui placas positivas de peróxido de chumbo, placas negativas de chumbo esponjoso e o eletrólito (água e ácido sulfúrico).

Descarregando, a energia química estocada na bateria, transforma-se em energia elétrica; carregando a energia elétrica fornecida à bateria, é transformada em energia química e estocada. É possível recarregar uma bateria muitas vezes, antes dela se estragar definitivamente.

Constituição da célula de chumbo-ácido

Os componentes de uma típica célula de chumbo-ácido são mostrados na figura 8-105. Cada placa consiste de uma armação chamada grade, feita de chumbo e antimônio, no qual o material ativo (chumbo esponjoso ou peróxido de chumbo) é fixado.

As placas negativas e positivas (1) da figura 8-105 são montadas, de forma que cada placa positiva fique entre duas placas negativas. Assim, a última placa em cada célula é negativa. Entre as placas existem separadores porosos (7) que evitam o contato entre as placas negativas e positivas, que significaria curto-circuito na célula. Os separadores têm frisos verticais no lado, faceando a placa positiva. Esta construção permite que o eletrólito circule livremente em torno das placas. Adicionalmente, proporciona um caminho para que os sedimentos se acomodem no fundo da célula.

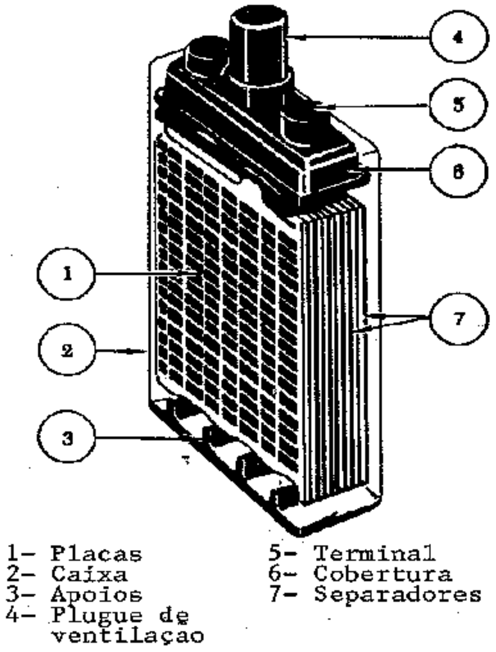


Figura 8-105 Construção de uma célula chumbo-ácido.

Cada elemento (ou célula) é selado com um revestimento de borracha dura, com terminais colocados na parte superior, e suspiros, também destinados a evitar derramamento do eletrólito (4).

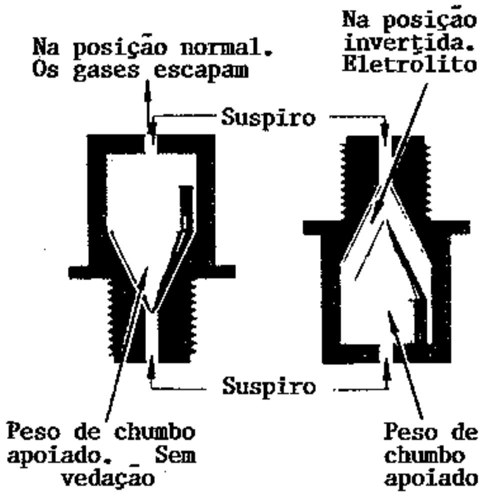

Na posição normal. Os gases escapam
Na posição invertida. Eletrolito
Suspiro
Suspiro
Peso de chumbo apoiado. _ Sem vedação
Peso de chumbo apoiado

Figura 8-106 Plugue de ventilação a prova de vazamento.

O orifício proporciona acesso para teste da densidade do eletrólito e para que se adicione água, se necessário. O suspiro permite a exaustão dos gases com vazamento mínimo da solução, independentemente da posição que a aeronave possa assumir. Na figura 8-106 é mostrada a construção do suspiro.

Em vôo nivelado, o peso de chumbo permite ventilação dos gases através de um pequeno furo. Em vôo de dorso, este orifício é fechado pelo peso do chumbo.

As células individuais de uma bateria são conectadas em série por meio de hastes, conforme ilustrado na figura 8-107. O conjunto completo é embutido numa caixa resistente ao ácido, que serve como protetor elétrico e proteção mecânica.

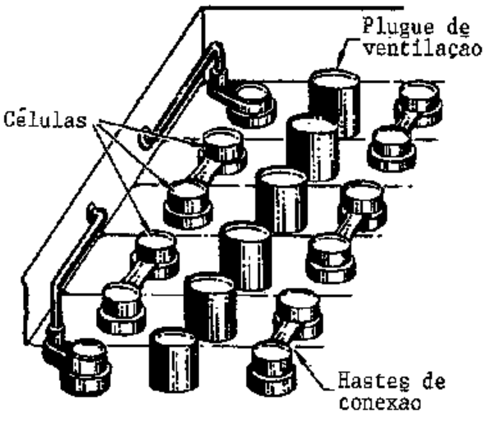


Figura 8-107 Conexão das células de uma bateria.

A caixa da bateria tem a parte superior removível; ela também possui um conector (nipple) ou tubo de ventilação em cada extremidade. Quando a bateria é instalada na aeronave, um tubo de ventilação é encaixado em cada "*nipple*".

Um tubo é de entrada, e exposto ao fluxo aerodinâmico. O outro é de exaustão, e é conectado ao reservatório de drenagem da bateria, que é uma jarra de vidro contendo uma mistura com alta concentração de bicarbonato de sódio.

Com este artifício, o fluxo de ar é dirigido para o alojamento da bateria, onde os gases são recolhidos no reservatório, e expelidos sem danos à aeronave. Para facilitar a instalação e remoção da bateria em algumas aeronaves é usado um conjunto de remoção rápida para fixar os terminais na bateria. Este conjunto, que é mostrado na figura 8-108, conecta os bornes da bateria, na aeronave, a um receptáculo montado ao lado da bateria.

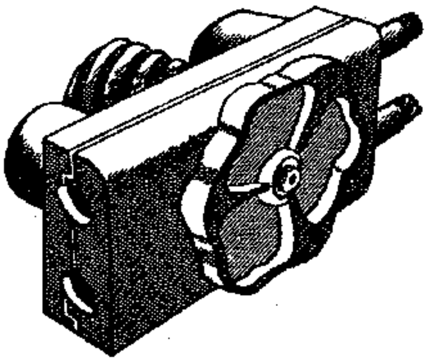


Figura 8-108 Conjunto de desconexão rápida da bateria.

O receptáculo cobre os terminais da bateria e previne curto acidental durante a instalação e remoção. O plugue, que consiste de um encaixe com volante manual roscado, pode ser prontamente conectado ao receptáculo pelo volante. Uma outra vantagem deste conjunto é que o plugue pode ser instalado apenas numa posição, impossibilitando inversão dos bornes da bateria.

Funcionamento das células de chumbo-ácido

A célula de chumbo-ácido contém placas positivas cobertas com peróxido de chumbo (PbO_2), placas negativas feitas de chumbo (Pb) e um eletrólito, composto de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água (H_2O).

Durante a descarga forma-se sulfato de chumbo ($PbSO_4$) em ambas as placas, positiva e negativa, diminui a quantidade de ácido do eletrólito, e a quantidade de água aumenta.

Como a descarga continua, a quantidade de sulfato de chumbo diminui sobre as placas, até que a cobertura se torne tão fina que o eletrólito enfraquecido não consiga mais atingir os materiais ativos (chumbo e peróxido de chumbo). Quando isto acontece, a reação química é retardada e a produção da célula é reduzida.

Na prática, a célula fica impedida de descarregar porque as finas coberturas de sulfato de chumbo são difíceis de remover no carregamento. Adicionalmente, a célula aproximando-se do estado de descarga total vai-se tornando imprestável porque a cobertura de sulfato diminui a corrente, a níveis tão baixos que inutilizam a célula.

Quando uma célula está sendo carregada, o sulfato de chumbo é removido de ambas as placas, positiva e negativa, e o ácido sulfúrico é novamente formado. Durante o processo diminui a quantidade de água, e aumenta a densidade do eletrólito.

A voltagem de uma célula sem carga é de 2,2 volts, aproximadamente. Essa voltagem é a mesma para qualquer célula, independente do tamanho, e mantém este valor até que ela esteja praticamente inativa, indiferentemente ao seu estado de descarga. Quando a célula estiver muito próxima de sua descarga total, sua voltagem, então, começa a declinar rapidamente.

A voltagem da célula com carga diminui gradualmente, conforme a célula vai sendo descarregada. Este decréscimo na voltagem é devido ao gradual aumento da resistência interna da célula, causado pela sulfatação das placas.

Ao final de uma descarga normal, a resistência interna de uma célula chumbo-ácido é duas vezes maior do que quando ela está completamente carregada.

A diferença entre a bateria, com ou sem carga, é devido à queda de voltagem no interior da célula.

Assim, a voltagem de descarga que a célula pode suprir em condições de circuito fechado (com carga), é igual a voltagem de circuito aberto (sem carga) menos a queda da RI na célula.

Para proporcionar alta descarga da corrente, e apresentar alta voltagem com carga, a bateria deve ter baixa resistência interna.

Classificação das baterias de chumbo-ácido

A voltagem de uma bateria é determinada pelo número de células conectadas em série. Embora a voltagem de uma célula chumbo-ácido logo que removida de um carregador seja de aproximadamente 2,2 volts, ela é considerada normalmente como 2 volts, porque logo cai para este valor.

Uma bateria de 12 volts consiste em 6 células de chumbo-ácido, ligadas em série, e uma de 24 volts, que logicamente terá o dobro de células.

A capacidade de armazenagem da bateria é referida em ampères-hora (ampères fornecidos pela bateria vezes a quantidade de tempo de fornecimento da corrente).

Esta classificação indica por quanto tempo a bateria pode ser usada a uma dada razão, antes de se tornar descarregada.

Teoricamente, uma bateria de 100 ampères-hora fornecerá 100 ampères durante 1 hora, 50 ampères por 2 horas ou 20 ampères por 5 horas.

Realmente, a saída em ampères-hora de uma bateria depende da razão em que ela estará descarregada.

Descargas violentas de corrente esquentam a bateria e diminuem sua eficiência e saída total em ampères-hora. Para baterias de aeronaves foi especificado o tempo de 5 horas para conservação da carga ou para que seja descarregada, o que é só uma base para sua especificação.

Nas condições reais de serviço, uma bateria pode descarregar-se em poucos minutos, ou pode manter sua carga durante sua vida útil, se devidamente carregada pelo gerador.

A capacidade em ampères-hora da bateria depende da área total da placa. Conectando-se baterias em paralelo, aumenta a sua capacidade de amperagem-hora. Conectando-se baterias em série, tem-se o aumento da voltagem total, mas a capacidade de amperagem permanece a mesma.

Em aeronaves multimotoras, onde mais de uma bateria é usada, as baterias são, usualmente, conectadas em paralelo.

A voltagem é a mesma de uma única bateria, mas a capacidade em ampère-hora é aumentada.

A capacidade total é a soma das especificações em ampère-hora para cada bateria.

Fatores agindo sobre a vida das baterias

Muitos fatores causam a deterioração de uma bateria e encurtam sua vida útil. Isto inclui sobrecarga que provoca excesso de sulfatação, e carga e descarga muito rápidas resultando em superaquecimento das placas e desprendimento do material ativo.

O acúmulo de material liberado, por sua vez, causa curto-circuito entre as placas, resultando em descarga interna. Uma bateria que permaneça com carga baixa, ou descarregada por longo período de tempo, pode ficar permanentemente danificada.

Métodos de teste para baterias de chumbo-ácido

A situação de carga de uma bateria de acumuladores depende das condições dos seus materiais ativos, basicamente das placas. Entretanto, a condição de carga da bateria é indicada pela densidade do eletrólito, que é verificada pelo uso de um densímetro.

O densímetro comumente usado consiste em um pequeno tubo de vidro mais pesado na extremidade inferior, que flutua em posição vertical dentro de uma seringa, como mostrado na figura 8-109. Dentro do tubo existe uma escala na faixa de 1.100 a 1.300.

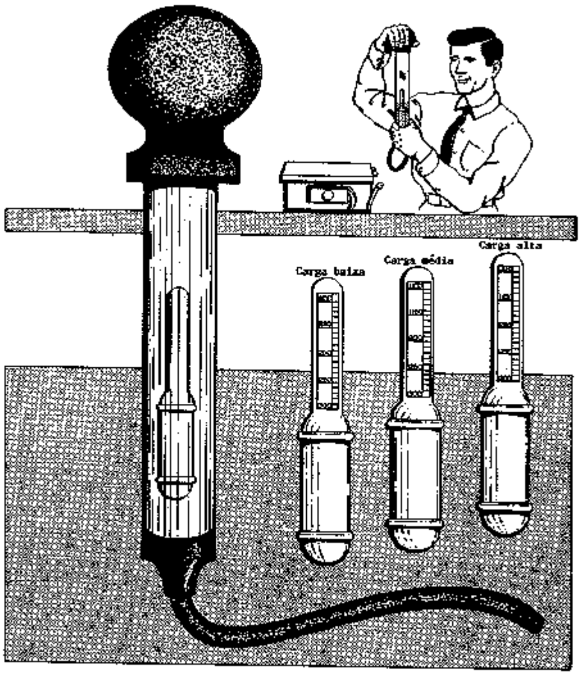


Figura 8-109 Densímetro (Leitura do peso específico).

Quando o densímetro está sendo usado, uma quantidade suficiente de eletrólito é sugada para o interior da seringa, e o tubo flutua indicando na escala a densidade de eletrólito. Quanto mais denso o eletrólito mais alto flutua o tubo, dentro da faixa indicada.

Numa bateria nova, totalmente carregada, o eletrólito é, aproximadamente, 30% de ácido e 70% de água (por volume), e é 1300 vezes mais pesado do que a água pura. Durante o processo de descarga, a solução (eletrólito) torna-se menos densa e seu peso específico entre 1.300 e 1.275 indica boa condição de carga; entre 1.275 e 1.240, condição média; entre 1.240 e 1.200, baixa condição de carga.

As baterias de aeronaves são, geralmente, de baixa capacidade, e sujeitas a grandes cargas. Os valores específicos para as condições de carga são ao contrário, altos.

Testes com densímetro são feitos periodicamente em todas as baterias de acumuladores instaladas em aeronaves. Uma bateria de aeronave com cerca de 50% da carga é considerada com necessidade imediata de recarga, devido a alta demanda de energia.

Quando testando uma bateria com densímetro, a temperatura do eletrólito deve ser considerada porque o peso específico varia com a mudança de temperatura.

Nenhuma correção é necessária quando a temperatura se encontra na faixa de 21ºC a 32ºC, porque a variação é considerada desprezível. Quando a temperatura estiver acima de 32ºC ou abaixo de 21ºC é necessário aplicar fator de correção. Alguns densímetros são equipados com escala de correção internamente. Outros densímetros implicam no uso de tabelas de correção fornecidas pelo fabricante.

O peso específico de uma célula só é confiável se, nada além de água destilada, tiver sido adicionado ao eletrólito para reposição de perda normal por evaporação.

As leituras do densímetro devem ser realizadas sempre antes da adição de água destilada, numca depois. Isto decorre da possibilidade de a água adicionada não se encontrar ainda perfeitamente misturada com o eletrólito, causando assim leitura falsa.

É necessário extremo cuidado quando realizando o teste com densímetro em uma bateria ácida, porque o eletrólito (ácido sulfúrico) pode queimar roupas, e também a pele. No caso do contato da pele com a solução é necessário lavar o local com bastante água, e aplicar bicarbonato de sódio.

Métodos de carga em baterias chumbo-ácido

Uma bateria de acumuladores pode ser recarregada pela aplicação de corrente contínua através da bateria, na direção oposta a de descarga da corrente. A voltagem usada precisa ser superior a da bateria sem carga, por causa de sua resistência interna. Por exemplo, no caso de uma bateria de 12 elementos (células), completamente carregada, com aproximadamente 26.4 volts (12 x 2.2 volts), são necessários 28 volts para carregá-la.

Esta voltagem maior é necessária por causa da queda de voltagem interna provocada pela resistência interna da bateria. Daí a voltagem de carga para uma bateria chumbo-ácido ter que ser igual a sua voltagem sem carga mais a queda de RI no interior da bateria (produto da corrente de carga e da resistência interna).

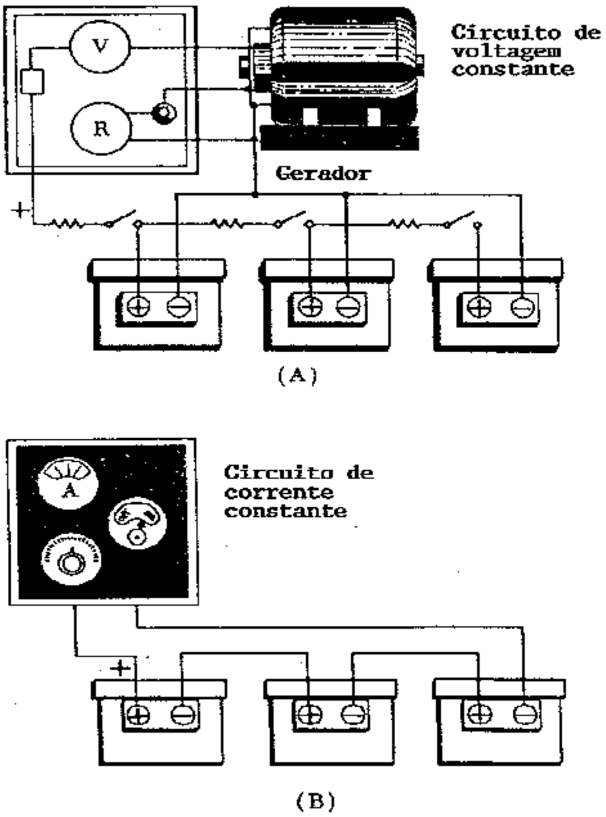

Circuito de voltagem constante
V
R
Gerador
+
(A)
Circuito de corrente constante
A
+
(B)

Figura 8-110 Métodos de carregamento de baterias

As baterias são carregadas tanto pelo método de corrente-constante quanto pelo de voltagem-constante (letra A da figura 8-110), um moto-gerador ajustado com voltagem constante, regulada, força a corrente através da bateria. Nesse método a corrente inicial do processo é alta, mas diminui automaticamente 1 ampère, quando a bateria está completamente carregada. O método de voltagem constante requer menos tempo e supervisão do que o método de corrente constante.

No método de corrente-constante (letra B da figura 8-110), a corrente se mantém quase constante durante o processo completo de recarga.

Esse método exige um tempo maior para carregar completamente a bateria, e necessita de acompanhamento para evitar sobrecarga, à medida que o processo avança para o final.

Na aeronave, a bateria de acumuladores é carregada por corrente contínua do sistema do gerador. Esse método corresponde ao de voltagem-constante, já que a voltagem de gerador é mantida constante pelo regulador de voltagem.

Quando uma bateria está sendo carregada, é produzida uma certa quantidade de hidrogênio e oxigênio. Como se trata de uma combinação de gases explosiva é importante adotar medidas de prevenção contra ignição desta mistura.

As tampas de ventilação devem ser afrouxadas e conservadas no lugar; evitar chamas, centelhas e outros pontos de ignição nas proximidades. Antes de se conectar e desconectar uma bateria, em carga, desliga-se sempre a energia, por meio de uma chave remota.

BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de níquel-cádmio existem já há bastante tempo, passando a ser amplamente usadas com o crescimento da aviação comercial e executiva à jato.

As vantagens desse tipo de bateria eram bem conhecidas, porém seu custo inicial era elevado em relação à bateria chumbo-ácido.

O aumento no uso de baterias de níquel-cádmio (freqüentemente chamadas de "ni-cad") evoluiu a partir de reconhecimento de seu longo tempo de vida, e também seu baixo custo de manutenção.

Adicionalmente, esse tipo de bateria requer pequeno tempo de recarga, é de excelente confiabilidade e boa capacidade de partida.

Constituição da célula de níquel-cádmio

Conforme as de tipo chumbo-ácido, a célula é o elemento básico da bateria de níquel-cádmio. A célula consiste em placas positivas e negativas, separadores, eletrólito, suspiros e reservatório ("container").

As placas positivas são feitas de uma chapa porosa, sobre a qual é depositado hidróxido de níquel. As placas negativas são feitas de chapas semelhantes, sobre a qual é depositado hidróxido de cádmio.

Em ambos os casos a chapa porosa é obtida pela fusão de pequenos grãos de níquel, formando uma fina malha (tela).

Após se depositar os materiais ativos e positivos sobre as placas, elas são cortadas no tamanho adequado. Uma barra de níquel é então soldada no canto de cada placa, que passa a formar um conjunto com as barras soldadas em terminais apropriados. As placas são separadas uma das outras por uma faixa contínua de plástico poroso.

O eletrólito usado nas baterias de níquel-cádmio é uma solução de 30% de hidróxido de potássio (KOH) em água destilada. O peso específico do eletrólito situa-se entre 1.240 e 1.300 à temperatura ambiente. Nenhuma mudança considerável ocorre no eletrólito durante a descarga. Daí não ser possível determinar as condições de carga da bateria pelo teste de peso específico do eletrólito. O nível de eletrólito deve ser mantido logo acima da parte superior das placas.

Funcionamento da célula de níquel-cádmio

Quando uma corrente de carga é aplicada a uma bateria de níquel-cádmio, as placas negativas perdem oxigênio e começam a formação de cádmio metálico.

O material ativo das placas positivas se torna mais altamente oxidados. Esse processo persiste enquanto a corrente de carga é aplicada, ou até que todo o oxigênio seja removido da placa negativa, e somente o cádmio permaneça.

Próximo do final do ciclo de carga as células emitem gás. Isto também ocorrerá se a célula estiver com sobrecarga. Esse gás surge da decomposição da água do eletrólito, em hidrogênio nas placas negativas e oxigênio nas placas positivas.

A voltagem, e também a temperatura, determinam quando ocorrerá a emissão de gás. Um pouco da água será consumida, por menor que seja a emissão de gás, até que a bateria esteja completamente carregada. A ação química é revertida durante a descarga.

As placas positivas lentamente liberam oxigênio, que é reabsorvido pelas placas negativas. Esse processo resulta na conversão de energia química em energia elétrica.

Durante a descarga as placas absorvem certa quantidade de eletrólito. Durante a recarga o nível do eletrólito aumenta, e quando completamente recarregada, o eletrólito estará no seu mais alto nível. Por conseguinte, só se deve adicionar água quando a bateria estiver totalmente carregada.

Baterias de níquel-cádmio e chumbo-ácido são normalmente intercambiáveis. Quando substituindo uma bateria ácida por níquel-cádmio, o compartimento da bateria deve ser limpo e enxugado, e precisa estar livre de qualquer resíduo de ácido da antiga bateria. O compartimento deve ser lavado e neutralizado com amônia ou solução de ácido bórico, e após completamente seco, ser pintado com um verniz resistente aos álcalis.

Manutenção de baterias de níquel-cádmio

Existem diferenças significantes nos cuidados requeridos pelas baterias de níquel-cádmio em relação à baterias ácidas. Os pontos mais importantes a serem observados são os seguintes:

(1) É necessário prover área separada para estocagem e manutenção das baterias níquel-cádmio, porque seu eletrólito é quimicamente incompatível com o ácido sulfúrico usado nas baterias ácidas, cujas emanações podem contaminar o eletrólito da bateria de níquel-cádmio. Esta precaução deve incluir os equipamentos, como ferramentas e seringas. Com efeito, toda e qualquer precaução deve ser adotada para afastar qualquer conteúdo ácido do local onde se lida com baterias de níquel-cádmio.

(2) O eletrólito (hidróxido de potássio) utilizado nas baterias de níquel-cádmio é extremamente corrosivo. Para manipular e trabalhar em baterias é necessário usar óculos de proteção, luvas e avental de borracha. Adequados meios de lavagem são necessários para o

caso de o eletrólito atingir à pele ou roupas. Tal exposição requer imediato enxaguamento com água ou vinagre, suco de limão ou solução de ácido bórico. Quando o hidróxido de potássio e a água estiverem sendo misturados, o hidróxido deve ser adicionado lentamente à água e nunca vice-versa.

(3) Violento centelhamento pode ocorrer, se for usada escova de cerdas metálicas para limpeza da bateria. Os plugues de ventilação devem ser mantidos fechados durante o processo de limpeza, e jamais devem ser usadas substâncias como ácidos, solventes ou soluções químicas. Eletrólito borrifado pode reagir com dióxido de carbono, formando cristais de carbonato de potássio. Estes, que não são tóxicos nem corrosivos, podem ser removidos com uma escova de fibra e um pano úmido. Quando o carbonato de potássio se forma sobre uma bateria, pode indicar que esteja sobrecarregada porque o regulador está desajustado.

(4) Nunca adicionar água à bateria antes de três ou quatro horas após estar completamente carregada. Caso necessário, usar apenas água destilada ou desmineralizada.

(5)Como o eletrólito não reage quimicamente com as placas, o peso específico do eletrólito não muda consideravelmente. Assim, não é possível determinar o estado de carga da bateria com o densímetro; também não pode ser determinado por teste de voltagem, porque a voltagem permanece constante durante 90% do ciclo de descarga.

(6)As baterias de níquel-cádmio devem ser verificadas a intervalos regulares baseados na experiência, já que o consumo de água varia com a temperatura ambiente e condições de operação. A intervalos maiores, a bateria deve ser removida da aeronave para teste de bancada. Se estiver completamente descarregada, algumas células podem atingir potencial zero e carga invertida, afetando a bateria de tal modo que ela não mantenha a total capacidade de carga, ela deve ser descarregada e cada célula colocada em curto-circuito, a fim de obter balanceamento de zero potencial, antes de recarregar a bateria. Esse processo é chamado de "equalização".

(7) A carga pode ser realizada tanto pelo método da corrente-constante quanto voltagem-constante. Para carga potencial constante, manter a voltagem de carga constante até que a corrente de carga diminua para 3 ampères ou menos, assegurando-se de que a temperatura da célula não ultrapasse de 37,7ºC. Para carga com corrente constante, começar e continuar até que a voltagem atinja o potencial desejado, então, reduzir o nível de corrente até 4 ampères, continuando a carga até sua voltagem necessária ou até que a bateria atinja a temperatura de 37,7ºC, e a voltagem comece a declinar.

A tabela de pesquisa de panes ("*trobleshooting*") delineada na figura 8-111 pode ser usada como guia na pesquisa de panes de baterias.

OBSERVAÇÃO	CAUSA PROVÁVEL	AÇÃO CORRETA
Carga contínua elevada - Carregando na voltagem-constante de 28,5 (± 0,1) volts, a corrente não cai abaixo de 1 ampère após carga de 30 minutos.	Células defeituosas.	Ainda durante a carga, teste as células. As que estiverem abaixo de 0,5 volts estão defeituosas e deverão ser substituídas.
Carga contínua elevada após a substituição das células defeituosas, ou a bateria não apresenta capacidade em ampère-hora.	Desequilíbrio das células.	Descarregue a bateria e curto-circuite (*short out*) as células individualmente durante oito horas. Carregue a bateria usando o método da corrente-constante. Verifique a capacidade e, se OK, recarregue no método corrente-constante.
Bateria com baixa capacidade.	Células desequilibradas ou defeituosas.	Repita o teste de capacidade e carregue pelo método de corrente-contínua, no máximo três vezes. Se a capacidade

		não se apresentar, substitua as células defeituosas.
Voltagem nula.	Falha total da bateria.	Verifique os terminais e todas as conexões elétricas. Verifique se há células secas. Verifique quanto a carga contínua elevada.
Precipitação excessiva de cristais brancos nas células (sempre haverá algum carbonato de potássio devido aos gases normais).	Derrame excessivo.	Bateria submetida a alta corrente de carga, alta temperatura ou nível elevado do líquido. Limpe a bateria, carregue pelo método de corrente-constante e verifique o nível do líquido. Verifique a operação do carregador.
Empeno do invólucro da célula.	Sobrecarga ou alta temperatura.	Substitua a célula.
Material estranho nas células - partículas pretas ou cinzentas.	Água impura, alta temperatura, alta concentração de KOH ou nível de água impróprio.	Ajuste a densidade e o nível do eletrólito. Verifique se há desequilíbrio de célula, ou substitua a célula defeituosa.
Corrosão excessiva das ferragens.	Folheado defeituoso ou danificado.	Substitua as peças.
Marcas de aquecimento ou cor azul nas ferragens.	Conexões frouxas ocasionando superaquecimento dos conectores ou ferragens entre as células.	Limpe as ferragens e aperte devidamente os conectores.
Consumo excessivo de água. Célula seca.	Desequilíbrio da célula.	Siga as mesmas instruções para “desequilíbrios das células” acima.

Figura 8-111 Pesquisa de panes de baterias de níquel-cádmio.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DE CIRCUITOS

A eletricidade, enquanto controlada apropriadamente, é de vital importância para a operação das aeronaves. Quando mal controlada, ela pode se tornar perigosa e destrutiva. Pode destruir componentes e até a própria aeronave. Pode causar danos pessoais, e até mesmo a morte.

É pois, da maior importância, que todas as precauções necessárias sejam adotadas para proteger os circuitos elétricos e as unidades na aeronave, e conservar esta energia sob controle adequado durante todo o tempo.

Dispositivos de proteção

Quando a aeronave é construída, é tomado o maior cuidado para garantir que cada circuito elétrico seja completamente isolado dos outros. Uma vez que a aeronave é colocada em serviço, muitas coisas, se ocorressem, causariam alterações nos circuitos originais. Algumas dessas mudanças podem significar sérios problemas, caso não sejam detectadas e corrigidas em tempo.

Talvez o problema mais sério num circuito seja "o curto direto". O termo descreve uma situação em que algum ponto no circuito, onde a voltagem total de um sistema esteja presente, venha a contatar diretamente a massa ou o lado de retorno do circuito, significando um caminho sem a devida resistência.

De acordo com a Lei de Ohm, se a resistência num circuito é pequena, a corrente será grande. Quando um curto direto ocorre, há excessiva corrente fluindo através da fiação.

Suponha-se que os cabos de uma bateria para um motor entrem em contato entre si, não somente o motor pararia de girar, porque a corrente estaria seguindo pelo "curto", mas iria se descarregar rapidamente; e haveria perigo de fogo.

Os cabos da bateria, neste exemplo, seriam fios muito grossos, capazes de suportar uma corrente muito alta. A maioria dos fios utilizados em circuitos elétricos de aeronaves são consideravelmente mais finos, e sua capacidade de conduzir corrente é bastante limitada.

A espessura do fio utilizado em determinado circuito é estabelecida pela quantidade de corrente que se espera fluir sob condições normais de funcionamento.

Qualquer fluxo de corrente excessivo, como no caso de curto direto, causaria uma rápida geração de calor.

Se o excessivo fluxo de corrente causado por um curto for desprezado, o calor continuará aumentando até ocorrer uma ruptura. É possível que apenas o fio derreta sem causar maiores danos, entretanto existe a possibilidade de resultar em danos maiores.

O aquecimento nos fios pode torrar ou queimar sua isolação e outros fios próximos, ocasionando mais curtos. Na presença de vazamentos de óleo ou combustível, pode ocorrer incêndio.

Para proteger os sistemas elétricos de aeronaves de danos ou falhas, causados por corrente excessiva, vários tipos de dispositivos de proteção são instalados nos sistemas. Fusíveis ("*circuit-breakers*") e protetores térmicos são utilizados para estes propósitos.

Dispositivos de proteção de circuito, conforme implícito no nome, têm um propósito comum - proteger as unidades e facção no circuito. Alguns são destinados, primariamente, para proteger a fiação e abrir o circuito, interrompendo o fluxo de corrente, no caso de sobrecarga. Outros são destinados a proteger a unidade no circuito, interrompendo o fluxo de entrada na unidade, quando esta apresenta-se excessivamente aquecida.

Fusíveis

Um fusível é uma tira de metal que fundirá sob excessivo fluxo de corrente, já que seu limite de condução é cuidadosamente prédeterminado.

O fusível é instalado no circuito de forma que toda a corrente flua através dele. Em sua maioria, eles são feitos de uma liga de estanho e bismuto.

Existem outros, que são chamados de limitadores de corrente; estes são usados primariamente para seccionar um circuito de aeronave.

Um fusível funde-se e interrompe o circuito quando a corrente excede a capacidade proporcionada por ele, mas um limitador de corrente suportará uma considerável sobrecarga, por um certo período de tempo.

Como o fusível é destinado a proteger o circuito, é de suma importância que sua capacidade venha a coincidir com as necessidades do circuito em que seja usado.

Quando um fusível é substituído é preciso consultar instruções aplicáveis do fabricante para certificar-se quanto ao tipo correto de capacidade.

Os fusíveis são instalados em dois tipos de suportes na aeronave: "*Plug-in holders*”, usados para fusíveis pequenos e de baixa capacidade; "*Clip*" é o tipo usado para fusíveis de grande capacidade e limitadores de corrente.

Quebra-circuitos (*Circuit breakers*)

Um quebra-circuito ("*circuit breakers*") é destinado a interromper o circuito e o fluxo de corrente quando a amperagem exceder um valor pré-determinado. É comumente usado no lugar de um fusível e pode, às vezes, eliminar a necessidade de um interruptor.

Um quebra-circuito difere de um fusível no fato de interromper rápido o circuito e poder ser religado, enquanto que um fusível funde e precisa ser substituído.

Existem vários tipos de quebra-circuitos, em geral, utilizáveis em sistemas de aeronaves. Um é o tipo magnético. Quando flui excessiva corrente, produz-se força eletromagnética suficiente para movimentar uma pequena armadura que dispara o "*breaker*".

Um outro tipo é a chave de sobrecarga térmica, que consiste de uma lâmina bimetálica, que, quando sofre sobrecarga de corrente se curva sobre a alavanca da chave provocando sua abertura. A maior parte dos quebra-circuitos devem ser religados com a mão. Quando é religado, se as condições de sobrecarga ainda existirem, ele desligar-se-á novamente, prevenindo danos ao circuito.

Protetores térmicos

Um protetor térmico, ou chave, é usado para proteger um motor. É destinado para abrir o circuito automaticamente, sempre que a temperatura do motor tornar-se excessivamente alta.

Há duas posições: aberto e fechado. O uso mais comum para uma chave térmica é impedir um superaquecimento do motor. Se algum defeito de um motor causar superaquecimento, a chave térmica interromperá o circuito intermitentemente.

Uma chave térmica contém um disco bimetálico, ou lâmina, que se curva e corta o circuito quando ele aquece. Isto ocorre porque um dos metais se dilata mais do que o outro, quando submetidos à mesma temperatura. Quando a lâmina ou disco esfria, os metais se contraem, retornando à posição original e fechando o circuito.

Dispositivos de controle

As unidades nos circuitos elétricos de uma aeronave não são todas destinadas a operar contínua ou automaticamente. A maioria delas é concebida para operar durante certas ocasiões, sob certas condições, para excecutar funções bastante definidas.

Existem muitas maneiras de controlar tais operações ou funcionamento. Tanto uma chave ou um relé, ou ambos, podem ser incluídos no circuito, com este propósito.

CHAVES OU INTERRUPTORES

As chaves controlam o fluxo de corrente na maioria dos circuitos elétricos de aeronaves. Uma chave é usada para ligar, desligar ou mudar o fluxo de corrente num circuito. A chave em cada circuito deve ser capaz de suportar a corrente normal, e tem que ter a isolação adequada para a voltagem do circuito.

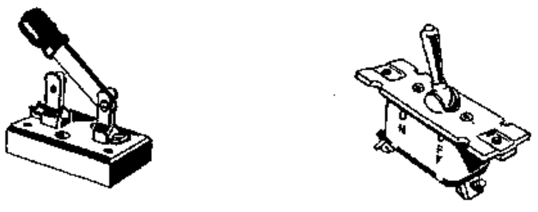


Figura 8-112 Chaves de um pólo, para circuito simples, do tipo faca e do tipo "*toggle*".

Chaves-facas são raramente usadas em aeronaves. Elas servem, aqui, de referência para melhor compreensão do funcionamento das chaves "*toggle*", que funcionam à semelhança das chaves-facas, mas suas partes móveis são embutidas. São mais utilizadas em aeronaves do que qualquer outro tipo de chave.

Chaves "*toggle*", bem como alguns outros tipos, são designadas pelo número de pólos, cursos e posições que tenham. Um desses pólos está no braço móvel ou *contactor*.

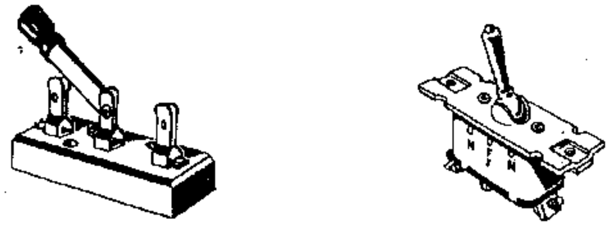


Figura 8-113 Chaves de um pólo, para dois circuitos, do tipo faca e do tipo "*toggle*".

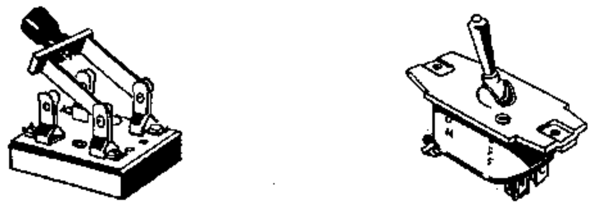


Figura 8-114 Chaves bipolares para circuito simples, do tipo faca e do tipo "*toggle*".

O número de pólos é igual ao número de circuitos, ou caminhos para a corrente através dos contatos da chave.

O número de posições é o número de lugares ou contatos de descanso, que fecham ou abrem um ou mais circuitos.

Uma chave bipolar que pode completar dois circuitos, um por vez em cada pólo, é uma chave bipolar de duas posições. Ambas, uma faca e outra "*toggle*", estão ilustradas com esta caracteristica na figura 8-115.

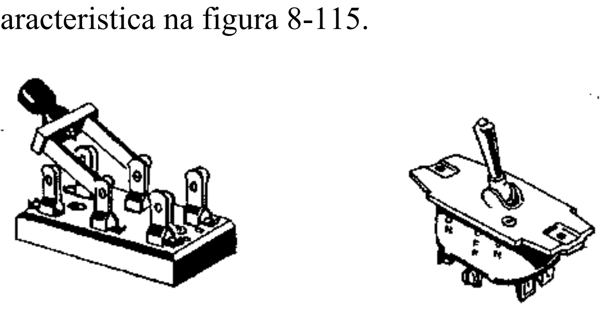


Figura 8-115 Chaves bipolares de duas posições, do tipo faca e do tipo "toggle" .

As representações esquemáticas para as chaves mais comumente usadas são mostradas na figura 8-116.

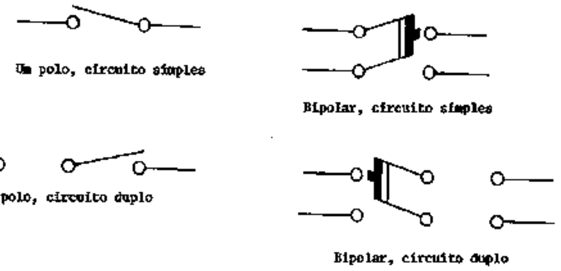


Figura 8-116 Representação esquemática de chaves ou interruptores típicos.

Uma chave "toggle" que se mantém na posição "OFF" (desligada) por ação de mola, e precisa ser segurada na posição "ON" (ligada) é uma chave de contato momentâneo de duas posições.

Uma que venha a ficar em repouso em qualquer das duas posições, abrindo o circuito de um lado e fechando do outro, é uma chave de duas posições.

Uma chave "*toggle*",que venha a ficar em repouso em qualquer das três posições, é uma chave de três posições.

Há chaves que permanecem abertas, exceto quando pressionadas na posição fechada. Outras que permanecem fechadas, exceto quando pressionadas na posição aberta. Ambos os tipos funcionam por pressão de mola, e retornam à posição normal imediatamente após serem liberadas.

Chaves "*push-button*"

São chaves que tem um contato estacionário e um contato móvel, que é fixado no botão de apertar.

O "*push-button*" é em si mesmo um isolador ou é isolado do contato.

Esta chave é à pressão de mola, e destinada a contatos momentâneos.

Microinterruptores ("*microswitches*")

Um microinterruptor fechará ou abrirá um circuito com um movimento muito pequeno do dispositivo de acionamento (1/16" ou menos). Isto é o que dá o nome a este tipo de chave, já que micro significa pequeno.

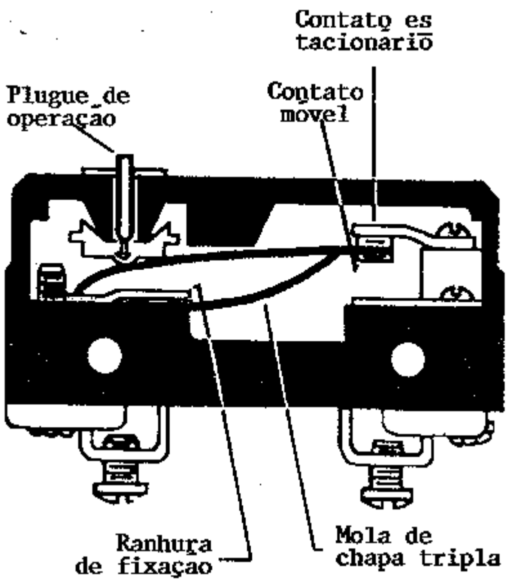


Figura 8-117 Vista em corte de um microinterruptor.

Microinterruptores são normalmente chaves "*push-button*". Eles são usados principalmente como chaves de controle para prover acionamento automático de trens de pouso, motores-atuadores e similares.

O diagrama na figura 8-117 mostra um *microswitch* em seção transversal fechado, e ilustra como opera. Quando o pistão de acionamento é pressionado, a mola e o contato móvel são empurrados, abrindo os contatos e o circuito.

Chaves de seleção giratória

Uma chave de seleção giratória substitui várias chaves. Conforme mostrado na figura 8-118, quando o botão de uma chave é girado, ela abre um circuito e fecha outro. Chaves de ignição e de seleção de voltímetros são exemplos típicos desse tipo de chave.

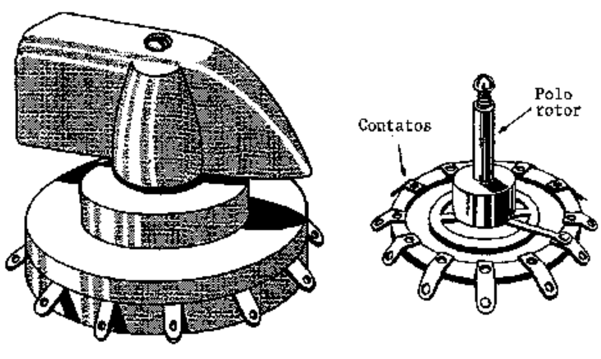


Figura 8-118 Chave de seleção giratória.

Relés

Relés ou chaves-relés são usadas para controle remoto de circuitos de grande amperagem.

Um relé é conectado no circuito entre a unidade controlada e a fonte de força mais próxima (ou barra condutora de força), de forma que os cabos conduzindo grande corrente sejam tão curtos quanto possível.

Uma chave-relé consiste de uma bobina, ou solenóide, um núcleo de ferro, um contato fixo e outro móvel. Um pequeno fio conecta um dos terminais da bobina (que é isolado do alojamento) à fonte de força, através de uma chave de controle, normalmente localizada na cabine.

O outro terminal da bobina é normalmente aterrado no alojamento. Quando a chave de controle é fechada, um campo eletromagnético é formado em torno da bobina.

Num certo tipo de chave-relé, um núcleo de ferro é fixado firmemente no lugar, dentro da bobina.

Quando a chave de controle é fechada, o núcleo é magnetizado e puxa a armadura de ferro-doce para si, fechando os contatos principais. Os contatos são mantidos abertos por ação de mola, como mostrado na figura 8-119.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético desaparece e a mola abre os contatos.

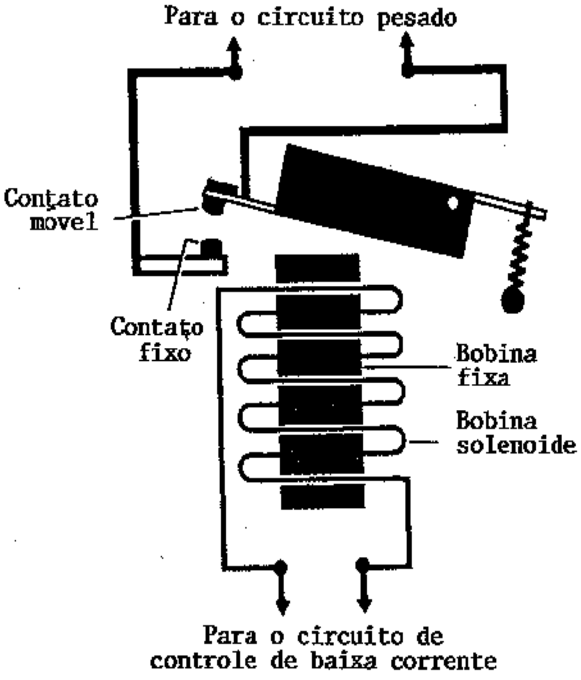


Figura 8-119 Relé de bobina fixa.

Em outro tipo de chave-relé, parte do núcleo é móvel. Uma mola mantém a parte móvel a pequena distância, externamente da parte fixa, conforme ilustrado na figura 8-120.

Quando a bobina é energizada, o campo magnético atrai a parte móvel do núcleo para o seu interior, vencendo a tensão da mola.

Como o núcleo se move para dentro, ele carrega os contatos móveis, que são fixados, mas isolados dele contra os contatos estacionários. Isto completa o circuito principal.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético cessa, e a mola retorna o núcleo móvel para sua posição original, abrindo os contatos principais.

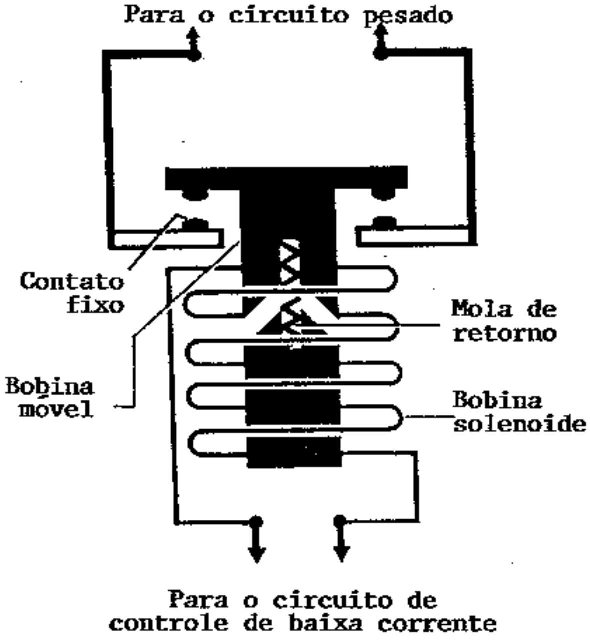


Figura 8-120 Relé de bobina móvel.

Os relés variam nos detalhes de construção de acordo com o uso a que se destinam. Quando selecionamos um relé a ser instalado num circuito, devemos nos certificar de que seja adequado para o fim a que se destina.

Alguns relés são feitos para operar continuamente enquanto outros são destinados a operar só intermitentemente.

A chave-relé de partida é feita para operar intermitentemente, e poderia superaquecer se usada continuamente.

A chave relé da bateria pode ser operada continuamente, porque sua bobina tem uma resistência razoavelmente alta, prevenindo o superaquecimento.

Num circuito conduzindo grande corrente, quanto mais rápido o circuito é aberto, menor será o centelhamento no relé, e os contatos queimarão menos.

Os relés, usados em circuitos com grandes motores, têm fortes molas de retorno para abrir o circuito rapidamente.

A maior parte dos relés usados nos circuitos de corrente alternada de uma aeronave é energizada por corrente contínua. Estes dispositivos serão abordados, como necessário, em outros tópicos a respeito dos dispositivos de corrente alternada.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE C.C.

Compreender o objetivo funcional e o funcionamento dos instrumentos de medição elétrica é muito importante, eles são utilizados em reparos, manutenção e pesquisa de panes (troubleshooting) de circuitos elétricos.

Embora alguns medidores possam ser usados concomitantemente para medição de circuito de C.C. e C.A., apenas os usados para C.C. serão abordados nesta seção.

Os outros serão discutidos adiante, oportunamente.

Efeitos da corrente

Os efeitos da corrente podem ser classificados como a seguir: químico, psicológico, fotoelétrico, piezoelétrico, térmico e eletromagnético.

Químico

Quando uma corrente elétrica atravessa certas soluções, ocorre uma reação, formando um depósitio sobre um eletrodo.

A quantidade desse depósito é proporcional a intensidade da corrente. Industrialmente, este processo é útil em eletrodeposição e eletrólise.

Embora o efeito químico seja proveitoso pela definição do padrão de amperagem (a intensidade da corrente causa a deposição de 0,001118 gramas de prata, em um segundo, de uma solução 15% de nitrato de prata), ela não é considerável no uso de medidores.

Fisiológico

O efeito fisiológico da corrente refere-se à reação do corpo humano a uma corrente elétrica. Um choque elétrico, embora doloroso às vezes, é muito difícil de avaliar quantitativamente e, por conseguinte, sem uso prático para uso de medidores.

Fotoelétrico

Quando elétrons golpeiam certos materiais uma incandescência aparece no ponto de contato.

O tubo de imagem de uma TV e o "*scope*" de um equipamento de radar ilustram este efeito.

Usar a intensidade da luz, produzida como um meio de medir a intensidade da corrente, não é preciso nem prático.

Piezoelétrico

Certos cristais como quartzo e sal de Rochelle ficam deformados quando é aplicada uma voltagem através de duas de suas faces.

Este efeito não é visível pelo olho humano, é pois, impraticável quanto ao uso de medidores.

Térmico

Quando flui corrente através de um resistor, produz-se calor. A quantidade de calor produzida é igual a I^2R.

Esta relação estabelece que o calor varia de acordo com o quadrado da corrente. São comuns os medidores que empregam o efeito térmico no seu funcionamento.

Eletromagnético

Sempre que os elétrons fluem através de um condutor é criado um campo magnético proporcional à corrente. Este efeito é útil para medir corrente e empregado em muitos medidores práticos.

Os quatro primeiros efeitos abordados, aqui, não têm importância prática para os medidores elétricos. Os dois últimos efeitos, térmico e magnético, são de uso prático em medidores.

Como a maioria dos medidores em uso tem movimentos D'Arsonval, operando devido ao efeito magnético, somente este tipo será discutido em detalhes.

Medidor d'Arsonval

O mecanismo básico de um medidor de C.C. é conhecido como D'Arsonval porque foi empregado pela primeira vez pelo cientista francês, D'Arsonval, para fazer medição elétrica. Este tipo de mecanismo é um dispositivo medidor de corrente, que é empregado em amperímetros, voltímetros e ohmímetros.

Basicamente, ambos, amperímetro e voltímetro são instrumentos medidores de corrente. A principal diferença é a maneira pela qual cada um é conectado no circuito.

O ohmímetro, que é basicamente um medidor de corrente, difere dos outros dois (voltímetro e amperímetro), porque contém a sua própria fonte de força e outros circuitos auxiliares.

Amperímetro

O amperímetro D'Arsonval é um instrumento destinado à medição da corrente contínua fluindo num circuito, e consiste das seguintes partes: um imã permanente, um elemento móvel, mancal e um estojo que inclui terminais, um mostrador e parafusos.

Cada parte e suas funções serão abordadas a seguir.

O imã permanente fornece o campo magnético, que reagirá, provocado pelo elemento móvel.

O elemento móvel é montado de tal forma, que fica livre para girar quando energizado pela corrente que irá medir, através de um ponteiro que se movimenta sobre uma escala calibrada, e é fixado no elemento móvel.

Um mecanismo de bobina móvel é mostrado na figura 8-121.

O elemento de controle é uma mola, ou molas, cuja função principal é manter uma posição inicial do ponteiro, e retorná-lo à posição de descanso.

Em geral, duas molas são usadas; elas são enroladas em direções opostas para compensar a expansão e contração do material, devido à variação de temperatura.

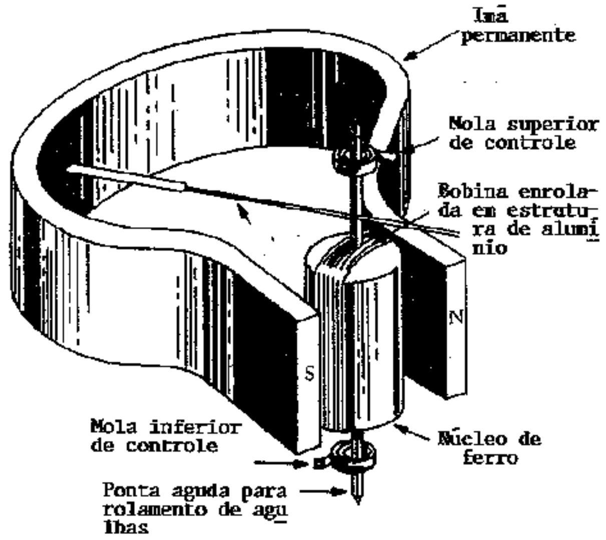

Imã permanente
Mola superior de controle
Bobina enrolada em estrutura de alumínio
N
S
Mola inferior de controle
Núcleo de ferro
Ponta aguda para rolamento de agulhas

Figura 8-121 Elemento de bobina móvel com ponteiro e molas.

As molas são feitas de material não-magnético e conduzem corrente para a bobina móvel em alguns medidores.

O elemento móvel consiste de um eixo 4para conduzir a bobina móvel ou outro elemento móvel (figura 8-121).

Os pivôs pontiagudos são montados em contato com rubis polidos, ou mancais de vidro muito claro, para que o elemento móvel possa girar com pouca fricção.

Um outro tipo de montante foi concebido, em que as pontas de pivô são invertidas e os mancais ficam dentro do conjunto da bobina móvel, conforme mostrado na figura 8-122.

Os mancais são pedras preciosas altamente polidas, tais como safiras ou pedras sintéticas, ou ainda, vidro muito rígido.

Tais pedras são normalmente arredondadas e têm uma cavidade cônica, na qual os pivôs giram.

São ajustadas em porcas roscadas que permitem regulagem. Isto limita a área de contato das superfícies e proporciona um mancal que, quando operando seco, certamente tem menor fricção constante do que qualquer outro tipo conhecido.

O estojo protege os movimentos do instrumento, bem como contra danos e exposição. Também tem visor para observação do ponteiro sobre a escala.

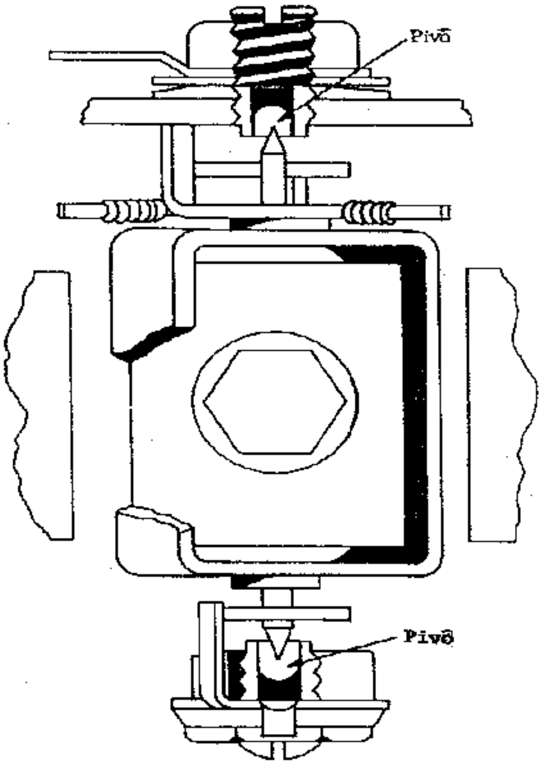


Figura 8-122 Método de montagem dos elementos móveis.

O mostrador tem impressas as informações, como: escala, unidades de medida e modos de uso. Os terminais são feitos de material com pequeníssima resistência elétrica. Sua função é conduzir a corrente necessária através de medidor ou daquilo que será medido.

Funcionamento da indicação do medidor

As unidades maiores são montadas conforme mostrado na figura 8-123. É observado que a parte da bobina do elemento móvel está no campo magnético do imã permanente.

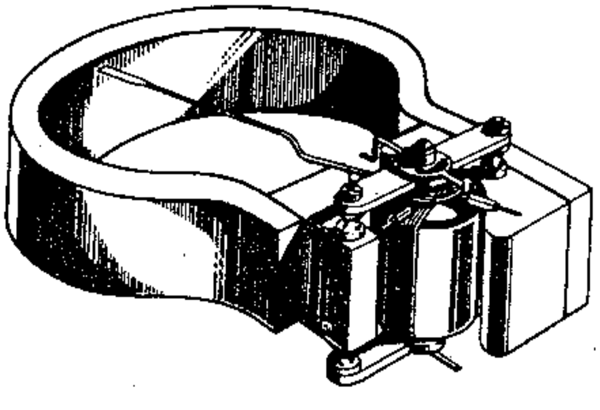


Figura 8-123 Movimento do medidor.

No sentido de entender como o medidor trabalha, admite-se que a bobina do elemento móvel está colocado no campo magnético, como mostrado na figura 8-124.

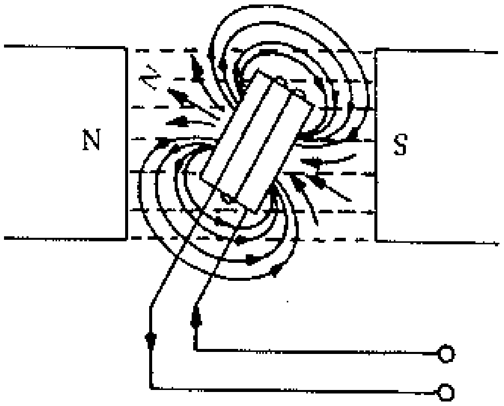


Figura 8-124 Efeito de uma bobina num campo magnético.

A bobina é fixada pelo pivô, e é capaz de girar para os dois lados dentro do campo magnético provocado pelo imã. Quando a bobina é conectada em um circuito, a corrente flui através dela na direção indicada pelas setas, e provoca um campo magnético por dentro.

Este campo tem a mesma polaridade que os pólos adjacentes do imã. A internação dos dois campos causa a rotação da bobina para uma posição de alinhamento dos campos.

Esta força de rotação (torque) é proporcional à interação entre os pólos iguais da bobina e do imã e, por conseguinte, à quantidade do fluxo de corrente na bobina.

Como resultado, um ponteiro fixado na bobina indicará a quantidade de corrente fluindo no circuito, movendo-se através de uma escala graduada.

Dentro do que acaba de ser exposto, observa-se que qualquer torque suficiente para superar a inércia e a fricção das partes móveis, provoca a rotação da bobina até que os campos se alinhem.

Esta deflexão descontrolada causaria leituras de corrente incorretas. Então são utilizadas duas molas para evitar movimentos de retorno da bobina.

O valor da corrente fluindo através da bobina determina a força rotativa dela mesma. Quando a força rotativa fica igual a de oposição das molas, a bobina pára, e o ponteiro indica a leitura da corrente sobre a escala graduada.

Em alguns medidores as molas são feitas de material condutor, e fazem a corrente passar pela bobina.

Para obter uma rotação no sentido dos ponteiros do relógio, o pólo norte do imã permanente e o correspondente da bobina precisam ser adjacentes. A corrente fluindo através da bobina deve, então, ser sempre na mesma direção.

O mecanismo D'Arsonval pode ser utilizado somente para medições de C.C., e a correta polaridade deve ser observada. Se a corrente fluir na direção errada, através da bobina, o ponteiro deflexionará no sentido anti-horário e danificará o ponteiro.

Como o movimento da bobina é diretamente proporcional ao fluxo de corrente através dela, a escala é normalmente linear.

Amortecimento

No sentido de que as leituras do medidor são mais rápidas e exatas, é desejável que o ponteiro móvel ultrapasse sua correta posição apenas um pouco, e venha a se estabilizar após não mais do que uma ou duas oscilações.

O termo "*damping*" é aplicado a métodos usados para estabilizar o ponteiro de um medidor elétrico, quando ele se movimenta durante a medição. O "*damping*" (amortecimento) pode ser obtido por meios elétricos, mecânicos ou ambos combinados.

Amortecimento elétrico

Um método comum de "*damping*" por meios elétricos é enrolar a bobina sobre uma armação de alumínio. Como a bobina se movimenta no campo de um imã permanente, surgirão correntes parasitas na armação de alumínio.

O campo magnético produzido por tais correntes se opõem ao movimento da bobina. O ponteiro, então, oscilará pouco, estabilizando-se mais rapidamente na marcação.

Amortecimento mecânico

O amortecimento a ar ("*Air damping*") é um método comumente empregado por meios mecânicos. Conforme mostrado na figura 8-125, a palheta é fixada no eixo do elemento móvel, ficando no interior de uma câmara de ar.

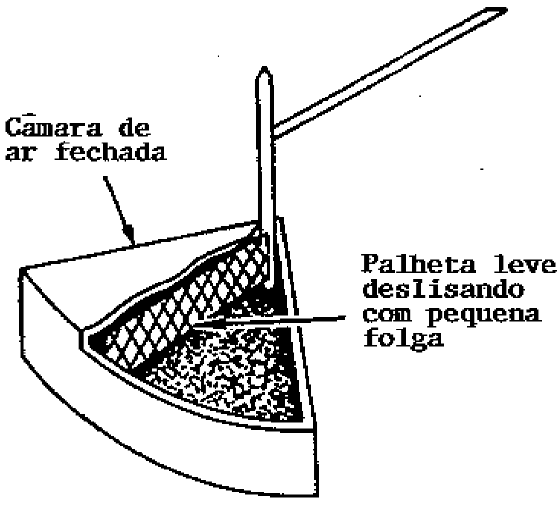


Figura 8-125 Amortecedor a ar.

O movimento do eixo é retardado por causa da resistência que o ar oferece à palheta. O efetivo amortecimento é obtido, se a palheta movimenta-se bem próximo às paredes da câmara.

Sensibilidade do medidor

A sensibilidade de um medidor é expressa como a quantidade de corrente necessária para dar a deflexão total na escala.

Adicionalmente, a sensibilidade pode ser expressa como o número de milivolts fluindo através do medidor sob fluxo de corrente na escala total.

Esta queda de voltagem é obtida pela multiplicação da escala total pela resistência do mecanismo do medidor.

Se tiver uma resistência de 50 ohms e demandar 1 miliampère (ma) para leitura da escala total, pode ser designado como um medidor de 0-1 miliampère e 50 milivolts.

Extensão da faixa de um amperímetro

Um mecanismo de miliamperímetro 0-1 pode ser usado para medir correntes maiores do que 1 ma, desde que se coloque um resistor em paralelo com ele.

O resistor é, então, chamado de "*shunt*" (derivação) porque permite o desvio de uma parte da corrente por fora do instrumento, estendendo a faixa do amperímetro.

Um desenho esquemático de um medidor com um "*shunt*" é mostrado na figura 8-126.

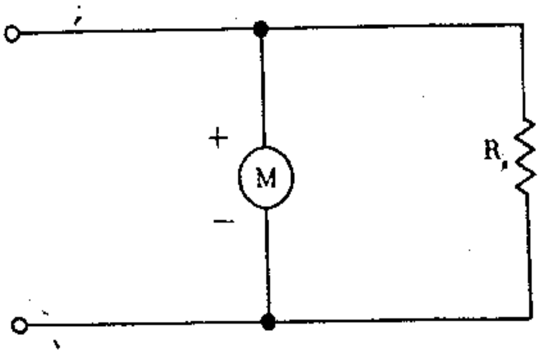


Figura 8-126 Movimento de medidor com derivação.

Determinação do valor de um "*Shunt*"

O valor de um resistor "shunt" pode ser calculado com a aplicação das regras para circuitos paralelos. Se um miliamperímetro 0-1 e 50 milivolts são para ser usados para medir corrente acima de 10 miliampères.

Alguns procedimentos podem ser empregados, como desenhar um esquema de um medidor com resistor "shunt" designado como R_S, conforme mostrado na figura 8-127.

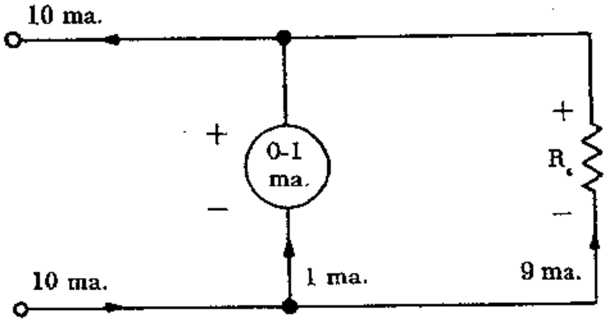


Figura 8-127 Circuito esquemático para resistor de derivação.

Desde que a sensibilidade do medidor seja conhecida, a sua resistência pode ser calculada. O circuito é, então, redesenhado como mostrado na figura 8-128, e as correntes ramificadas podem ser calculadas, já que um máximo de 1(um) ma é o que pode fluir através do medidor.

A queda de voltagem através de R_S é a mesma através do medidor, R_m:

$$\begin{aligned} E &= IR \\ &= 0{,}001 \times 50 \\ &= 0{,}050 \text{ volt} \end{aligned}$$

R_S pode ser encontrada pela aplicação da lei de Ohm:

$$R_S = \frac{E_{RS}}{I_{RS}} = \frac{0{,}050}{0{,}009} = 5{,}55$$

O valor do resistor "shunt" (5,55 Ω) é muito pequeno, mas este valor é crítico. Resistores usados como "*shunts*" devem ter tolerâncias limitadas, normalmente a 1%.

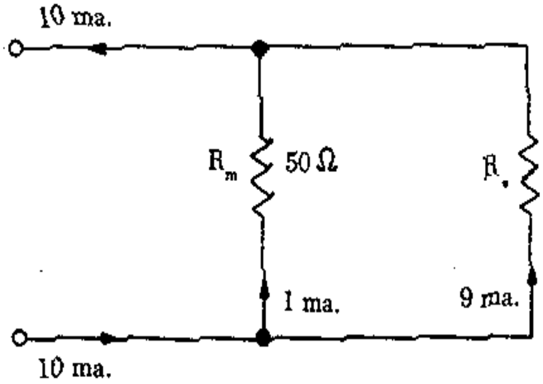


Figura 8-128 Circuito medidor equivalente.

"*Shunt*" universal para multímetro.

O desenho esquemático na figura 8-129 mostra uma disposição por meio da qual duas ou mais faixas são providas de derivações com resistores shunt em determinados pontos.

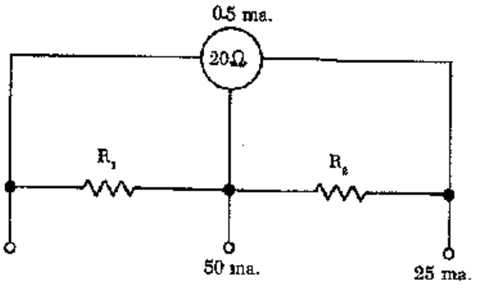


Figura 8-129 Amperímetro universal de derivação.

Neste arranjo, um instrumento de 0-5 ma com uma resistência de 20 ohms recebe "shunt" para prover uma faixa de 0-25m e uma de 0-50 ma.

Amperímetros que possuem "*shunts*" internos são chamados "*multirange*" (várias faixas).

Existe uma escala para cada faixa no mostrador (figura 8-130). Em alguns multímetros são evitadas as comutações internas através do uso de "shunts" externos.

A mudança de faixas implica na seleção e instalação do "shunt" adequado no estojo do medidor.

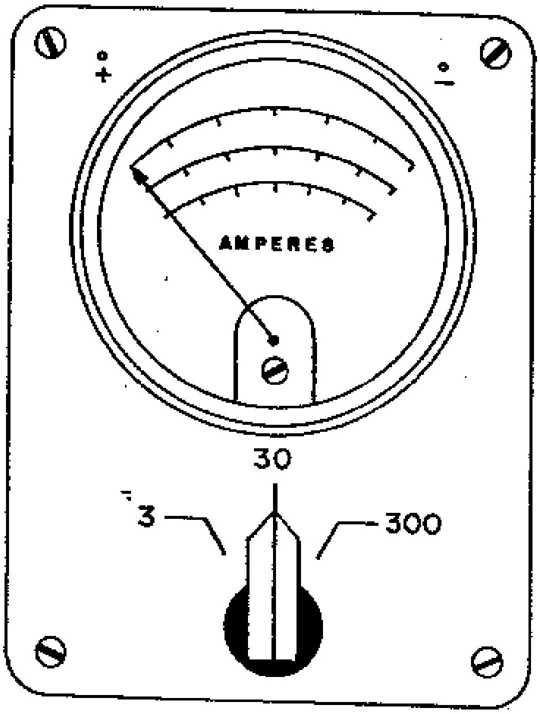


Figura 8-130 Amperímetro de várias faixas.

MULTÍMETROS

Amperímetros são comumente incorporados em instrumentos que têm propósitos múltiplos, tais como multímetros ou volt-ohm-miliamperímetros.

Estes instrumentos variam um pouco de acordo como modelo pertencente a diferentes fabricantes, mas a maioria incorpora as funções de um amperímetro, um voltímetro e um ohmímetro em uma só unidade.

Um multímetro típico é mostrado na figura 8-131. Este multímetro tem duas chaves seletoras: uma de função e a outra de faixa. O multímetro é de fato três medidores num único estojo. A chave de função deve ser posicionada apropriadamente para o tipo de medição a ser realizada.

Na figura 8-131, a chave de função é mostrada na posição amperímetro para medir miliampères de C.C., e a chave de faixa foi ajustada para 1000.

Ajustado, desta maneira, o amperímetro pode medir até 1.000 miliampères ou 1 ampère.

Os multímetros têm várias escalas, e a que estiver sendo usada deve corresponder propriamente ao posicionado na chave de faixas.

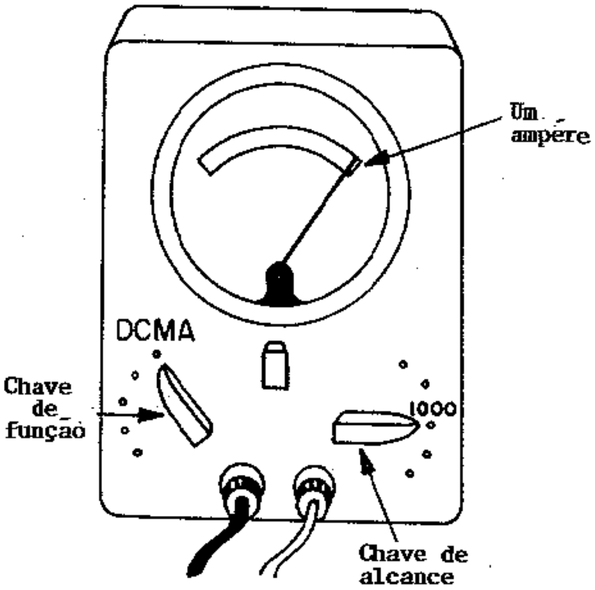


Figura 8-131 Multímetro selecionado para medir um ampère.

Ao ser medida corrente de valor desconhecido, seleciona-se sempre a faixa mais alta possível para evitar danos ao instrumento.

As pontas de teste devem ser conectadas ao medidor da maneira recomendada pelo fabricante. Normalmente, a ponta vermelha é positiva, e a preta é negativa ou comum. Muitos multímetros empregam encaixes com código de cor como auxílio para conectar o medidor no circuito a ser testado. Na figura 8-132, um multímetro devidamente ajustado para medir fluxo de corrente é ligado num circuito.

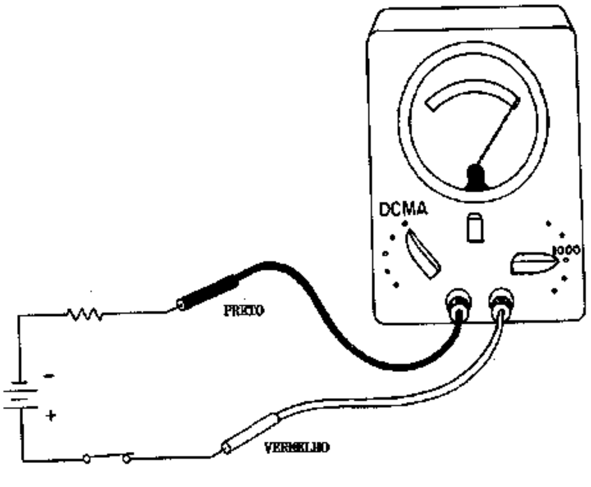


Figura 8-132 Multímetro selecionado para medir fluxo de corrente.

Os cuidados a serem observados quando se usa um multímetro são resumidos a seguir:

1. Sempre conectar o amperímetro em série com o elemento do qual a corrente será medida.

2. Nunca conectar um amperímetro através de uma fonte de voltagem, como bateria ou gerador. Lembrar que a resistência de um amperímetro, particularmente nas faixas mais altas, é extremamente baixa, e que qualquer voltagem, mesmo um volt ou mais, pode causar alta corrente através do medidor, danificando-o.

3. Utilizar faixa larga o suficiente para manter a deflexão abaixo do máximo da escala. Antes de medir uma corrente, ter idéia sobre sua magnitude. Em seguida, selecionar uma faixa larga o suficiente, ou começar pela faixa mais alta e ver diminuindo até achar a faixa correta. As leituras mais precisas são obtidas, aproximadamente, no meio curso de deflexão. Muitos miliamperímetros têm sido danificados pela tentativa de medir ampères. Portanto, certifique-se no mostrador e chave de seleção quanto à posição em uso, e escolha a escala correta antes de conectar o medidor num circuito.

4. Observar a polaridade correta ao conectar o medidor num circuito. A corrente deve fluir na bobina numa direção definida para mover o indicador obrigatoriamente para a parte superior da escala. A corrente invertida por causa de conexão incorreta no circuito resulta em deflexão invertida, e freqüentemente provoca empenamento da agulha do medidor. Evitar ligações incorretas, observando as marcas de polaridade no medidor.

VOLTÍMETROS

O medidor D'Arsonval pode ser usado tanto como amperímetro ou como voltímetro (figura 8-133). Então, um amperímetro pode ser convertido em voltímetro, colocando-se uma resistência em série com a bobina do medidor, e medindo-se a corrente que flui através dele. Em outras palavras, um voltímetro é um instrumento medidor de corrente, destinado a indicar voltagem pela medição do fluxo de corrente através de uma resistência de valor conhecido.

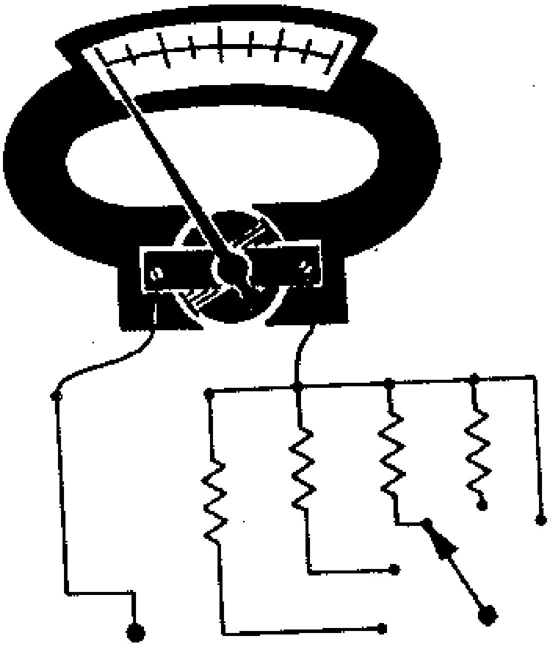


Figura 8-133 Diagrama simplificado de um voltímetro.

Variadas faixas de voltagens podem ser obtidas pela adição de resistores em série com a bobina do medidor. Nos instrumentos de faixa baixa esta resistência é montada dentro do estojo juntamente com o mecanismo D'Arsonval, e normalmente, consiste de fio resistivo de baixo coeficiente térmico que é enrolado tanto em carretéis como bases de cartão.

No caso de faixas mais elevadas de voltagem, a resistência em série pode ser conectada externamente. Quando isto é feito, a unidade que contém a resistência é comumente chamada de multiplicador.

Extensão de faixa do voltímetro

O valor das resistências, em série, é determinada em função da corrente necessária para deflexão total ("*full-scale*") de medidor, e pela faixa de voltagem a ser medida.

Já que a corrente através do circuito do medidor é diretamente proporcional à voltagem aplicada, a escala do medidor pode ser calibrada em volts para uma resistência fixa em série.

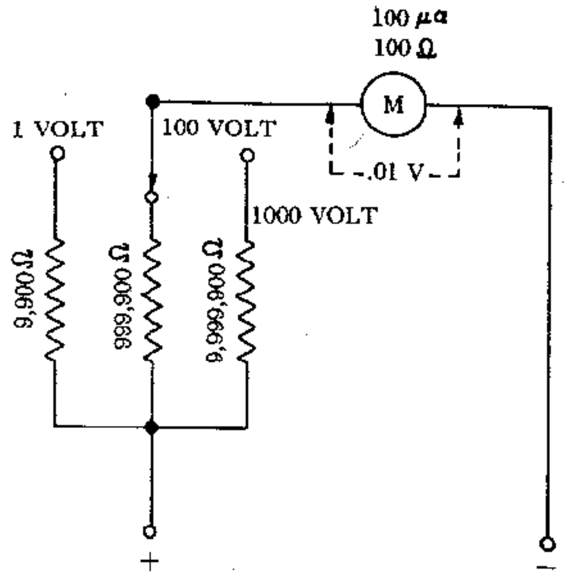


Figura 8-134 Esquema de um voltímetro de várias faixas.

Por exemplo, suponhamos que o medidor básico (microamperímetro) seja transformado num voltímetro com leitura máxima (*full-scale*) de 1 volt.

A resistência da bobina do medidor básico de 100 ohms e 0,0001 ampère (100 microampères) provocará a deflexão total. A resistência total, R, da bobina do medidor e a resistência em série será:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{0{,}0001} = 10.000 \text{ ohms}$$

e a resistência em série sozinha é de:

$$R_S = 10.000 - 100 = 9.900 \text{ ohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla (*multi-range*) utilizam um mecanismo de medição com as resistências necessárias conectadas em série, como medidor por dispositivo de comutação adequada. Um voltímetro "*multirange*" com três faixas com a faixa de 1 volt é:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{100} = 0{,}01 \text{ megohms}$$

$$\frac{100}{100} = 1 \text{ megohm}$$

$$\frac{1000}{100} = 10 \text{ megohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla, como os amperímetros de faixa múltipla, são usados freqüentemente.

Eles são fisicamente muito parecidos com os amperímetros; seus multiplicadores são localizados dentro do medidor com chaves adequadas ou posições de ajuste dos terminais na parte externa do medidor, para seleção das faixas (ver figura 8-135).

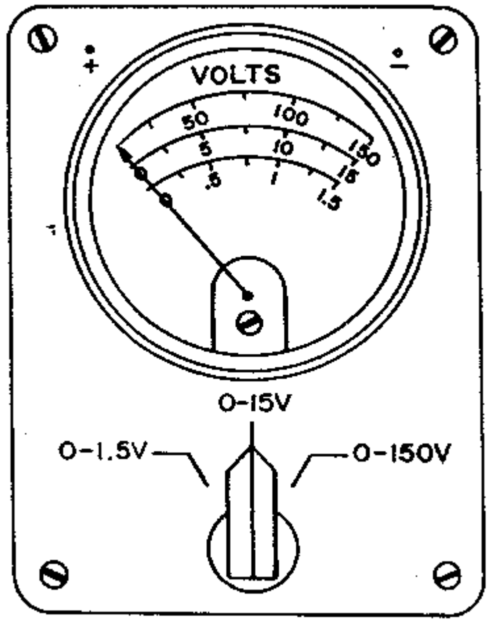


Figura 8-135 Típico voltímetro de várias faixas.

Os instrumentos de medição de voltagem são conectados em paralelo com um circuito. Se o valor aproximado da voltagem a ser medida não é conhecido, é melhor, conforme recomendado para o amperímetro, iniciar com a faixa mais alta do voltímetro, e ir abaixando a faixa progressivamente até atingir a leitura adequada.

Em muitos casos o voltímetro não é um instrumento com a indicação central do zero. Por isso é necessário observar a polaridade ao conectá-lo num circuito, da mesma forma praticada quando usando um amperímetro de C.C.

O terminal positivo de um voltímetro é sempre conectado no terminal positivo da fonte, e o terminal negativo ao terminal negativo da fonte, quando a voltagem desta está sendo medida. Na figura 8-136 um voltímetro é ligado corretamente num circuito para medir a queda de voltagem em um resistor. A chave de função está ajustada na posição "volts de C.C.", e a chave de faixa está colocada na posição "50 volts".

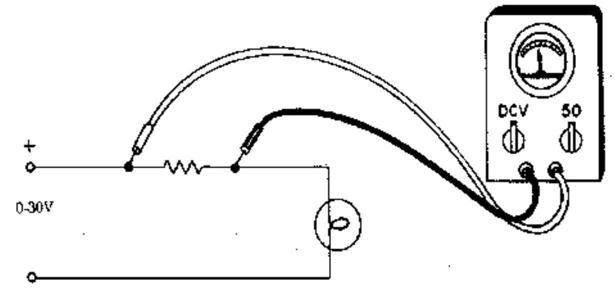


Figura 8-136 Multímetro conectado para medir a queda de voltagem de um circuito.

A função de um voltímetro é indicar a diferença potencial entre dois pontos em um circuito.

Quando um voltímetro é conectado através de um circuito, ele o desvia. Se o voltímetro tiver baixa resistência, puxará uma quantidade apreciável de corrente.

A efetiva resistência do circuito diminuirá, e a leitura da voltagem, conseqüentemente, diminuirá também.

Quando são feitas medições de voltagem em circuitos de alta resistência é necessário usar voltímetro de alta resistência para prevenir a ação de desvio do medidor.

O efeito é menos notável em circuitos de baixa resistência porque o efeito de desvio é menor.

Sensibilidade do voltímetro

A sensibilidade de um voltímetro é dada em ohms por volt (Ω/E), e é determinada pela divisão da resistência (R_m) do medidor mais a resistência em série (R_s) pela voltagem máxima da escala em volts. Assim,

$$sensibilidade = \frac{R_m + R_s}{E}$$

Isto é o mesmo que dizer que a sensibilidade é igual ao inverso da corrente (em ampères), que é,

$$sensibilidade = \frac{ohms}{volts} = \frac{1}{volts/ohms} = \frac{1}{ampères}$$

Daí, a sensibilidade de um instrumento de 100 microampères ser o inverso de 0,0001 ampères ou 10.000 ohms por volt.

A sensibilidade de um voltímetro pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade do imã permanente, usando-se materiais mais leves no elemento móvel, e usando-se mancal de pedra de safira para suportar a bobina móvel.

Precisão do voltímetro

A precisão de um medidor é geralmente expressa em porcentagem. Por exemplo, um medidor com uma precisão de 1% indicará um valor dentro de 1% do valor correto.

O que significa que, se o valor correto são 100 unidades, a indicação do medidor pode ser algo dentro da faixa de 99 a 101 unidades.

OHMÍMETROS

Dois instrumentos são comumente usados para testar continuidade ou para medir a resistência de um circuito ou elemento do circuito. Estes instrumentos são o ohmímetro e o megômetro.

O ohmímetro é amplamente usado para medir resistência e testar os circuitos elétricos e os dispositivos.

Sua faixa normalmente estende-se a alguns megohms.

O megômetro é largamente usado para medir resistência de isolação, tal como a resistência entre enrolamentos e a estrutura do maquinário, e para medir isolação de cabos, isoladores e embuchamentos. Sua faixa pode se estender a mais de 1.000 megohms.

Quando medindo resistências muito altas desta natureza, não é necessário achar o valor exato da resistência, mas saber se a isolamento se encontra abaixo ou acima de determinado padrão.

Quando há necessidade de precisão, algum tipo de circuito-fonte é usado.

Ohmímetro em série

Um esquema simplificado de um ohmímetro é mostrado na figura 8-137. "E" é a fonte de voltagem; R_1 é o resistor variável usado para ajustar o zero de medidor; R_2 é o resistor fixo usado para limitar a corrente no medidor; "A" e "B" são terminais de teste através dos quais é colocada a resistência a ser medida.

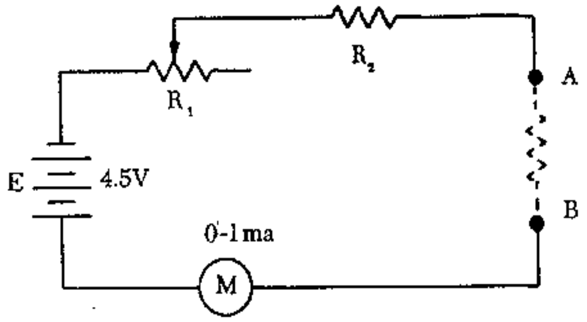


Figura 8-137 Circuito de um Ohmímetro.

Se "A" e "B" forem conectados entre si (curto-circuitados), o medidor, a bateria e os resistores R_1 e R_2 formam um circuito em série simples, com R_1 ajustado de tal modo que a resistência total no circuito seja 4.500 ohms, a corrente através do medidor é de 1 ma, e a agulha deflexiona para o máximo da escala.

Como não existe resistência entre "A" e "B", esta posição da agulha é determinada como zero (figura 8-138).

Se uma resistência de 4.500 ohms for colocada entre os terminais "A" e "B", a resistência total soma 9.000 ohms e a corrente fica em 0,5 ma.

Isto provoca deflexão da agulha em meia escala. Esta metade da escala, estabelecida como 4,5 KΩ, na leitura, sendo igual à resistência interna do medidor, neste caso 4.500 ohms.

Se for inserida uma resistência de 9.000 ohms entre os terminais "A" e "B", a agulha deflexiona 1/3 da escala.

Resistências de 13,5 K e 1.5 K colocadas entre os terminais A e B causam a deflexão de ¼ e ¾ da escala, respectivamente.

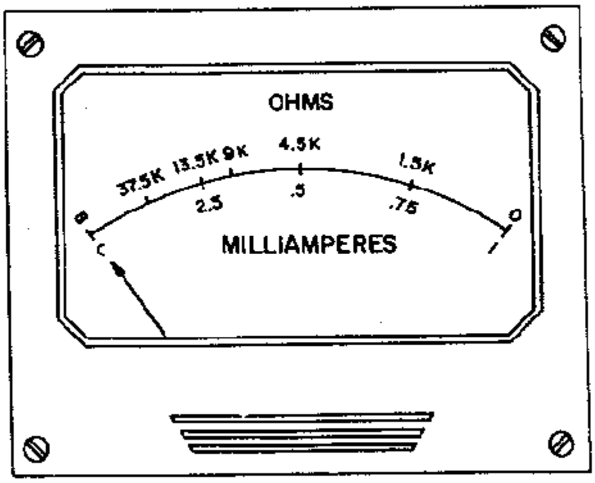


Figura 8-138 Escala típica de um Ohmímetro.

Se os terminais "A" e "B" permanecem desconectados (circuito aberto) não flui nenhuma corrente, e a agulha não se move, ficando em repouso no lado esquerdo da escala, que representa resistência infinita.

Uma escala típica de ohmímetro é mostrada na figura 8-138. Observa-se que a escala não é linear e as marcas vão se agrupando na extremidade que indica resistência mais alta. Por esta razão, é boa pratica usar uma faixa do ohmímetro em que a leitura não esteja muito longe da indicação intermediária da escala.

Uma boa regra é usar uma faixa em que a leitura obtida não exceda dez vezes, ou não seja menor do que um décimo da leitura intermediária da escala. A faixa útil da escala mostrada é, por esta regra, de 450 ohms a 45.000 ohms.

A maioria dos ohmímetros tem mais de uma escala. Escalas adicionais tornam-se possíveis pelo uso de valores variados de resistores de limitação e voltagens de bateria.

Ohmímetro em "*shunt*"

Ohmímetros tipo "*shunt*" (derivação) são empregados para medir pequenos valores de resistência. No circuito mostrado na figura 8-139, E (voltagem) é aplicada através de um resistor de limitação, R, e um multímetro em série.

Os valores da resistência e bateria são escolhidos, de tal modo, que o indicador do instrumento deflexiona totalmente na escala, quando os terminais A e B encontram-se abertos.

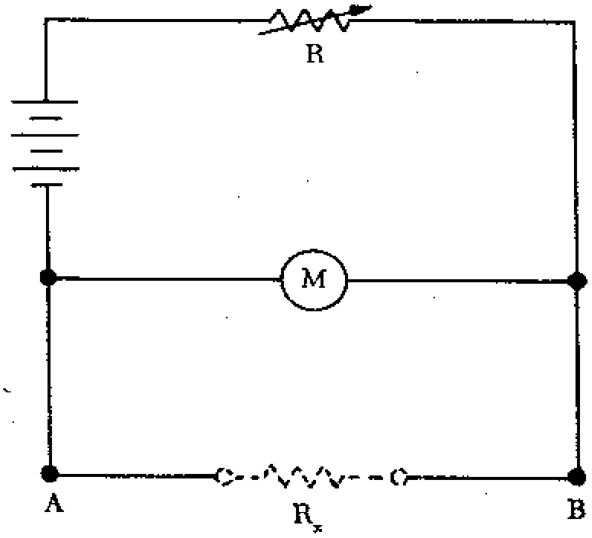


Figura 8-139 Circuito de um Ohmímetro tipo derivação.

Quando os terminais são colocados em “curto”, o medidor marca zero; o curto-circuito faz a corrente toda contornar o medidor. A resistência desconhecida, R_x, é colocada entre os terminais A e B, em paralelo com o mecanismo de medidor.

O valor do resistor de limitação, R, é normalmente grande, comparado com a resistência do medidor. Isto mantém a corrente demandada da bateria praticamente constante. Daí, o valor de R_2 determina quanto dessa corrente constante flui através do medidor e quanto através de R_2.

Observa-se que neste tipo de ohmímetro, a corrente está sempre fluindo da bateria através do medidor e do resistor de limitação. Portanto, quando usamos um ohmímetro com baixa escala de resistência, não deixamos a chave na posição inferior.

Uso do ohmímetro

O ohmímetro não é um aparelho de medição tão preciso quanto um voltímetro ou amperímetro, por causa dos circuitos associados. Assim, valores de resistências não podem ser lidos com precisão maior do que 5 a 10%. Entretanto, existem instrumentos que lêem a resistência de um elemento com enorme precisão, mas são normalmente mais complicados para o uso.

O ohmímetro também é bastante usado para testar continuidade num circuito. Freqüentemente, quando se pesquisa pane em um circuito ou fiação, a inspeção visual de todas as partes do caminho da corrente não pode ser prontamente realizada. Portanto, não é sempre visível se o circuito está completo ou se a corrente poderia estar fluindo numa parte errada do circuito, por causa do contato com circuitos adjacentes.

O melhor método para testar um circuito, nestas condições, é mandar uma corrente através dele. O ohmímetro é o instrumento ideal para testar circuitos desta maneira. Ele proporciona a energia, e mede se a corrente está fluindo.

Observa-se as seguintes precauções quando usando um ohmímetro:

(1) Escolher a escala que inclua o valor da resistência a ser medida. Em geral, usar uma escala em que a leitura caia na metade superior do indicador (para o lado que indica zero).

(2) Juntar as pontas de teste e ajustar o zero do medidor. Se trocar de escala, ajustá-lo novamente.

(3) Conectar a resistência desconhecida entre as pontas de teste, e ler o valor da escala. Nunca tentar medir resistência conectada num circuito com fonte de voltagem. Desconectar pelo menos um lado do elemento a ser medido para evitar leitura de resistência em paralelo.

Megômetro

O megômetro é um ohmímetro de alta faixa de indicação, contendo um gerador manual. É usado para medir resistência de isolação e outros valores elevados de resistência. Também é usado para testar aterramento, continuidade e “curto-circuito” em sistemas de força elétrica.

A principal vantagem de um megômetro sobre um ohmímetro é sua capacidade de medir resistência com um alto potencial, ou voltagem “de ruptura”.

Este tipo de teste é para que a isolação ou um material dielétrico não entre em “curto” ou tenha “vazamento” sob esforço elétrico potencial.

O megômetro (figura 8-140) consiste de dois elementos primários, ambos com campos magnéticos individuais de um imã permanente comum: (1) um gerador de C.C. manual, “G”, que fornece a corrente necessária para fazer as medições; e (2) a parte do instrumento que indica o valor da resistência sendo medida.

O instrumento é do tipo “bobinas opostas”.

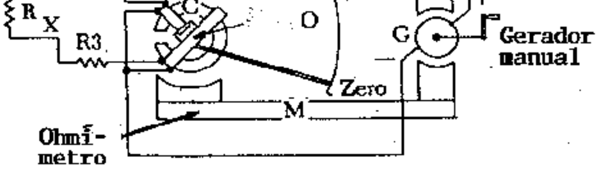


Figura 8-140 Circuito simplificado de um megômetro.

As bobinas “A” e “B” são montadas sobre o membro móvel, com uma relação angular fixa entre si, e estão livres para girar como uma unidade num campo magnético. A bobina “B” tensiona o ponteiro no sentido anti-horário e a bobina “A”, no sentido horário. As bobinas são montadas sobre um suporte leve, móvel, que é fixado por pivô em mancal de pedra preciosa e livre para mover-se no eixo “O”.

A bobina “A” é conectada em série com R_3 e a resistência desconhecida, R_x, a ser medida. A combinação em série da bobina A, R_3 e R_x é conectada entre as escovas (+) e (-) do gerador de C.C.

A bobina “B” é conectada em série com R_2, e esta combinação também é conectada através do gerador. Não há mola de limitação sobre o membro móvel da parte do instrumento do megômetro.

Quando o gerador não está em funcionamento, o ponteiro flutua livremente e pode ficar em repouso em qualquer posição na escala.

Se os terminais estiverem abertos, não flui corrente na bobina “A”, e a corrente na bobina “B” controla sozinha a movimentação do elemento móvel. A bobina “B” toma uma posição oposta à abertura do núcleo (já que o núcleo não pode mover-se e a bobina “B” pode) e o ponteiro indica infinito na escala.

Quando uma resistência é conectada entre os terminais, flui corrente na bobina “A”, tendendo a mover o ponteiro no sentido horário. Ao mesmo tempo, a bobina “B” tende a movimentar o ponteiro no sentido anti-horário. Por conseguinte o elemento móvel, composto por ambas as bobinas e o ponteiro, vem a se estabilizar numa posição em que as duas forças se equilibram. Tal posição depende do valor da resistência externa que controla a magnitude relativa da corrente da bobina “A”.

A posição do elemento móvel é independente da voltagem, porque mudanças na voltagem afetam ambas as bobinas, A e B.

Se for fechado o circuito, em “curto”, os terminais e o ponteiro são zerados, porque a corrente em “A” é relativamente grande. O instrumento não é danificado sob tais circunstâncias porque a corrente é limitada por R_3.

Existem dois tipos de megômetro normais: o tipo variável e o de pressão-constante. O primeiro tem a velocidade dependente da rapidez com que o eixo manual é girado; e o segundo utiliza um governador centrífugo, ou embreagem.

O governador torna-se efetivo quando a velocidade de operação excede àquela em que sua voltagem permanece constante.

ANÁLISE E PESQUISA DE DEFEITO EM CIRCUITO BÁSICO

Análise e pesquisa de defeito “*Troubleshooting*” é um processo de localização de mal funcionamento ou pane num circuito. As seguintes definições servem como um guia na discussão do “*troubleshooting*”:

(1) “Curto-circuito”- um caminho de baixa resistência. Pode ser através de uma fonte de força ou entre os lados de um circuito. Normalmente provoca alto fluxo de corrente que causa queima ou danifica os condutores ou componentes.

(2) Circuito aberto - um circuito não completo ou contínuo.

(3) Continuidade - o estado de ser contínuo ou conectado junto; refere-se a um circuito não-aberto.

(4) Descontinuidade - o oposto de continuidade, indicando que o circuito está interrompido.

A figura 8-141 inclui alguns dos elementos de circuitos abertos. Em “A” da figura 8-141, a extremidade de um condutor separou-se do terminal da bateria. Este tipo de defeito abre o circuito e interrompe o fluxo de corrente. Um outro tipo de defeito que causa interrupção do circuito é um resistor queimado, mostrado na letra “B” da figura 8-141.

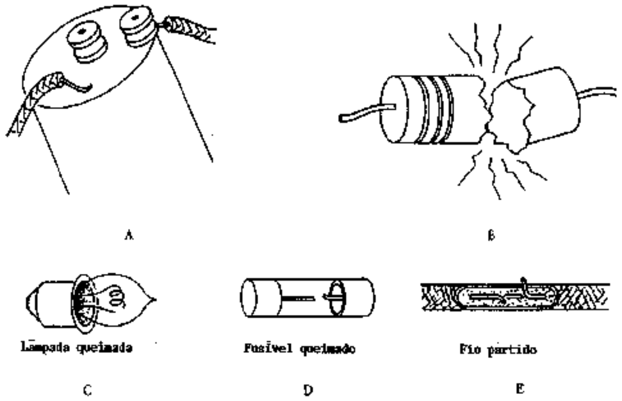


Figura 8-141 Causas comuns de abertura de circuitos.

Quando um resistor é sobrecarregado o valor de sua resistência modifica-se e, se o fluxo de corrente é suficientemente grande, ela pode se queimar e abrir o circuito. Em “C”, “D” e “E” da figura 8-141, mais três causas prováveis de circuitos abertos são mostrados.

As interrupções mostradas podem ser localizadas por inspeção visual, entretanto muitos circuitos abertos não podem ser vistos. Neste caso, deve ser usado um medidor.

O circuito mostrado na figura 8-142 destina-se a ocasionar fluxo de corrente através de uma lâmpada, entretanto, por causa de um resistor aberto, a lâmpada deixará de acender. Para localizar tal interrupção pode-se utilizar um voltímetro ou amperímetro.

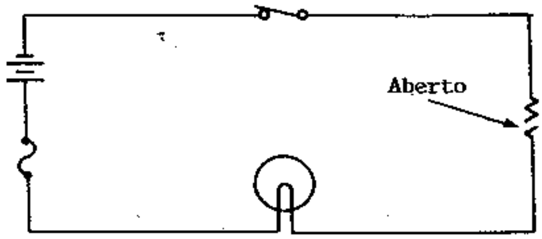


Figura 8-142 Um circuito aberto.

Se um voltímetro for conectado através da lâmpada, conforme mostrado na figura 8-143, a leitura será zero volts. Já que não existe corrente fluindo no circuito por causa do resistor aberto, não há queda de voltagem através da lâmpada. Isto ilustra uma regra de “*troubleshooting*” que deve ser relembrada: “quando um voltímetro é conectado através de um componente bom (sem defeito), num circuito aberto, o voltímetro indicará zero.”

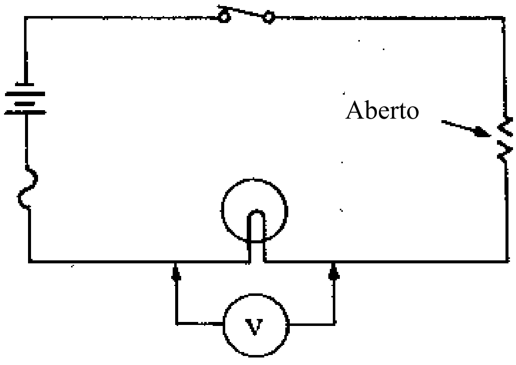


Figura 8-143 Voltímetro através de uma lâmpada em um circuito aberto.

Depois, o voltímetro é conectado através do resistor aberto, conforme mostrado na figura 8-144. O voltímetro fechou o circuito por fora do resistor queimado, permitindo o fluxo de corrente. A corrente fluirá do terminal negativo da bateria através da chave, passando pelo voltímetro e pela lâmpada, retornando ao terminal positivo da bateria. Todavia, a resistência do voltímetro é tão grande que apenas uma pequena corrente flui no circuito. A corrente é muito baixa para acender a lâmpada, mas o voltímetro mostrará a voltagem da bateria.

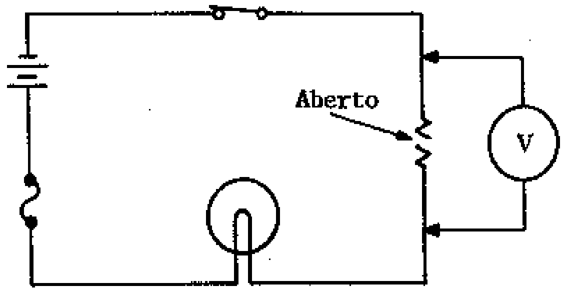


Figura 8-144 Voltímetro através de um resistor em um circuito aberto.

Um outro detalhe importante de “troubleshooting” a ser relembrado é: quando um voltímetro é colocado através de um componente aberto num circuito em série, marcará a voltagem aplicada, ou da bateria.

Este tipo de defeito do circuito aberto pode também ser pesquisado com uso de ohmímetro. Quando um ohmímetro é usado, o componente a ser testado deve ser isolado e a fonte de força ser removida do circuito. Neste caso, conforme mostrado na figura 8-145, estes requisitos podem ser conseguidos, desligando-se a chave do circuito. O ohmímetro é “zerado”e colocado através (em paralelo) da lâmpada. Neste circuito, algum valor de resistência é marcado.

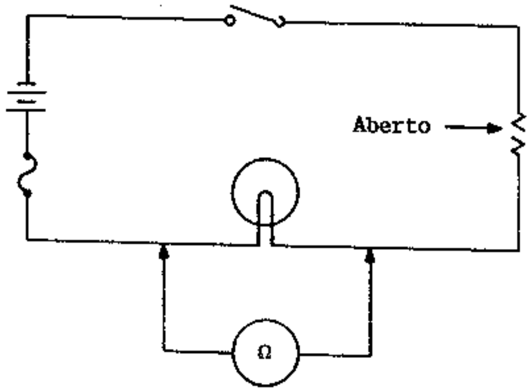


Figura 8-145 Usando um ohmímetro para testar um componente do circuito.

Isto ilustra um outro ponto de pesquisa de pane: quando um ohmímetro é conectado apropriadamente através de um componente do circuito, e uma leitura de resistência é obtida, o componente tem continuidade e não está aberto.

Quando o ohmímetro é conectado através de um resistor aberto, como mostrado na figura 8-146, indica resistência infinita ou uma descontinuidade.

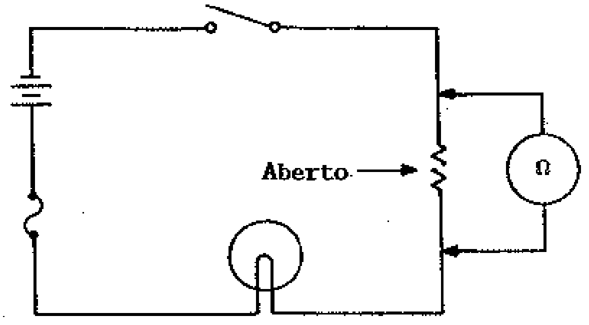


Figura 8-146 Usando um ohmímetro para localizar uma abertura em um componente do circuito.

Uma interrupção num circuito em série interromperá o fluxo de corrente. Um "curto-circuito" causará o efeito oposto. Um "curto" num circuito em série produz um fluxo de corrente maior do que o normal.

Alguns exemplos de "curtos", como mostrado na figura 8-147, são dois fios desencapados se tocando, dois terminais de um resistor ligados entre si, etc. Daí, um "curto" pode ser descrito como o contato de dois condutores de um circuito através de uma resistência muito baixa.

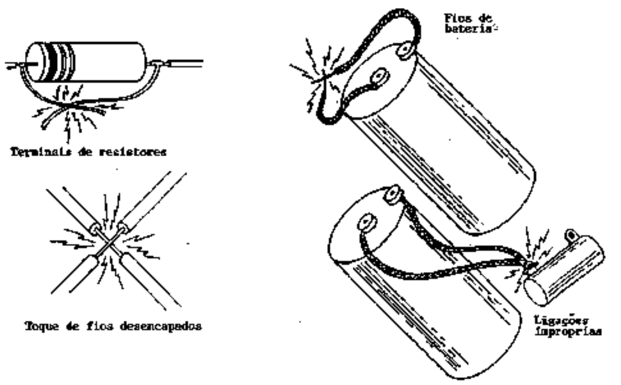


Figura 8-147 Causas mais comuns de curtos-circuitos.

Na figura 8-148, um circuito se destina a acender uma lâmpada. Um resistor é colocado no circuito para limitar o fluxo de corrente. Se o resistor ficar "em curto", conforme mostrado na ilustração, o fluxo de corrente aumentará e a lâmpada tornar-se-á mais brilhante. Se a voltagem aplicada se tornar excessiva, a lâmpada pode queimar, mas neste caso, o fusível protetor da lâmpada abre primeiro.

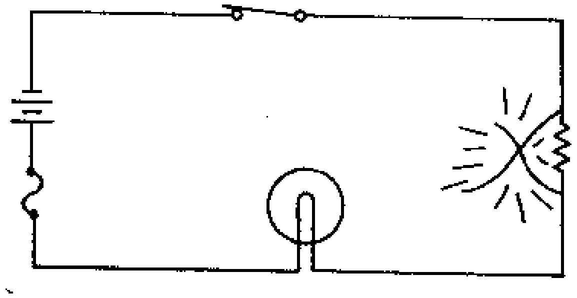


Figura 8-148 Resistor em curto circuito.

Normalmente, um "curto-circuito" ocasionará um circuito aberto, abrindo o fusível ou queimando um componente. Mas, em alguns circuitos, como aquele ilustrado na figura 8-149 pode haver resistores adicionais que não permitem que um resistor "em curto" aumente a corrente suficientemente para abrir o fusível ou queimar componente. Desta forma, com um resistor "em curto", o circuito ainda funcionará, desde que a potência dissipada pelos demais resistores não exceda a capacidade de fusível.

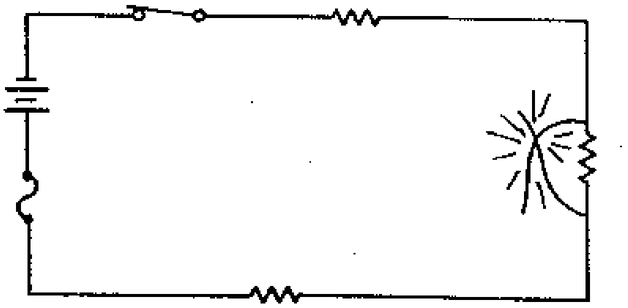


Figura 8-149 Um curto circuito que não interrompe o circuito.

Para localizar o resistor em curto enquanto o circuito está em funcionamento, pode-se usar um voltímetro. Quando ele é conectado através de qualquer resistor sem curto, uma parte da voltagem aplicada será indicada pelo voltímetro. Quando conectado através de um resistor em curto, o voltímetro marcará zero.

O resistor em curto mostrado na figura 8-150 pode ser localizado com um ohmímetro. Primeiro a chave é desligada para isolar os componentes do circuito. Na figura 8-150, este circuito é mostrado com um ohmímetro através de cada resistor.

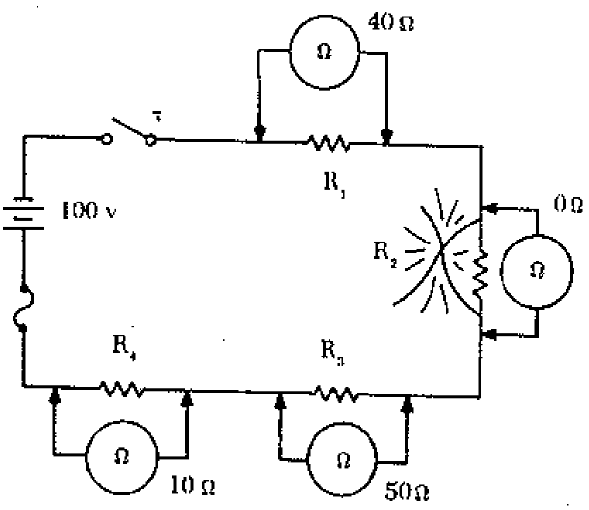


Figura 8-150 Usando um ohmímetro para localizar um resistor em curto.

Os procedimentos usados na pesquisa de pane num circuito em paralelo são, às vezes, diferentes dos usados nos circuitos em série. Diferente de um circuito em série, um circuito em paralelo tem mais de um caminho para a corrente fluir.

Um voltímetro não pode ser usado, já que quando é colocado através de um resistor aberto, ele marcará a queda de voltagem na ramificação paralela.

Mas um amperímetro ou o uso modificado do ohmímetro pode ser empregado para detectar uma derivação aberta num circuito em paralelo.

Se o resistor aberto mostrado na figura 8-151 não fosse aparente, visualmente, o circuito aparentaria estar funcionando apropriadamente, desde que a corrente continuasse a fluir na outra ramificação do circuito.

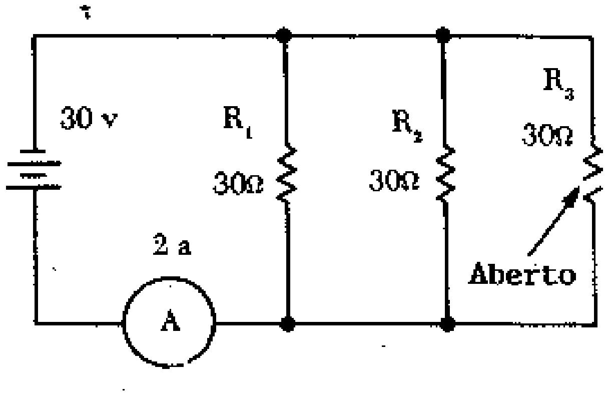


Figura 8-151 Detectando uma ramificação aberta em um circuito paralelo.

Para se determinar que o circuito está com defeito, a resistência total, a corrente total e as correntes dos braços podem ser calculadas como se não houvesse interrupção no circuito:

$$R_t = \frac{R}{N} = \frac{30}{3} = 10\Omega \textit{ resistência total}$$

Já que a voltagem aplicada nas derivações é a mesma e o valor da resistência de cada ramificação é conhecida, teremos:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \textit{ampère}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \textit{ampère}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \textit{ampère}$$

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{30v}{30\Omega} = 3 \textit{ampères (corrente total)}$$

Um amperímetro colocado num circuito para medir a corrente total poderia mostrar 2 ampères, em vez dos 3 ampères calculados, já que 1 ampère de corrente estaria fluindo através de cada ramificação, é óbvio que um deles esteja interrompido. Se um amperímetro é conectado nas derivações uma após outra, a que estiver aberta será localizada pela indicação zero do ohmímetro.

Uso modificado do ohmímetro pode também localizar este tipo de interrupção, conforme mostrado na figura 8-152, uma leitura errônea de continuidade seria obtida.

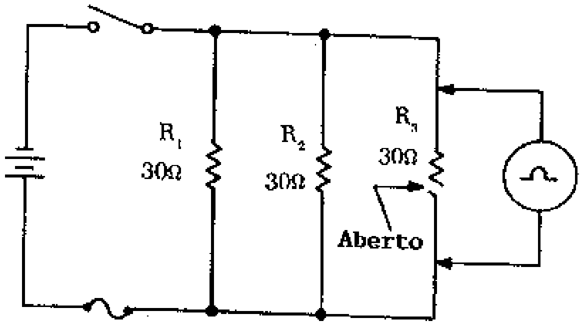


Figura 8-152 Uma falsa indicação no ohmímetro.

Ainda que a chave do circuito esteja aberta, o resistor aberto está, ainda, em paralelo com R_1 e R_2, e o ohmímetro indicaria que o resistor aberto tem uma resistência de 15 ohms, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_1 e R_2. Assim, é necessário abrir o circuito, conforme mostra a figura 8-153, para testar a resistência de R_3. Desta forma o resistor não é desviado pelo ohmímetro que indicará resistência infinita. De outro modo, se uma interrupção ocorresse neste circuito (figura 8-153), entre a bateria e o ponto "A", ou entre a bateria e o ponto "B", a corrente não fluiria no circuito.

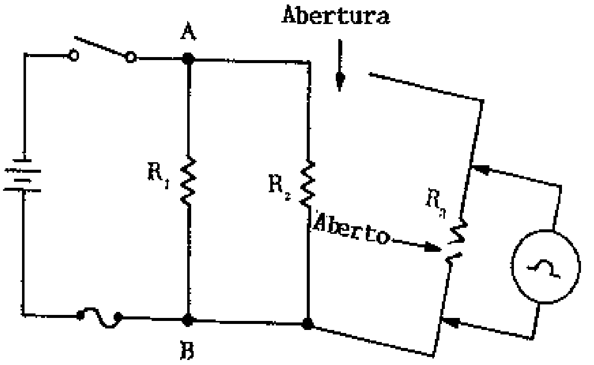


Figura 8-153 Abrindo uma parte do circuito para obter uma leitura acurada no ohmímetro.

Como num circuito em série, um "curto" num circuito em paralelo provocará, normalmente, um circuito aberto pela queima do fusível.

Mas, diferentemente de um circuito em série, um componente "em curto" num circuito em paralelo interromperá o fluxo de corrente causando a queima de fusível (ver figura 8-154).

Se o resistor R_3 entra "em curto", o caminho de resistência quase zero será oferecido à corrente, e toda a corrente do circuito fluirá através da ramificação contendo o resistor defeituoso.

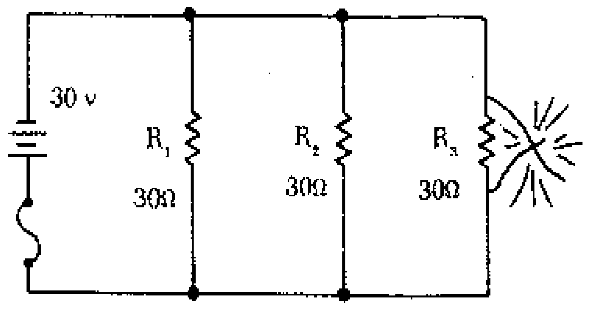


Figura 8-154 Um componente em curto causa a abertura do fusível.

Como isto é praticamente o mesmo que conectar um fio entre os terminais da bateria, a corrente elevar-se-á a um valor excessivo e o fusível queimará.

Como o fusível queima quase ao mesmo tempo em que o resistor entra "em curto", não há tempo para executar teste de corrente ou voltagem.

Daí, a pesquisa de pane num circuito de C.C., em paralelo, para um componente "em curto", pode ser realizada com um ohmímetro. Mas, como no caso de teste de um resistor aberto, num circuito em paralelo um resistor "em curto" pode ser detectado com um ohmímetro somente se uma das extremidades do resistor por desconectada.

A pesquisa de pane num circuito resistivo em série-paralelo envolve a localização de defeitos por processo semelhante ao empregado nos circuitos em série ou paralelo.

No circuito mostrado na figura 8-155, uma interrupção ocorreu na parte em série.

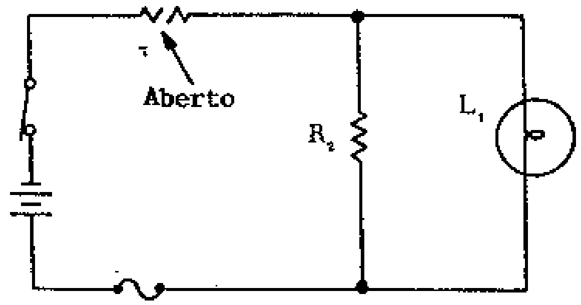


Figura 8-155 Uma abertura na parte em série de um circuito em série-paralelo.

Quando acontece uma interrupção em qualquer lugar da parte em série de um circuito em série-paralelo, o fluxo de corrente pára em todo o circuito. Neste caso, o circuito não funcionará e a lâmpada, L_1, não acenderá.

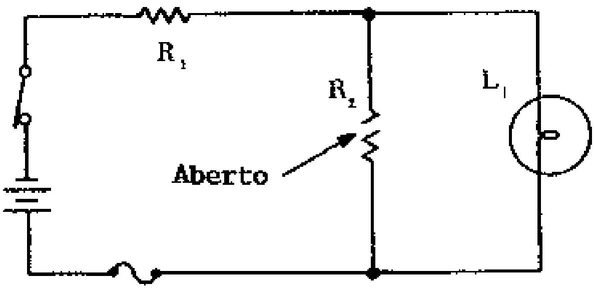


Figura 8-156 Uma abertura na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo.

Se uma interrupção ocorre na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo, conforme mostrado na figura 8-156, parte do circuito continuará a funcionar.
Neste caso, a lâmpada continuará acesa, mas seu brilho diminuirá, já que a resistência total do circuito aumentou e a corrente diminuiu.

Se uma interrupção acontece na derivação contendo a lâmpada, conforme mostrado na figura 8-157, o circuito continuará a funcionar com a resistência aumentada e a corrente diminuída, mas a lâmpada não acenderá.

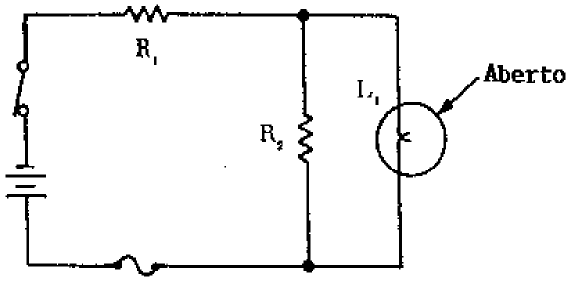


Figura 8-157 Uma lâmpada queimada em um circuito em série-paralelo.

Para explanar como o voltímetro e o ohmímetro podem ser usados para pesquisar circuitos em série-paralelo, o circuito mostrado na figura 8-158 foi assinalado em vários pontos.

Conectando-se um voltímetro entre os pontos A e D, a bateria e a chave podem ser testados quanto a interrupção. Conectando-se o voltímetro entre os pontos A e B pode-se testar a queda de voltagem através de R_1.

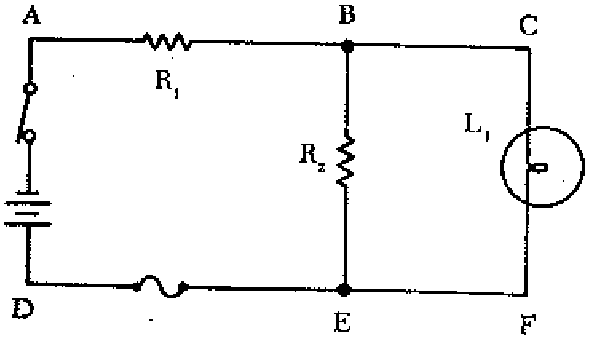


Figura 8-158 Usando um voltímetro para pesquisar panes em um circuito em série-paralelo.

Esta queda de voltagem é uma parte da voltagem aplicada. Também, se R_1 for interrompido, a leitura entre B e D será zero.

O condutor entre o terminal positivo da bateria e o ponto "E", bem como o fusível, podem ser testados quanto à continuidade, com a colocação do voltímetro entre os pontos A e E. Se o condutor ou o fusível estiver aberto, o voltímetro indicará zero.

Se a lâmpada estiver acendendo, é óbvio que não há interrupção na ramificação em que ela se encontra, e o voltímetro poderia ser usado para detectar uma interrupção na ramificação contendo R_2, desde que a lâmpada L_1, seja removida do circuito.

Pesquisar defeito na parte em série de um circuito em série-paralelo não apresenta dificuldade, mas na parte em paralelo podem ser obtidas leituras (marcações) enganosas.

Um ohmímetro pode ser usado para pesquisar este mesmo circuito. Com a chave aberta, a parte em série do circuito pode ser testada colocando-se as pontas de teste do ohmímetro entre os pontos A e B. Se R_1 ou o condutor estiver aberto, o ohmímetro marcará infinito; se não estiver aberto, o valor do resistor será indicado pelo instrumento.

Entre os ponto D e E, o fusível e o condutor podem ser testados quanto à continuidade, mas a parte em paralelo de circuito requer cuidados a fim de evitar medições equivocadas. Para testar entre os pontos B e E, a ramificação deve ser desconectada num desses pontos, e enquanto um deles estiver aberto, a derivação contendo a lâmpada pode ser testada com um ohmímetro.

Um "curto" na parte em série de um circuito em série-paralelo provoca diminuição na resistência total, que causará aumento da corrente total.

No circuito mostrado na figura 8-159, a resistência total é 100 ohms e a corrente total é 2 ampères. Se R_1 entra em "curto", a resistência total muda, para 50 ohms e a corrente total dobra para 4 ampères.

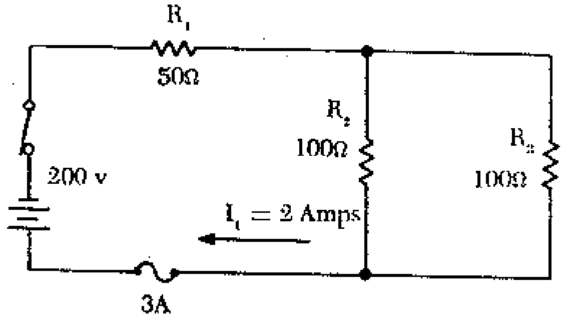


Figura 8-159 Encontrando um curto-circuito em um circuito em série-paralelo.

No circuito mostrado, isto provocaria a queima de fusível, mas se o fusível fosse de 5 ampères o circuito permaneceria funcionando. O resultado poderia ser o mesmo se R_1 ou R_3 tivesse entrado em "curto".

A resistência total, em todo caso, cairia para 50 ohms. Disto, pode ser afirmado que, quando ocorre um "curto"num circuito em série-paralelo, a resistência total diminuirá e a corrente total aumentará. Um "curto", normalmente causará uma interrupção no circuito, seja queimando o fusível ou danificando um componente do circuito. E, no caso de uma interrupção, um "curto" num circuito em série-paralelo pode ser detectado tanto com um ohmímetro quanto com um voltímetro.

CORRENTE ALTERNADA E VOLTAGEM

A corrente alternada tem substituído largamente a corrente contínua nos sistemas de energia comercial, por uma série de motivos. Pode ser transmitida a longas distâncias mais rápida e economicamente do que a corrente contínua, já que as voltagens de C.A. podem ser aumentadas ou diminuídas por meio de transformadores.

Porquanto, mais e mais unidades estão sendo operadas eletricamente em aeronaves; a demanda de energia é tal, que consideráveis vantagens podem ser obtidas pelo uso de C.A. Peso e espaço podem ser economizados, já que os equipamentos de C.A., especialmente os motores, são menores e mais simples do que os dispositivos de C.C.

Na maior parte dos motores de C.A. não são necessárias escovas, e o problema de comutação em altitude elevada é eliminado. "*Circuit-breakers*" opera satisfatoriamente sob carga num sistema de C.A. em altitudes elevadas, enquanto que o centelhamento é mais intenso nos sistemas C.C., obrigando a trocas freqüentes de "*circuit-breakers*".

Finalizando, a maior parte das aeronaves, usando sistema de corrente contínua de 24 volts, têm equipamentos específicos que requerem certa quantidade de corrente alternada com 400 ciclos.

C.A e C.C. comparadas

Muitos dos princípios, características e efeitos da corrente alternada são similares aos da corrente contínua. Também existem diferenças que ainda serão explanadas.

A corrente contínua flui constantemente, numa única direção com uma polaridade constante. Modifica a intensidade somente quando o circuito é aberto ou fechado, conforme mostrado na forma de onda de C.C., na figura 8-160.

A corrente alternada muda de direção a intervalos regulares, aumenta em valor a razão definida, de zero à máxima intensidade positiva e diminui até zero.

Formas de ondas C.A. e C.C. são comparadas na figura 8-160.

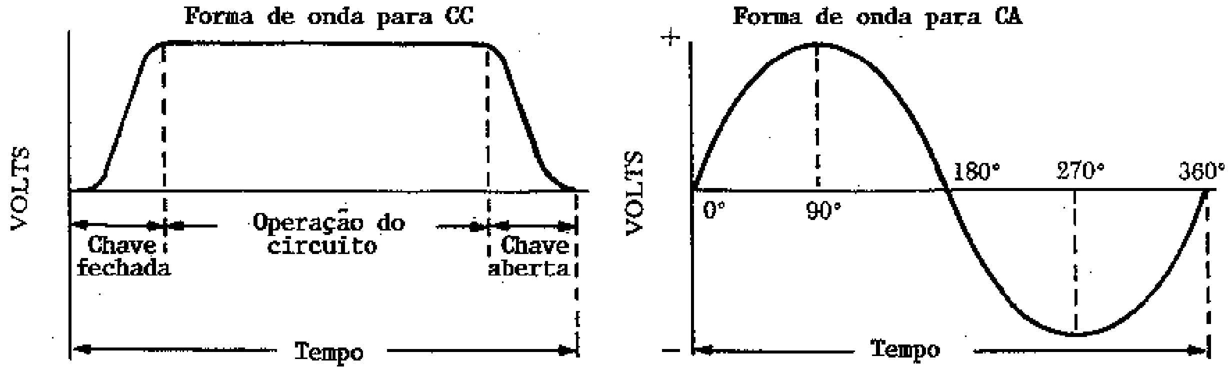


Figura 8-160 Curvas de voltagem de C.C. e de C.A.

Posto que a corrente alternada muda constantemente a intensidade e direção, dois efeitos que não ocorrem nos circuitos de C.C., ocorrem nos de C.A. São eles a reatância indutiva e a reatância capacitiva. Ambos serão discutidos adiante, neste capítulo.

Princípios do gerador

Após a descoberta de que uma corrente elétrica fluindo cria um campo magnético em torno do condutor, havia considerável especulação científica sobre a possibilidade de um campo magnético poder criar um fluxo de corrente num condutor.

Em 1831, o cientista inglês Michael Faraday demonstrou que isto poderia ser realizado. Esta descoberta é a base do funcionamento do gerador, que assinalou o início da "Era da Eletricidade". Para mostrar como uma corrente elétrica pode ser criada por um campo magnético, uma demonstração semelhante à ilustrada na figura 8-161 pode ser usada. Várias voltas de um condutor são enroladas em torno de um miolo cilíndrico, e as extremidades do condutor são conectadas juntas, para formar um circuito completo que inclui um galvanômetro.

Se um imã simples em barra for inserido no cilindro, pode-se observar que o galvanômetro deflexiona da sua posição zero numa direção (A da figura 8-161).

Quando o imã está imóvel dentro de cilindro, o galvanômetro mostra uma leitura zero, indicando que não há corrente fluindo (B da figura 8-161).

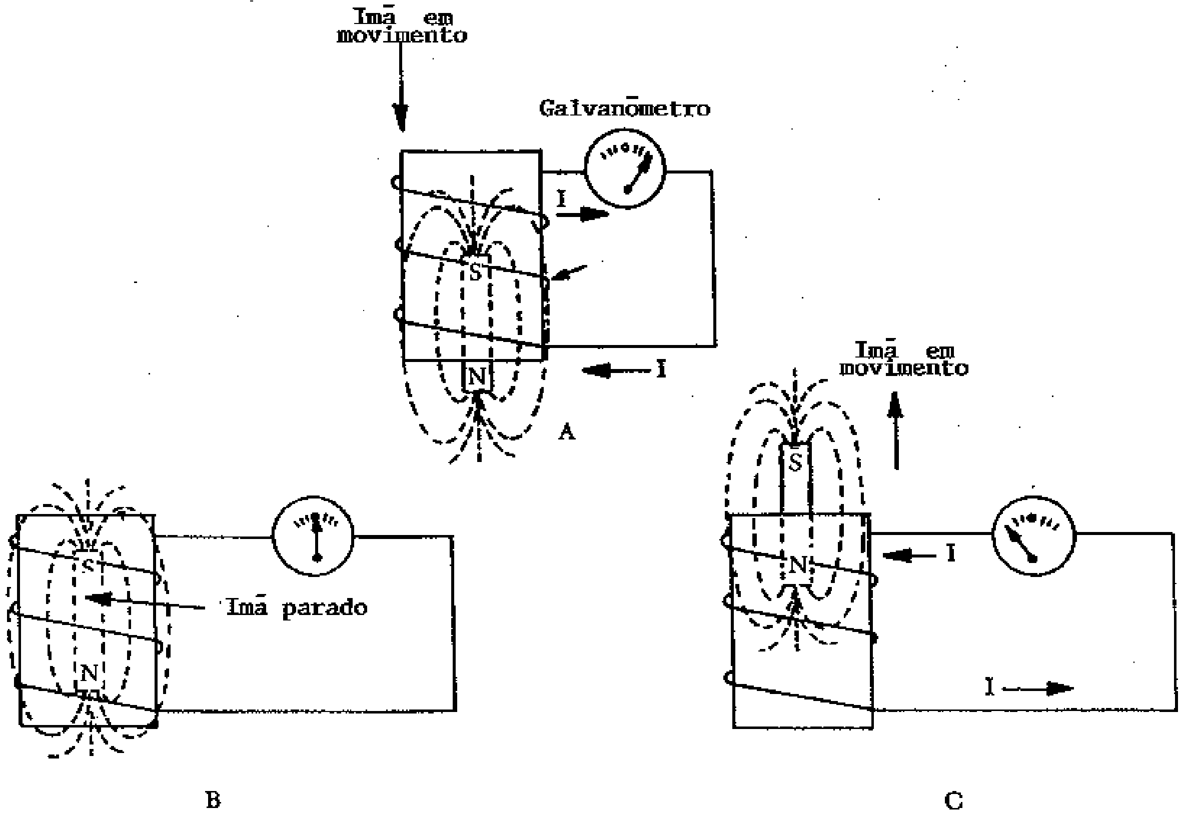


Figura 8-161 Induzindo um fluxo de corrente.

Em "C" da figura 8-161, o galvanômetro indica um fluxo de corrente na direção oposta, quando o imã é puxado do cilindro.

Os mesmos resultados podem ser obtidos conservando-se o imã imóvel e movendo-se o cilindro sobre o imã, indicando que uma corrente flui quando há o movimento relativo entre a bobina de fio e o campo magnético.

Estes resultados obedecem a uma lei estabelecida pelo cientista alemão Heinrich Lenz.

A Lei de Lenz estabelece que a corrente induzida causada pelo movimento relativo de um condutor e um campo magnético sempre flui de acordo com a direção em que seu campo magnético se opõe ao movimento.

Quando um condutor é movido através de um campo magnético, conforme mostrado na figura 8-162, uma força eletromotriz (f.e.m.) é induzida no condutor.

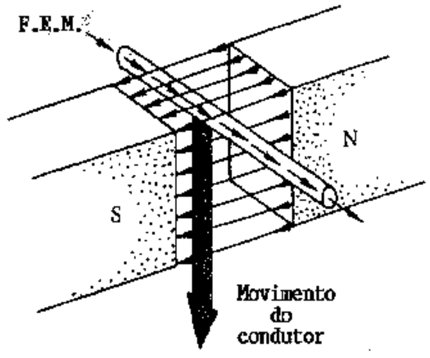


Figura 8-162 Induzindo uma F.E.M. em um condutor.

A direção (polaridade) da f.e.m. induzida é determinada pelas linhas de força magnética e a direção na qual o condutor é movimentado dentro do campo magnético.

A regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda aplicável a bobinas) pode ser usada para indicar a direção da f.e.m. induzida, conforme mostrado na figura 8-163.

O primeiro dedo (indicador) da mão esquerda é apontado na direção das linhas de força magnética (norte ou sul), o polegar é apontado na direção de movimento do condutor através do campo e o segundo dedo aponta na direção da f.e.m. induzida.

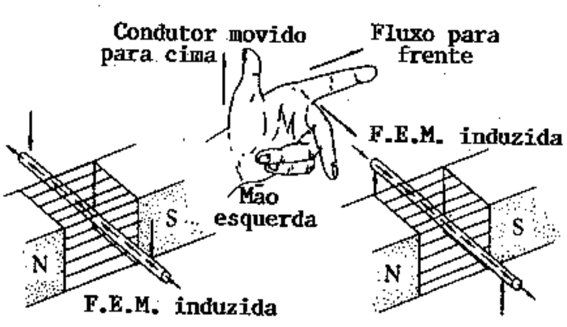


Figura 8-163 Aplicação da regra da mão esquerda para geradores.

Quando dois destes três fatores são conhecidos, o terceiro pode ser determinado usando-se esta regra.

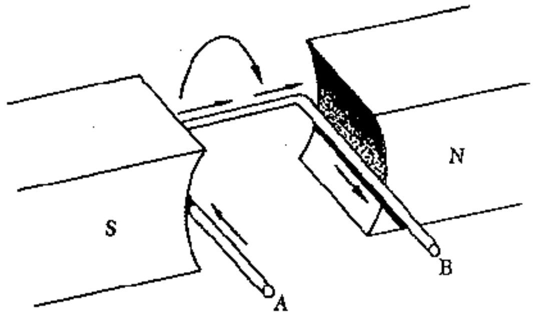


Figura 8-164 Voltagem induzida em um condutor em curva.

Quando um condutor dobrado é girado num campo magnético (ver figura 8-164), uma voltagem é induzida em cada lado da curva.

Os dois lados cortam o campo magnético em direções opostas, e embora o fluxo de corrente seja contínuo, move-se em direções contrárias com relação aos dois lados da curvatura do condutor.

Se os lados "A" e "B" são girados meia volta, e os lados do condutor tenham trocado de posição, a f.e.m. induzida em cada fio inverte sua direção, desde que o fio cortando as linhas de força na direção ascendente seja agora movimentado na descendente.

O valor de uma f.e.m. induzida depende de três fatores:

(1) A quantidade de fios, movendo-se através do campo magnético;

(2) A intensidade do campo magnético;

(3) A velocidade de rotação.

Geradores de corrente alternada

Os geradores usados para produzir corrente alternada são chamados de geradores de C.A. ou alternadores. O gerador simples, mostrado na figura 8-165, constitui um meio de geração de uma voltagem alternada. Consiste numa volta de fio (*loop*) com marcações "A" e "B", rotativa, colocada entre dois pólos magnéticos, "N" e "S".

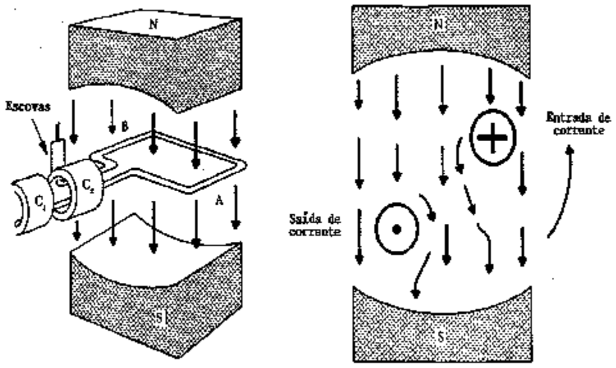


Figura 8-165 Gerador simples.

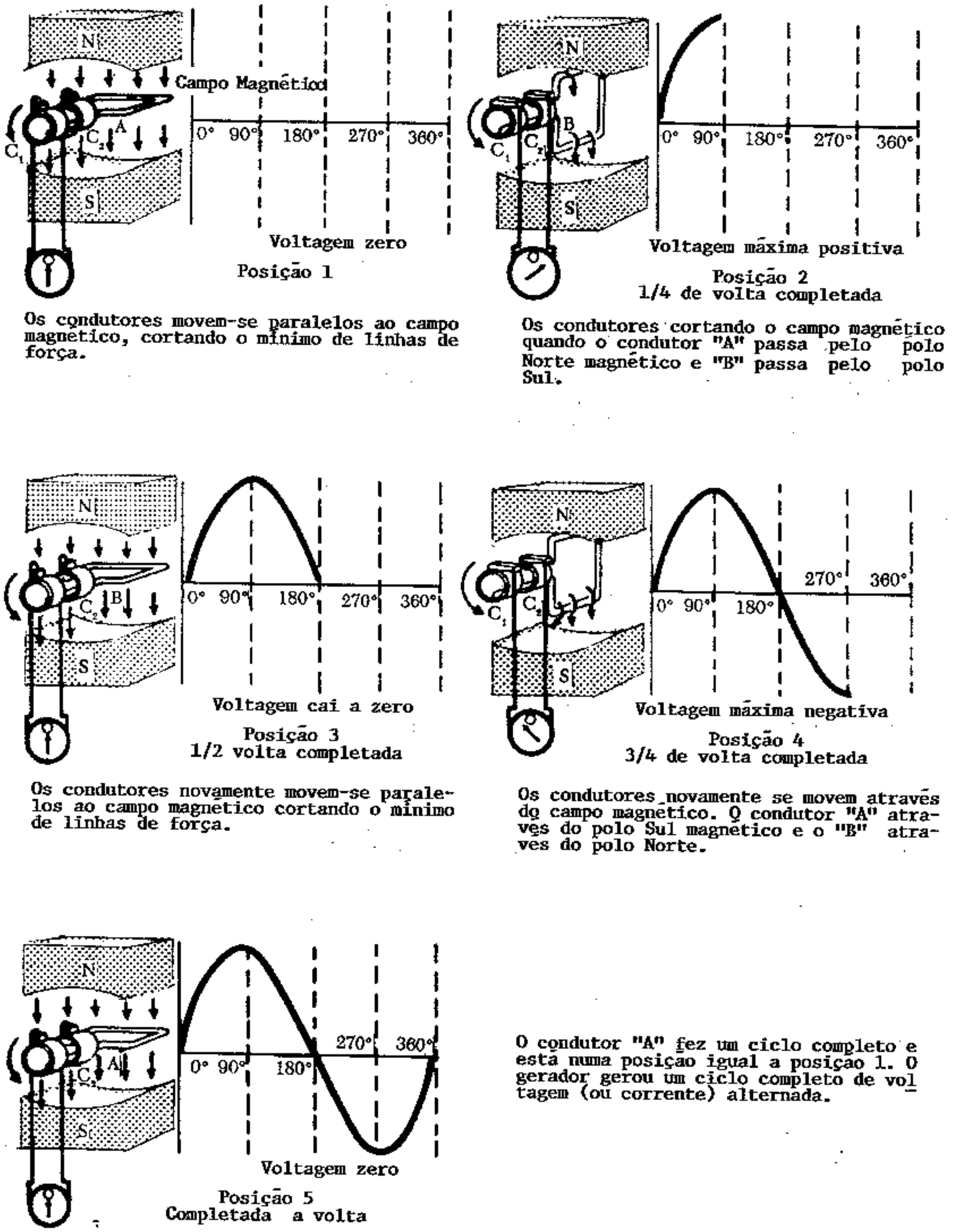
As extremidades do "*loop*" são conectadas a dois anéis metálicos deslizantes (anéis coletores), C_1 e C_2. A corrente é retirada dos anéis coletores por escovas de carvão. Se o "*loop*" for considerado como fios "A" e "B" separados, e a regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda para bobinas) é aplicada, então pode ser observado que, quando o fio "A" move-se para cima através do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para dentro do "*loop*".

Quando o fio “B” move-se para baixo, dentro do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para fora do “*loop*”.

Quando o enrolamento de fio se move no interior do campo, as voltagens induzidas nos dois lados do fio são cumulativas. Portanto, para propósitos expositivos, a ação de ambos os condutores, “A” e “B”, enquanto girando no campo magnético, é semelhante à ação do “*loop*”.

A figura 8-166 ilustra a geração de corrente alternada com um “*loop*” simples, de condutor girando num campo magnético.

Como é girado na direção anti-horária, valores variantes de voltagens são induzidos nele.


N
S
Campo Magnético
A
B
C_1
C_2
0°
90°
180°
270°
360°
Voltagem zero
Posição 1
Voltagem máxima positiva
Posição 2
1/4 de volta completada
Voltagem cai a zero
Posição 3
1/2 volta completada
Voltagem máxima negativa
Posição 4
3/4 de volta completada
Voltagem zero
Posição 5
Completada a volta

Os condutores movem-se paralelos ao campo magnetico, cortando o mínimo de linhas de força.

Os condutores cortando o campo magnético quando o condutor "A" passa pelo polo Norte magnético e "B" passa pelo polo Sul.

Os condutores novamente movem-se paralelos ao campo magnetico cortando o mínimo de linhas de força.

Os condutores novamente se movem através do campo magnetico. O condutor "A" através do polo Sul magnético e o "B" através do polo Norte.

O condutor "A" fez um ciclo completo e está numa posição igual a posição 1. O gerador gerou um ciclo completo de voltagem (ou corrente) alternada.

Figura 8-166 Geração de uma onda senoidal.

Na posição 1, o condutor “A” move-se paralelo às linhas de força, - já que não corta linhas de força, a voltagem induzida é zero.

O condutor avançando da posição 1 para a posição 2, aumenta a voltagem induzida gradualmente.

Na posição 2, o condutor move-se perpendicularmente ao fluxo e corta o número máximo de linhas de força, proporcionando a indução da voltagem máxima.

O condutor, movendo-se além da posição 2, corta uma quantidade decrescente de linhas de força a cada instante, e a voltagem induzida diminui.

Na posição 3, o condutor completou meia revolução e novamente move-se paralelo às linhas de força, e não há indução de voltagem no condutor.

Como o condutor "A" passa pela posição 3, a direção da voltagem se inverte, já que o condutor "A" move-se, agora, para baixo, cortando o fluxo na posição oposta.

O condutor "A" movendo-se através do pólo sul, diminui gradualmente a voltagem induzida, na direção negativa, até que na posição 4 o condutor mova-se perpendicularmente ao fluxo novamente, e seja gerada a voltagem negativa máxima.

Da posição 4 para a 5, a voltagem induzida decresce gradualmente até que atinja o valor zero, e o condutor e a onda estejam prontos para começar um outro ciclo.

A curva mostrada na posição 5 é chamada de onda senoidal. Representa a polaridade e intensidade dos valores instantâneos das voltagens geradas.

A linha base horizontal é dividida em graus, ou tempo, e a distância vertical acima ou abaixo da linha base representa o valor da voltagem em cada ponto particular, na rotação do enrolamento *(loop)*.

Ciclo e freqüência

Sempre que uma voltagem ou corrente passam por uma série de mudanças, retorna ao ponto de partida e, então, reinicia a mesma série de mudanças, a série é chamada ciclo.

O ciclo é representado pelo símbolo (~). No ciclo de voltagem mostrado na figura 8-167, a voltagem aumenta de zero ao valor positivo máximo e cai para zero; então, aumenta para o valor máximo negativo e novamente cai a zero. Neste ponto, está em condições de iniciar nova série.

Existem duas alterações num ciclo completo, a positiva e a negativa. Cada qual é meio ciclo.

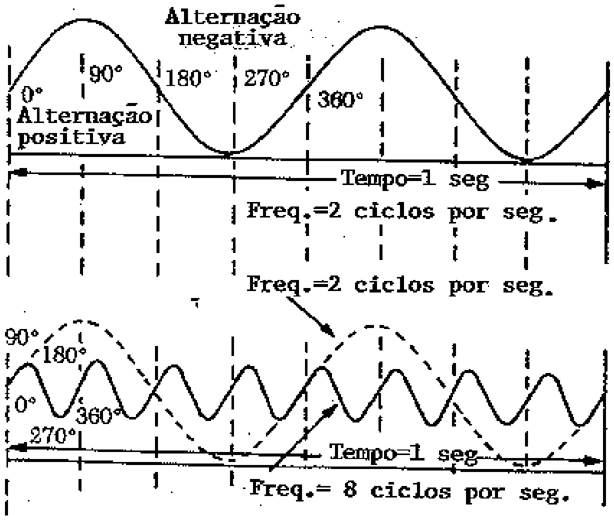


Figura 8-167 Freqüência em ciclos por segundo.

O número de vezes, em que cada ciclo ocorre num período de tempo, é chamado de freqüência. A freqüência de uma corrente elétrica ou voltagem indica o número de vezes em que um ciclo se repete em 1 segundo.

Num gerador, a voltagem e a corrente passam por um ciclo completo de valores, cada vez que um enrolamento ou condutor passa sob o pólo norte e o pólo sul do imã.

O número de ciclos para cada revolução de enrolamento ou condutor é igual ao de pares de pólos.

A freqüência, então, é igual ao número de ciclos em uma revolução, multiplicado pelo número de revoluções por segundo. Expresso em equação fica:

$$F = \frac{N^{o}\ \text{de polos}}{2} \text{x} \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

onde P/2 é o número de pares de pólos e r.p.m./60 o número de revoluções por segundo. Se num gerador de 2 pólos, o condutor é girado a 3.600 r.p.m., as revoluções por segundo são:

$$\text{r.p.s} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ revoluções por segundo}$$

Como existem 2 pólos, P/2 é igual a 1 e a freqüência é de 60 c.p.s..

Num gerador de 4 pólos, com uma velocidade do induzido de 1.800 r.p.m., substitui-se na equação:

$$F = \frac{P}{2} \text{x} \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

$$F = \frac{4}{2} \text{x} \frac{1800}{60} = 2 \text{ x } 30$$

$$F = 60 \text{ c.p.s.}$$

A par da freqüência e ciclagem, a voltagem e a corrente alternada também têm uma característica chamada "fase".

Num circuito alimentado por um alternador, deve haver uma certa relação de fase entre a voltagem e a corrente para que o circuito funcione eficientemente. Tal relação não somente deve haver num sistema alimentado por dois ou mais alternadores, mas também entre as voltagens e correntes individuais. Dois circuitos separados podem ser comparados pelas características de fase de cada um.

Quando duas ou mais ondas senóides passam por 0º e 180º simultaneamente, e alcançam seus picos, existe uma condição "em fase", conforme mostrado na figura 8-168.

Os valores de pico (magnitudes) não têm que ser os mesmos para que a condição em fase exista.

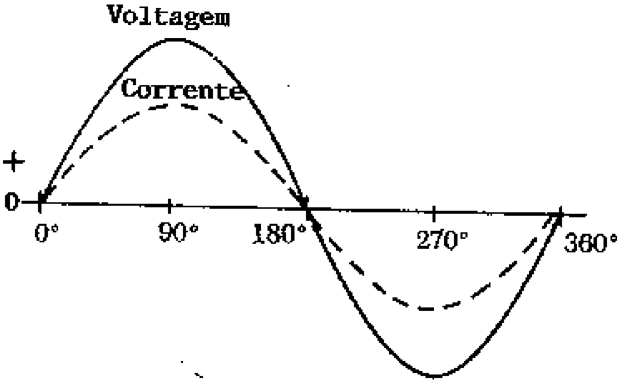


Figura 8-168 Condição "em fase" da corrente e da voltagem.

Quando as ondas senóides passam por 0º e 180º em tempos diferentes, uma condição "fora-de-fase" existe, conforme mostrado na figura 8-169.

Na medida em que as duas ondas senóides estão fora de fase, elas são indicadas pelo número de graus elétricos entre os picos correspondentes das ondas senóides.

Na figura 8-169, a corrente e a voltagem estão 30º fora de fase.

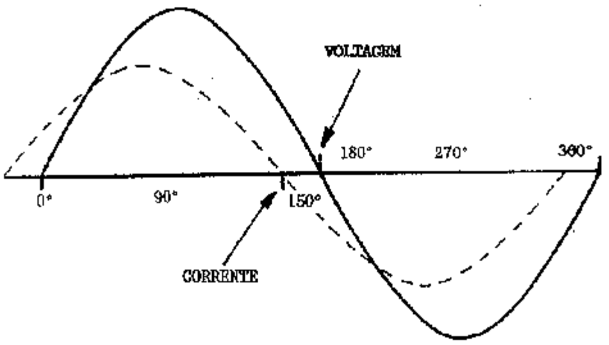


Figura 8-169 Condição de "fora de fase" da corrente e da voltagem.

Valores de corrente alternada

Existem três valores de corrente alternada que precisam ser considerados. São eles: instantâneo, máximo e efetivo.

Um valor instantâneo de voltagem ou corrente é a voltagem induzida ou corrente fluindo em qualquer momento. A onda senóide é uma série destes valores. O valor instantâneo da voltagem varia de zero em 0º, para máximo a 90º, volta a zero a 180º, vai para o máximo na direção oposta em 270º e a zero novamente em 360º. Qualquer ponto de uma onda senóide é considerado um valor instantâneo de voltagem.

O valor máximo é o instantâneo mais alto. O mais elevado valor positivo isolado ocorre quando a voltagem da onda senóide está a 90 graus, e o valor negativo isolado mais alto ocorre quando está a 270 graus. Estes são chamados valores máximos. O valor máximo é 1,41 vezes o valor efetivo (ver figura 8-170).

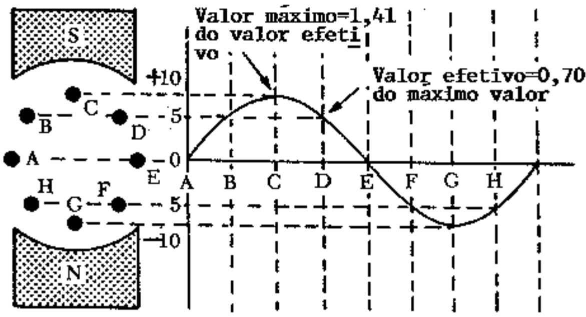

Valor máximo=1,41 do valor efetivo
Valor efetivo=0,707 do maximo valor
S
N
+10
5
0
5
-10
A
B
C
D
E
F
G
H

Figura 8-170 Valores efetivos e máximos de voltagem.

O valor efetivo da corrente alternada é o mesmo valor da corrente contínua, que possa produzir um igual efeito térmico. O valor efetivo é menor do que o valor máximo, sendo igual a 0,707 vezes o valor máximo. Então, os 110 volts oferecidos para consumo doméstico (rede) é apenas 0,707 do valor máximo dessa fonte. A voltagem máxima é aproximadamente 155 volts (110 x 1,41 = 155 volts - máximo).

No estudo da corrente alternada, quaisquer valores dados para corrente ou voltagem são entendidos como sendo valores efetivos, a não ser que seja especificado em contrário e, na prática, somente os valores efetivos de voltagem e corrente são usados. Desta forma, voltímetros de corrente alternada e também os amperímetros medem o valor efetivo.

INDUTÂNCIA

Quando uma corrente alternada flui numa bobina de fio, a elevação e queda do fluxo de corrente, primeiro numa direção e depois na outra, provocam uma expansão e colapso do campo magnético em torno da bobina, na qual é induzida uma voltagem em direção oposta à voltagem aplicada, e que se opõe a qualquer mudança na corrente alternada (ver figura 8-171).

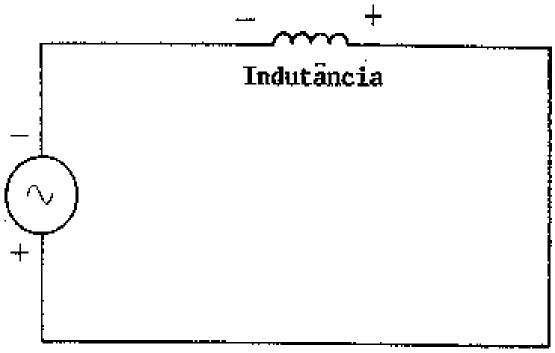


Figura 8-171 Circuito de CA contendo indutância.

A voltagem induzida é chamada de força contra-eletromotriz (f.c.e.m.), já que se opõe à voltagem aplicada.

Esta propriedade de uma bobina que se opõe ao fluxo de corrente através de si mesma é chamada de indutância.

A indutância de uma bobina é medida em henrys. Em qualquer bobina, a indutância depende de vários fatores, principalmente o número de espiras, a área de seção transversal da bobina e seu núcleo. Um núcleo de material magnético aumenta grandemente a indutância da bobina.

É indispensável lembrar, entretanto, que um fio reto também tem indutância, ainda que pequena, se comparada a de um fio enrolado (bobina).

Motores de C.A., relés e transformadores contribuem com indutância num circuito. Praticamente todos os circuitos de C.A. possuem elementos indutivos.

O símbolo para indutância, em fórmulas, é a letra "L". A indutância é medida em Henrys (abreviado h).

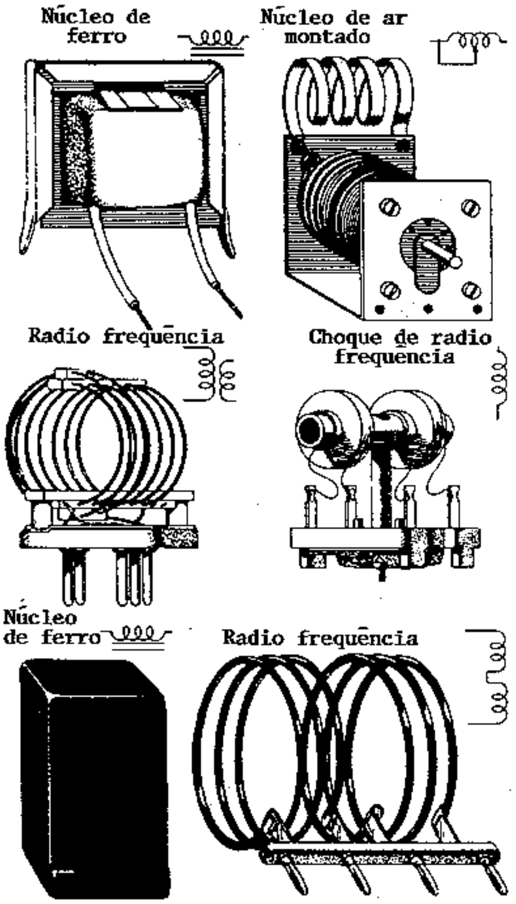


Figura 8-172 Vários tipos de indutores.

Um indutor (bobina) tem uma indutância de 1 Henry se uma f.e.m. de 1 volt é induzida, quando a corrente através do indutor está mudando à razão de 1 ampère por minuto. Entretanto, o Henry é uma unidade grande de indutância e é usada com indutores relativamente grandes, possuindo núcleos de ferro.

A unidade usada para pequenos indutores de núcleo de ar é o milihenry (mh). Para indutores de núcleo de ar ainda menores, a unidade de indutância é o microhenry (Mh).

A figura 8-172 mostra alguns dos vários tipos de indutores, juntamente com seus símbolos.

Os indutores podem ser conectados num circuito da mesma maneira que os resistores. Quando conectados em série, a indutância total é a soma das indutâncias, ou

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3, \text{ etc.}$$

Quando dois ou mais indutores são conectados em paralelo, a indutância total é, como as resistências em paralelo, menor do que a do menor indutor, ou

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

A indutância total dos indutores conectados em série paralelo pode ser calculada, resolvendo-se as indutâncias em paralelo e em seguida somando os valores em série. Em todos os casos, estas fórmulas são válidas para os indutores cujos campos magnéticos não tenham interação.

Reatância indutiva

A oposição ao fluxo de corrente, que as indutâncias proporcionam num circuito, é chamada reatância indutiva. O símbolo para reatância é X_L e é medida em ohms, assim como a resistência.

Em qualquer circuito em que haja apenas resistência, a equação para voltagem e corrente é a lei de ohm: I = E/R. Similarmente, quando há indutância num circuito, o envolvimento entre voltagem e corrente pode ser expresso assim:

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia}}, \text{ ou } I = \frac{E}{X_L}$$

Onde, X_L = reatância indutiva do circuito em ohms.

Se todos os demais valores do circuito permanecem constantes, quanto maior a indutância numa bobina, maior o efeito de autoindução, ou oposição. Conforme a freqüência aumenta, a indutância reativa aumenta, já que à maior razão de mudança de corrente corresponde o aumento da oposição à mudança por parte da bobina. Portanto, a reação indutiva é proporcional à indutância e freqüência, ou,

$$X_L = 2 \pi f L$$

Onde,

X_L = reatância indutiva em ohms
f = freqüência em ciclos por segundo
π = 3,1416

Na figura 8-173, um circuito em série de C.A. é considerado como tendo indutância de 0,146 henry e uma voltagem de 110 volts com uma freqüência de 60 ciclos por segundo.

Qual é a reatância indutiva? E o fluxo de corrente? (o símbolo (~) representa um gerador de C.A.)

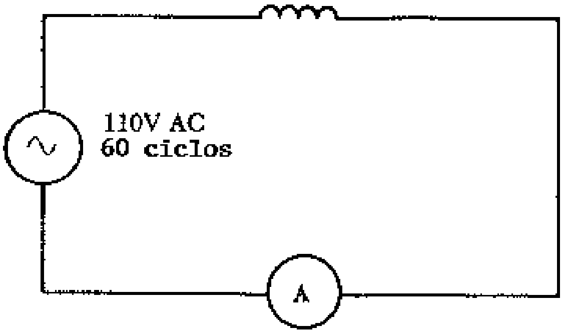


Figura 8-173 Circuito de C.A. contendo indutância.

Solução:

Para encontrar a reatância indutiva:

$$X_L = 2 \pi \text{ x } f \text{ x } L$$
$$X_L = 6{,}28 \text{ x } 60 \text{ x } 0{,}146$$

Para encontrar a corrente:

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{110}{55} = 2 \text{ ampères}$$

Em circuitos em série de C.A. (figura 8-174) as reatâncias indutivas são somadas da mesma forma que resistências em série num circuito de C.C..

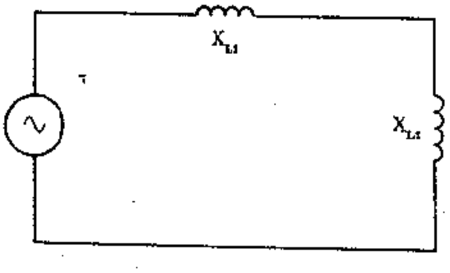


Figura 8-174 Indutância em série.

Daí, a reatância total no circuito ilustrado na figura 8-174 ser igual à soma das reatâncias individuais.

A reatância total de indutores conectados em paralelo (figura 8-175) é encontrada do mesmo modo que a resistência total num circuito em paralelo. Daí a reatância total de indutâncias conectadas em paralelo, conforme mostrado, ser expressa assim:

$$(X_L)_T = \frac{1}{\frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}}$$

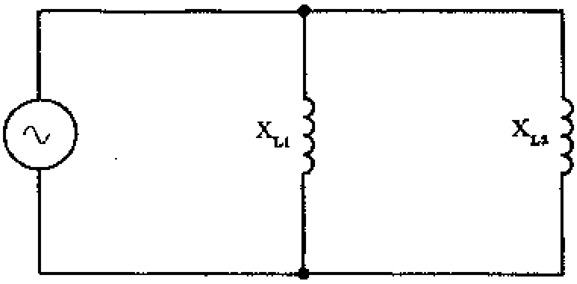


Figura 8-175 Indutância em paralelo.

CAPACITÂNCIA

Uma outra importante propriedade em circuitos de C.A., a par da resistência e indutância é a capacitância. Enquanto a indutância é representada num circuito por uma bobina, a capacitância é representada por um capacitor. Quaisquer dois condutores, separados por um não-condutor (chamado dielétrico), constituem um capacitor. Num circuito elétrico, um capacitor serve como reservatório de eletricidade.

Quando um capacitor é conectado através de uma fonte de corrente contínua, com uma bateria de acumuladores (circuito mostrado na figura 8-176) e a chave é então fechada, a placa marcada com "B" torna-se positivamente carregada e a placa "A" negativamente carregada.

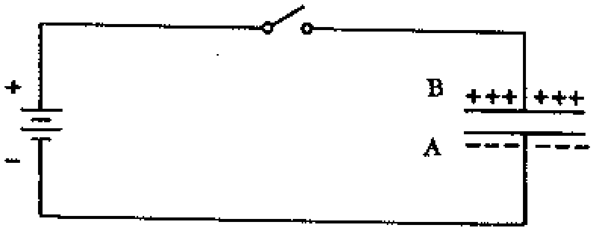


Figura 8-176 Capacitor em um circuito de CC.

A corrente flui no circuito externo durante o tempo que os elétrons estão se movendo de "B" para "A". O fluxo de corrente no circuito é máximo no momento em que a chave é fechada, mas diminui continuamente, até alcançar zero.

A corrente torna-se zero assim que a diferença de voltagem de "A" e "B" torna-se igual a voltagem da bateria. Se a chave for aberta, as placas permanecem carregadas. Entretanto, o capacitor descarrega-se rapidamente, se colocado em "curto".

A quantidade de eletricidade que um capacitor pode acumular depende de vários fatores, incluindo o tipo de material do dielétrico. É diretamente proporcional à área da placa, e inversamente proporcional à distância entre as placas.

Na figura 8-177, duas chapas planas de metal são colocadas próximo uma da outra (mas não se tocando). Normalmente elas são eletricamente neutras, isto é, não há evidência de carga elétrica em ambas as placas.

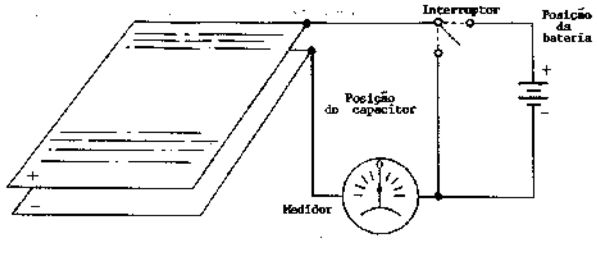


Figura 8-177 Circuito de um capacitor (condensador) básico.

No momento em que a chave é fechada na posição "bateria", o medidor mostrará uma certa corrente fluindo numa direção, mas quase que, instantaneamente, retornará a zero.

Se a bateria for retirada do circuito e a chave for fechada na posição capacitor, o medidor mostrará uma corrente momentânea, mas em sentido contrário à anterior. Esta experiência demonstra que as duas placas acumulam energia, quando conectadas a uma fonte de voltagem, e liberam energia quando colocadas em "curto". As duas chapas formam um capacitor simples, ou condensador e possuem a capacidade de acumular energia. A energia é realmente estocada no campo elétrico, ou dielétrico, entre as placas.

Também deve estar claro que durante o tempo em que o capacitor está sendo carregado ou descarregado, há corrente no circuito, embora o circuito esteja interrompido pelo intervalo entre as placas do capacitor. Entretanto, existe corrente somente enquanto ocorre carga e descarga, e este período de tempo é muito curto.

Não pode ocorrer nenhum movimento ininterrupto de corrente contínua através de um capacitor. Um capacitor bom bloqueará a corrente contínua (não a C.C. pulsativa) e permitirá a passagem dos efeitos da corrente alternada.

A carga de eletricidade que pode ser colocada num capacitor é proporcional à voltagem aplicada e à capacitância do capacitor (condensador). A capacitância depende da área total das placas, da espessura do dielétrico e da composição do dielétrico.

Se uma folha fina de baquelite (preenchida com mica) for substituída por ar entre as placas de um capacitor, por exemplo, a capacitância será aumentada cerca de cinco vezes.

Qualquer carga produzida por voltagem aplicada e mantida no limite por um isolador (dielétrico) cria um campo dielétrico.

Uma vez que o campo seja criado, tende a opor-se a qualquer mudança de voltagem que poderia afetar sua situação original. Todos os circuitos possuem alguma capacitância, mas a menos que possuam algum capacitor, ela é desconsiderada.

Dois condutores, chamados eletrodos ou placas, separados por um não-condutor (dielétrico) formam um capacitor simples. As placas podem ser feitas de cobre, de estanho ou de alumínio. Freqüentemente elas são feitas de folha (metais comprimidos em finas folhas capazes de serem enroladas).

O dielétrico pode ser ar, vidro, mica, ou eletrólito, feito de uma película de óxido, mas o tipo usado determinará o total da voltagem que pode ser aplicada e a quantidade de energia que pode ser acumulada.

Os materiais dielétricos têm estruturas atômicas diferentes e apresentam quantidades diferentes de átomos para o campo eletrostático.

Todos os materiais dielétricos são comparados ao vácuo e recebem uma classificação numérica de valor de acordo com a razão de capacidade entre eles.

O número atribuído a um material é baseado na mesma área e espessura em relação ao vácuo

Os números usados para expressar essa razão são chamados constantes dielétricas, e são representados pela letra "K". A tabela na figura 8-178 apresenta o valor de "K" para alguns materiais usados.

Material	**K (Constante dielétrica)**
Ar	**1.0**
Resina	**2.5**
Papel de amianto	**2.7**
Borracha dura	**2.8**
Papel seco	**3.5**
Isolantita	**3.5**
Vidro comum	**4.2**
Quartzo	**4.5**
Mica	**4.5 a 7.5**
Porcelana	**5.5**
Vidro cristal	**7.0**
Vidro ótico	**7.9**

Figura 8-178 Constantes Dielétricas.

Se uma fonte de corrente contínua é substituída por bateria, o capacitor atua um pouco diferente do que ocorre com corrente contínua.

Quando é usada a corrente alternada num circuito (figura 8-179), a carga das placas modifica-se constantemente. Isto significa que a eletricidade deve fluir primeiro de "Y", no sentido horário, para "X", depois, de "X", no sentido anti-horário, para "Y", depois, de "Y", no sentido horário, para "X", e assim por diante.

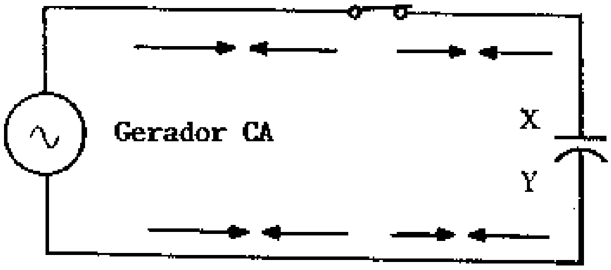


Figura 8-179 Capacitor num Circuito CA.

Embora nenhuma corrente flua através do isolador entre as placas do capacitor, ela flui constantemente no restante do circuito, entre "X" e "Y".

Num circuito em que existe somente capacitância, a corrente precede a voltagem, ao passo que num circuito onde exista somente indutância, a corrente retarda-se frente a voltagem.

A unidade de medida de capacitância é o farad, para o qual o símbolo é a letra "f". O farad é muito grande para uso prático e a unidade geralmente usada é o microfarad (μf), um milionésimo do farad, e o micro-microfarad (μμf), um micronésimo do microfarad.

Tipos de capacitores

Os capacitores podem ser divididos em dois grupos: fixos e variáveis. Os capacitores fixos que têm, aproximadamente, capacitância constante, podem ser divididos de acordo com o tipo de dielétrico usado nas seguintes classes: papel, óleo, mica e capacitores eletrolíticos. Os capacitores de cerâmica são também usados em alguns circuitos.

Quando conectando capacitores eletrolíticos num circuito, a correta polaridade tem que ser observada. Capacitores de papel podem ter um terminal marcado "*ground*" (terra), significando que este terminal está ligado à folha externa. Normalmente, a polaridade não tem que ser observada em capacitores de papel, óleo, mica ou cerâmica.

Capacitores de papel

As placas dos capacitores de papel são tiras de folha de metal, separadas por papel encerado (figura 8-180). A capacitância dos capacitores de papel está na faixa de 200 μμf a alguns μf. As tiras de folha e as de papel são enroladas juntas, para formar um cartucho cilíndrico, que é então selado com cera para afastar a umidade e prevenir corrosão e vazamento.

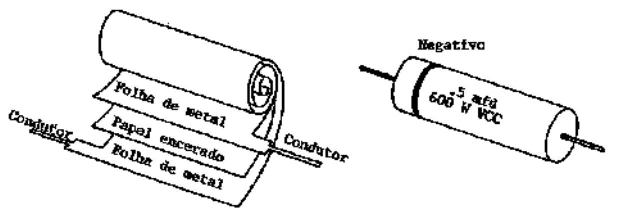


Figura 8-180 Capacitor de papel.

Duas pontas de metal são soldadas às placas. Cada uma estendendo-se para cada lado do cilindro. O conjunto é incluído tanto numa cobertura de papelão quanto numa capa de plástico moldado duro (uma ou outra).

Os capacitores tipo banheira "bathtub" são capacitores de papel em cartuchos hermeticamente fechados em capas metálicas. A capa freqüentemente serve como um terminal comum para vários capacitores incluídos, mas quando não é um terminal, a capa serve como uma blindagem contra interferência elétrica (figura 8-181).

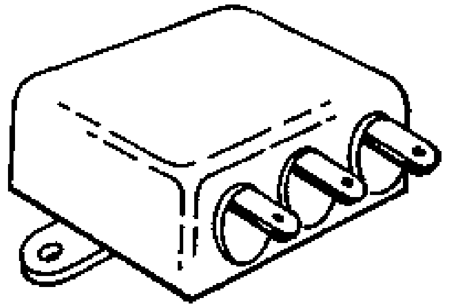


Figura 8-181 Capacitor de papel tipo banheira.

Capacitores a óleo

Em transmissores de radar e rádio, altas voltagens, suficientes para causar centelhamento ou ruptura em dielétricos de papel, são muitas vezes empregadas.

Conseqüentemente, nestas aplicações, capacitores que usam óleo ou papel impregnado com óleo, como material dielétrico são preferidos.

Os capacitores deste tipo são consideravelmente mais caros do que os capacitores comuns de papel e o seu uso é, em geral, restrito a equipamentos de transmissão de rádio e radar.

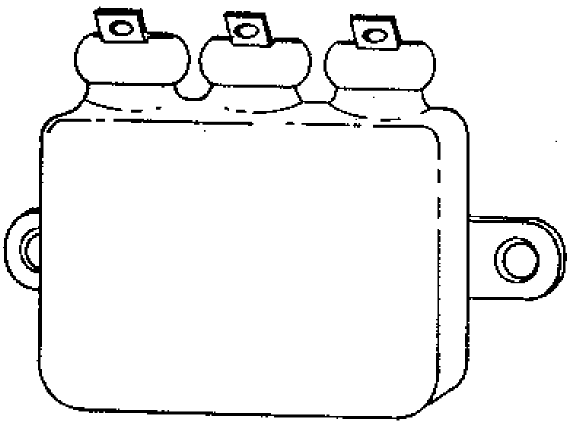


Figura 8-182 Capacitor de óleo

Capacitores de mica

O capacitor fixo de mica é feito de placas de folha de metal, que são separadas por folhas de mica formando o dielétrico. O conjunto inteiro é coberto com plástico moldado, que evita a umidade.

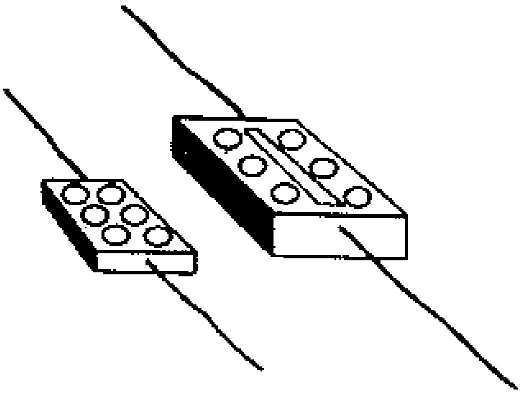


Figura 8-183 Capacitores de mica.

A mica é um excelente dielétrico que suporta maiores voltagens do que o papel, sem permitir centelhamento entre as placas. Os valores normais dos capacitores de mica variam de aproximadamente 50 μμf a cerca de 0.02 μf. Capacitores de mica são mostrados na figura 8-183

Capacitores eletrolíticos

Para capacitâncias maiores do que alguns microfarads, as áreas das placas dos capacitores de mica ou papel precisam se tornar muito grandes.

Então, neste caso, normalmente são empregados capacitores eletrolíticos, que permitem grandes capacitâncias em pequenos tamanhos físicos. Sua faixa de valores abrange de 1 a cerca de 1.500 microfarads. Diferentemente dos outros tipos, os capacitores eletrolíticos são geralmente polarizados e podem ser submetidos apenas à voltagem contínua ou voltagem contínua pulsativa, embora um tipo especial de capacitor eletrolítico seja feito para uso em motores.

O capacitor eletrolítico é amplamente utilizado em circuitos eletrônicos e consiste em duas placas de metal, separadas por um eletrólito. O eletrólito em contato com o terminal negativo, tanto na forma líquida ou pastosa, inclui o terminal negativo.

O dielétrico é uma película de óxido extremamente fina depositada sobre o eletrodo positivo do capacitor. O eletrodo positivo é uma folha de alumínio dobrada para obtenção de máxima área.

O capacitor é submetido a processo de modelagem durante a fabricação, quando uma corrente é passada através dele. O fluxo de corrente resulta no depósito de fina cobertura de óxido sobre a placa de alumínio.

O espaço justo dos eletrodos positivo e negativo aumenta relativamente o alto valor de capacitância, mas permite maior possibilidade de interrupção de voltagem e vazamento de elétrons de um eletrodo para o outro.

Dois tipos de capacitores eletrolíticos são usados: (1) eletrolítico úmido; e (2) eletrolítico seco. No primeiro, o eletrólito é um líquido e o invólucro deve ser à prova de vazamento. Este tipo deve sempre ser montado na posição vertical.

O eletrólito do eletrolítico seco é uma pasta num separador feito de um material absorvente como gaze ou papel. O separador não-somente conserva o eletrólito no lugar mas também previne possibilidade de "curto-circuito" entre as placas. Capacitores eletrolíticos secos são feitos tanto na forma cilíndrica quanto retangular, e podem ser cobertos com papelão ou metal. Já que o eletrólito não pode derramar, os capacitores secos podem ser montados em qualquer posição conveniente. Capacitores eletrolíticos são mostrados na figura 8-184.

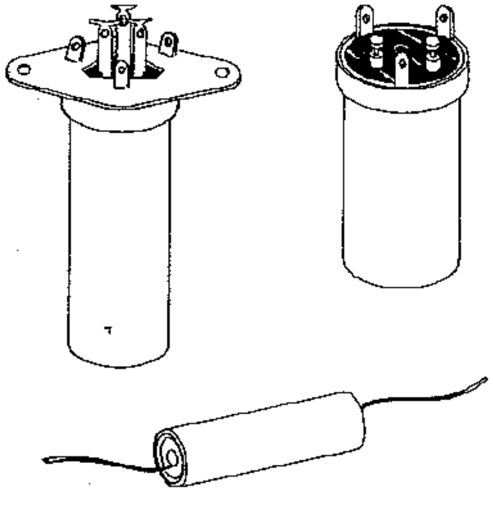
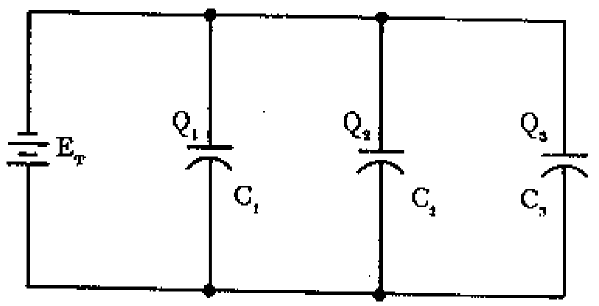


Figura 8-184 Capacitores eletrolíticos.

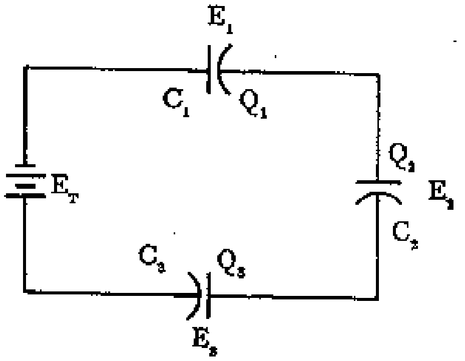
Capacitores em paralelo e em série

Os capacitores podem ser combinados em paralelo ou em série, para dar valores equivalentes, que podem ser tanto a soma dos valores individuais (em paralelo) ou um valor menor do que a menor capacitância (em série). A figura 8-185 mostra as ligações em série e em paralelo.



$C_t + C_1 + C_2 + C_3$

A - Paralelo



$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

B - Série

Figura 8-185 Capacitores em paralelo e em série.

As duas unidades usadas em medição da capacitância são o farad e o coulomb. Conforme definido anteriormente, o farad é quantidade de capacitância presente num capacitor, quando um coulomb de energia elétrica é acumulada nas placas, e um volt é aplicado através do capacitor. Um coulomb é a carga elétrica de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons. Disto, conclui-se que:

$$C \text{ (em farads)} = \frac{Q \text{ (em coulombs)}}{E \text{ (em volts)}}$$

Em “A” da figura 8-185, a voltagem, “E”, é a mesma para todos os capacitores. A carga total, Q_t, é a soma das cargas individuais, Q_1, Q_2 e Q_3.

Usando a equação básica para o capacitor,

$$C = \frac{Q}{E}$$

A carga total é $Q_t = C_t$ x E, onde C_t é a capacitância total. Já que a carga total dos capacitores em paralelo é a soma das cargas individuais dos capacitores,

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Usando ambas as equações para a carga total, desenvolve-se a equação

$$C_t E = C_1 E + C_2 E + C_3 E$$

Dividindo-se ambos os termos da equação por E, dá-se

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

Esta fórmula é usada para determinar a capacitância total, para qualquer número de capacitores em paralelo.

Na arrumação em série, (B da figura 8-185), a corrente é a mesma em todas as partes do circuito. Cada capacitor desenvolve uma voltagem durante a carga, e a soma das voltagens de todos os capacitores tem que ser igual à voltagem aplicada, E.

Por meio da equação para capacitor, a voltagem aplicada, E, é igual à carga total dividida pela capacitância total, ou

$$E = \frac{Q_t}{C_t}$$

A carga total, Q_t , é igual à carga em qualquer dos capacitores, porque a mesma corrente flui em todos pelo mesmo intervalo de tempo e porque a carga é igual à corrente vezes o tempo em segundos (Q_t = I x t).

Por isso, $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$

e, uma vez que em um circuito com capacitores em série

$$C_k = C_1 + C_2 + C_3 ,$$

onde E_1, E_2, E_3 são as voltagens dos três capacitores.

Então,

$$\frac{Q_t}{C_t} = \frac{Q_t}{C_1} + \frac{Q_t}{C_2} + \frac{Q_t}{C_3}$$

Dividindo a equação por Q_t, temos

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

A recíproca da capacitância total de qualquer número de capacitores em série é igual à soma dos recíprocos valores individuais. Os capacitores em paralelo combinam-se por uma regra semelhante à usada na combinação de resistores em série.

Os capacitores em série combinam-se por uma regra semelhante da combinação de resistores em paralelo. No arranjo de dois capacitores em série, C_1, C_2 , a capacidade total é dada pela equação:

$$C_t = \frac{C_1 \text{ x } C_2}{C_1 + C_2}$$

Classificação de voltagem dos capacitores

Na seleção ou substituição de um capacitor para uso em um circuito em particular, o seguinte deve ser considerado: (1) o valor da capacitância desejada; e (2) a voltagem à qual o capacitor será submetido.

Se a voltagem aplicada às placas for alta demais, o dielétrico romper-se-á, e ocorrerá o centelhamento entre as placas. O capacitor é então "colocado em curto", e o possível fluxo de corrente poderá causar danos a outras partes do equipamento. Os capacitores possuem uma classificação de voltagem que não deve ser excedida.

A voltagem de trabalho do capacitor é a voltagem máxima que pode ser aplicada sem risco de centelhamento. A voltagem de trabalho depende (1) do tipo de material empregado como dielétrico; e (2) da espessura de dielétrico.

A voltagem é um fator a ser considerado na determinação de capacitância, porque a capacitância diminui à medida que a espessura do dielétrico aumenta.

Um capacitor de alta voltagem, que possui um dielétrico espesso precisa ter uma área de placa maior, de forma a manter a mesma capacitância que um capacitor de baixa voltagem similar, tendo um dielétrico fino. A capacidade de alguns materiais dielétricos comumente usados está listada na figura 8-186.

A classificação da voltagem também depende da freqüência, porque as perdas e o efeito térmico resultante aumentam conforme o aumento da freqüência.

Dielétrico	K	Resistência de isolação do dielétrico (volts por 0,001 de polegada)
Ar	1.0	80
Papel		
(1) Parafinado	2.2	1200
(2) Encerado	3.1	1800
Vidro	4.2	200
Óleo de Mamona	4.7	380
Baquelite	6.0	500
Mica	6.0	2000
Fibra	6.5	50

Figura 8-186 Resistência de isolação de alguns materiais dielétricos.

Um capacitor que pode ser seguramente carregado em 500 volts C.C., não pode ser submetido com segurança a C.A. ou C.C. pulsativa, com valores efetivos de 500 volts.

Uma voltagem alternada de 500 volts (r.m.s.) tem um pico de voltagem de 707 volts, e um capacitor no qual seja aplicado deve ter uma voltagem de trabalho de, no mínimo, 750 volts. O capacitor deve, então, ser selecionado de tal forma que sua voltagem de trabalho seja, pelo menos, 50% maior do que a mais alta voltagem a ser aplicada nele.

Reatância capacitiva

A capacitância, como a indutância, oferece oposição ao fluxo de corrente. Esta oposição é chamada reatância e é medida em ohms. O símbolo para reatância capacitiva é X_c. A equação,

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia capacitiva}}, \text{ ou}$$

$$I = \frac{E}{X_c}$$

é similar à lei de Ohm e a equação para corrente num circuito indutivo. Maior a freqüência, menor a reatância. Daí, a reatância capacitiva,

$$X = \frac{1}{2\pi \text{ x f x c}}$$

onde: f = freqüência em ciclos por segundo
c = capacidade em farads
$2\pi = 6{,}28$

Problema:

Um circuito em série é concebido, em que a voltagem utilizada seja 110 volts a 60 c.p.s. e a capacitância de um condensador seja 80 µf. Achar a reatância capacitiva e o fluxo de corrente.

Solução:

Para encontrar a reatância capacitiva, a equação $X_c = 1/2 \pi fc$ é usada. Primeiro, a capacitância, 80 µf, é convertida para farads, dividindo-se 80 por 1.000,000, já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad. Este quociente é igual a 0,000080 farad. Substituindo na equação,

$$X_c = \frac{1}{6{,}28 \times 60 \times 0{,}000080}$$

$$X_c = 33{,}2 \text{ ohms de reatância}$$

Encontra-se o fluxo de corrente:

$$I = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{33{,}2} = 3{,}31 \text{ ampères}$$

Reatâncias capacitivas em série e em paralelo

Quando capacitores são conectados em série, a reatância é igual à soma das reatâncias individuais. Então,

$$(X_C)^t = (X_c)_1 + (X_c)_2$$

A reatância total dos capacitores conectados em paralelo é encontrada da mesma forma que a resistência total é calculada num circuito em paralelo:

$$(X_c)_t = \frac{1}{\frac{1}{(X_c)_1} + \frac{1}{(X_c)_2} + \frac{1}{(X_c)_3}}$$

Fase de corrente e voltagem em circuito reativo

Quando corrente e voltagem cruzam o zero e alcançam o valor máximo ao mesmo tempo, diz-se que estão "em fase"("A" da figura 8-187). Se a corrente e a voltagem passam pelo zero e atingem o valor máximo em tempos diferentes, são ditas "fora de fase".

Num circuito contendo apenas indutância, a corrente alcança um valor máximo depois da voltagem, atrasando-se em 90 graus ou um quarto de ciclo em relação à voltagem ("B" da figura 8-187). Num circuito contendo apenas capacitância, a corrente alcança seu valor máximo, e adianta-se em relação à voltagem por 90 graus ou um quarto de ciclo ("C" da figura 8-187). Para a corrente se atrasar ou adiantar em relação à voltagem num circuito, depende da intensidade da resistência, indutância e capacitância no circuito.

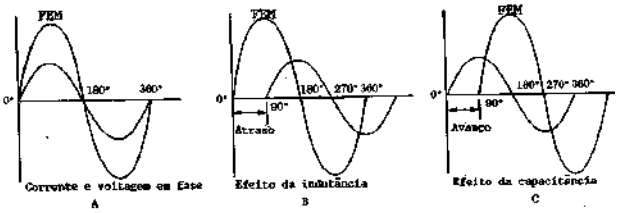


Figura 8-187 Fase de corrente e voltagem.

LEI DE OHM PARA CIRCUITOS DE C.A.

As regras e equações para circuitos de C.C. aplicam-se a circuitos de C.A. somente quando os circuitos contêm resistências, como no caso de lâmpadas ou elementos térmicos. Para que se use valores efetivos de voltagem e corrente em circuitos de C.A., o efeito de indutância e capacitância com resistência precisa ser considerado.

O efeito combinado de resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva forma a oposição total ao fluxo de corrente num circuito de C.A. Tal oposição é chamada de impedância, e é representada pela letra "Z". A unidade de medida para a impedância é o ohm.

Circuitos de C.A. em série

Se um circuito de C.A. consiste de resistência apenas, o valor da impedância é o mesmo que o da resistência e a lei de Ohm para um circuito de C.A., $I = E/Z$ é exatamente a mesma como para um circuito de C.C.

Na figura 8-188, está ilustrado um circuito em série, contendo uma lâmpada com resistência de 11 ohms conectada através de uma fonte. Para encontrar quanta corrente fluirá, se forem aplicados 110 volts C.C., e quanta corrente fluirá se forem aplicados 110 volts C.A., os seguintes exemplos são resolvidos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110v}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.c.}$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110v}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.a.}$$

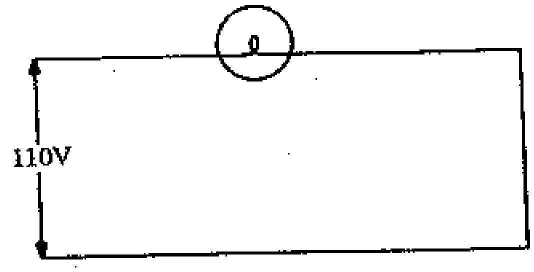


Figura 8-188 Circuito em série.

Quando um circuito de C.A. contém resistência e também indutância ou capacitância, a impedância, “Z”, não é a mesma que a resistência, “R”. A impedância é a oposição total do circuito para o fluxo de corrente.

Num circuito de C.A., esta oposição consiste de resistência e reatância indutiva ou capacitiva, ou elementos de ambas.

A resistência e a reatância não podem ser somadas diretamente, mas podem ser consideradas duas forças agindo em ângulos retos entre si.

Assim sendo, a relação entre resistência, reatância e impedância pode ser ilustrada por um triângulo retângulo (mostrado na figura 8-189).

A fórmula para achar a impedância, ou total oposição ao fluxo de corrente num circuito de C.A. pode ser obtida pelo uso de lei dos triângulos-retângulos, chamada de teorema de Pitágoras, aplicável a qualquer triângulo retângulo.

Ela estabelece que o quadrado da hipotenusa é igual a soma dos quadrados dos catetos.

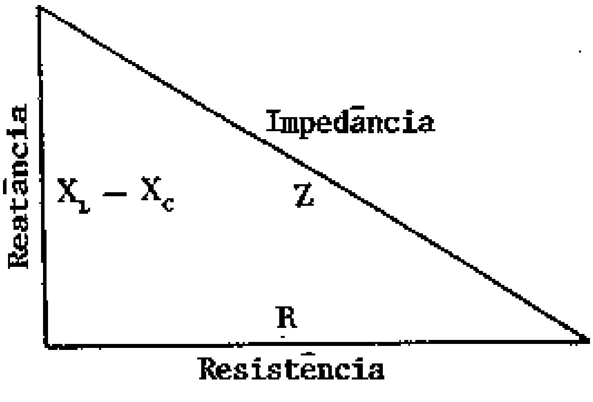


Figura 8-189 Triângulo de impedância.

Assim, o valor de qualquer lado de um triângulo retângulo pode ser encontrado se os dois outros lados forem conhecidos. Se um circuito de C.A. contiver resistência e indutância, como mostrado na figura 8-190, a relação entre os lados pode ser determinada assim:

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

A raiz quadrada de ambos os lados da equação

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Esta fórmula pode ser usada para determinar a impedância, quando os valores da reatância indutiva e da resistência são conhecidos.

Ela pode ser modificada para resolver impedância em circuitos contendo reatância capacitiva e resistência, substituindo-se $X_L 2$ por X_C, na fórmula.

Em circuitos contendo resistência com reatâncias capacitivas e indutivas juntas, as reatâncias podem ser combinadas, mas por causa dos seus efeitos opostos no circuito, elas são combinadas por subtração:

$$X = X_L - X_C \quad \text{ou} \quad X = X_C - X_L$$

(o menor é sempre subtraído do maior)

Na figura 8-190, um circuito em série, com resistência e indutância conectadas em série é ligado a uma fonte de 110 volts com 60 ciclos por segundo. O elemento resistivo é uma lâmpada, com resistência de 6 ohms, e o elemento indutivo é uma bobina com indutância de 0,021 Henry. Qual é o valor da impedância e a corrente através da lâmpada e da bobina?

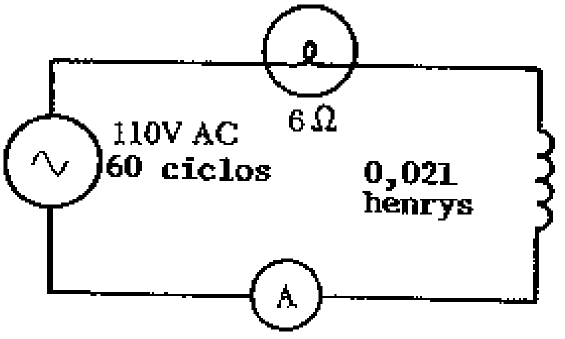


Figura 8-190 Circuito contendo resistência e indutância.

Solução:

Primeiro, a reatância indutiva da bobina é calculada:

$$X_L = 2\pi \text{ x } f \text{ x } L$$
$$X_L = 6.28 \text{ x } 60 \text{ x } 0{,}021$$
X_L = 8 ohms de reatância indutiva

Depois, é calculada a impedância total:

$$Z = \sqrt{R_2 + X_L^2}$$
$$Z = \sqrt{6_2 + 8_2}$$
$$Z = \sqrt{36 + 64}$$
$$Z = \sqrt{100}$$
Z = 10 ohms de impedância.

Em seguida, o fluxo de corrente

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{10} = 11$$ ampères de corrente.

A queda de voltagem através da resistência (EX_L) é

$$E_R = I \text{ x } R$$
$$E_R = 11 \text{ x } 6 = 66 \text{ volts}$$

A queda da voltagem através da indutância (E_{XL}) é

$$EX_L = I \text{ x } X_L$$
$$EX_L = 11 \text{ x } 8 = 88 \text{ volts}$$

A soma das duas voltagens é maior do que a voltagem da fonte. Isto decorre do fato de as duas voltagens estarem fora de fase e, assim sendo, representam de per si a voltagem máxima. Se a voltagem, no circuito, for medida com um voltímetro, ela será de aproximadamente 110 volts a voltagem da fonte.

Isto pode ser provado pela equação

$$E = \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XL})^2}$$
$$E = \sqrt{66^2 + 88^2}$$
$$E = \sqrt{4356 + 7744}$$
$$E = \sqrt{12.100}$$
E = 110 volts

Na figura 8-191 é ilustrado um circuito em série, no qual um capacitor de 200 Mf está conectado em série com uma lâmpada de 10 ohms.

Qual é o valor da impedância, do fluxo de corrente e da queda de voltagem através da lâmpada?

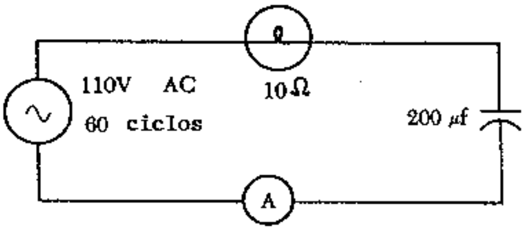


Figura 8-191 Circuito contendo resistência e capacitância.

Solução:

Primeiro, a capacitância é convertida de Mf para farads. Já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad, então

$$200 \text{ Mf} = \frac{200}{1.000.000} = 0{,}000200 \text{ farads}$$
$$X_c = \frac{1}{2\,\pi f C}$$
$$X_c = \frac{1}{6{,}28 \text{ x } 60 \text{ x } 0{,}000200 \text{ farads}}$$
$$X_c = \frac{1}{0{,}07536} =$$

= 13Ω de reatância capacitiva

Para encontrar a impedância,

$$Z = R_2 + X_C^2$$
$$Z = \sqrt{10_2 + 13_2}$$
$$Z = \sqrt{100 + 169}$$
$$Z = \sqrt{269}$$
Z = 16.4 ohms de reatância capacitiva

Para encontrar a corrente,

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{16{,}4} = 6{,}7$$ ampères

A queda de voltagem na lâmpada é

$$E_R = 6{,}7 \times 10$$
$$E_R = 67 \text{ volts}$$

A queda de voltagem no capacitor (E_{XC}) será

$$E_{XC} = I \times X_C$$
$$E_{XC} = 6{,}7 \times 13$$
$$E_{XC} = 86{,}1 \text{ volts}$$

A soma destas duas voltagens não é igual à voltagem aplicada, já que a corrente é avançada em relação à voltagem. Para encontrar a voltagem aplicada, usa-se a fórmula:

$$E_T = \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XC})^2}$$
$$E_T = \sqrt{67^2 + 86{,}1^2}$$
$$E_T = \sqrt{4489 + 7413}$$
$$E_T = \sqrt{11902}$$
$$E_T = 110 \text{ volts}$$

Quando o circuito contém resistência, indutância e capacitância, a seguinte equação é usada para achar a impedância:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Exemplo:

Qual é a impedância de um circuito em série (figura 8-192), consistindo de um capacitor com reatância de 7 ohms, um indutor com uma reatância de 10 ohms e um resistor com resistência?

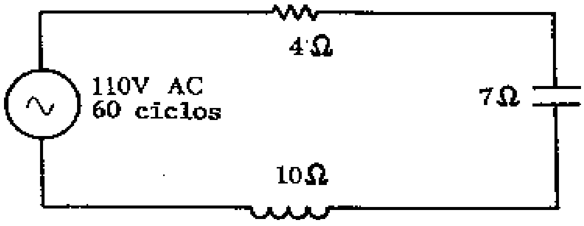


Figura 8-192 Circuito contendo resistência, indutância e capacitância.

Solução:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$Z = \sqrt{4^2 + (10 - 7)^2}$$
$$Z = \sqrt{4^2 + 3^2}$$
$$Z = \sqrt{25}$$
$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Considerando que a reatância do capacitor é 10 ohms e a reatância de indutor é 7 ohms, então X_C é maior do que X_L.

Então,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$Z = \sqrt{4^2 + (7 - 10)^2}$$
$$Z = \sqrt{4^2 + (-3)^2}$$
$$Z = \sqrt{16 + 9}$$
$$Z = \sqrt{25}$$
$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Circuitos de C.A. em paralelo

Os métodos usados para resolver problemas de circuitos de C.A. em paralelo são basicamente os mesmos usados para os circuitos em série de C.A..

Voltagens ou correntes fora-de-fase podem ser somadas usando-se a lei dos triângulos retângulos, mas solucionando-se problemas de circuitos. As correntes através das ramificações são somadas desde que as quedas de voltagens através das várias derivações sejam as mesmas e iguais à voltagem aplicada.

Na figura 8-193 é mostrado esquematicamente, um circuito de C.A. em paralelo, contendo uma indutância e uma resistência. A corrente fluindo através da indutância, I_L, é de 0,0584 ampère, e a corrente fluindo através da resistência é de 0,11 ampère.

Qual é a resistência total no circuito?

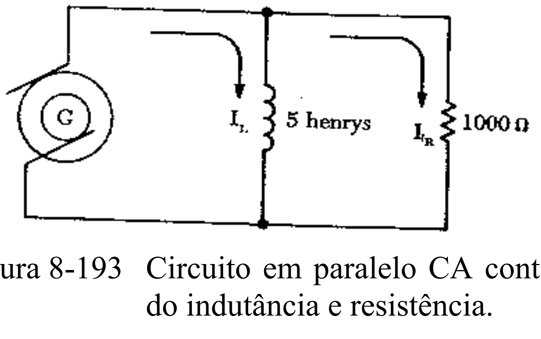


Figura 8-193 Circuito em paralelo CA contendo indutância e resistência.

Solução:

$$I_T = \sqrt{I_L^2 + I_R^2}$$

$$= \sqrt{(0{,}0584)^2 + (0{,}11)^2}$$

$$= \sqrt{0{,}0155} = 0{,}1245 \text{ ampère}$$

Já que a reatância indutiva ocasiona adiantamento da voltagem em relação à corrente, a corrente total, que contém um componente da corrente indutiva, retarda-se em relação a voltagem aplicada.

Plotando-se a corrente e a voltagem, o ângulo entre os dois, chamado ângulo de fase, ilustra o quanto a corrente se atrasa em relação à voltagem.

Na figura 8-194, um gerador de 110 volts conectado a uma carga, consistindo de uma capacitância de 2µf e uma capacitância de 10 ohms, em paralelo. Qual é o valor da impedância e do fluxo total de corrente?

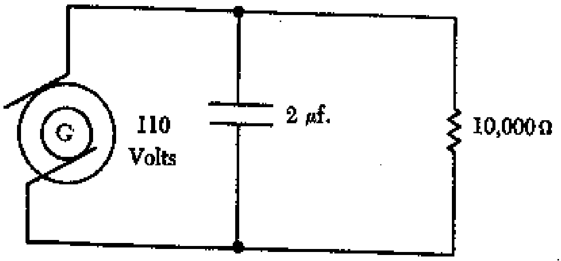


Figura 8-194 Circuito de CA em paralelo contendo capacitância e resistência.

Solução:

Primeiro, ache a reatância capacitiva do circuito:

$$X_c = \frac{1}{2\,\pi f C}$$

Transformando 2 µf em farads e inserindo os valores na fórmula dada:

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 60 \times 0{,}000002} =$$

$$= \frac{1}{0{,}00075360} \text{ ou } \frac{10.000}{7.536} =$$

$$= 1327\ \Omega \text{ de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a impedância, a fórmula de impedância usada em circuito de C.A. em série precisa ser modificada para se ajustar ao circuito em paralelo:

$$Z = \frac{R X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{10.000 \, x \, 1327}{\sqrt{(10.000)^2 + (1327)^2}} =$$

$$= 0{,}1315\ \Omega \text{ (aproximadamente)}$$

Para encontrar a corrente através da capacitância:

$$I_c = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{1327} = 0{,}0829 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente fluindo pela resistência:

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{110}{10000} = 0{,}011 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente total no circuito:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$I_T = \sqrt{(0{,}011)^2 + (0{,}0829)^2} =$$

$$= 0{,}0836 \text{ ampères (aproximadamente)}$$

Ressonância

Tem sido mostrado que tanto a reatância indutiva ($X_L = 2\,\pi\,fL$) e a reatância capacitiva

$$X_C = \frac{1}{2\,\pi f C}$$

têm funções de uma freqüência de corrente alternada. Diminuindo a freqüência, diminui o valor ôhmico da reatância indutiva, mas uma diminuição na freqüência, aumenta a reatância capacitiva.

Numa particular freqüência, conhecida como freqüência de ressonância, os efeitos reativos de um capacitor e de um indutor serão iguais.

Como estes efeitos são opostos entre si, eles se anularão, permanecendo apenas o valor ôhmico da resistência em oposição ao fluxo de corrente, no circuito.

Se o valor da resistência for pequeno ou consistir somente de resistência nos condutores, o valor do fluxo de corrente pode tornar-se muito elevado. Num circuito, onde o indutor e capacitor estejam em série e a freqüência seja a de ressonância, o circuito é referido como “em ressonância”, neste caso, um circuito ressonante em série. O símbolo para a freqüência ressonante é F_n. Se, na freqüência de ressonância, a reatância indutiva for igual à reatância capacitiva, então teremos:

$$X_L = X_C \text{ ou } 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dividindo-se ambos os termos por 2 fL,

$$F_n^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

Extraindo-se a raiz quadrada de ambos os termos:

$$F_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Onde F_n é a freqüência ressonante em ciclos por segundo, “C” é a capacitância em farads e “L” é a indutância em henrys. Com essa fórmula, a freqüência em que um capacitor e um indutor serão ressonantes pode ser determinada.

Para encontrar a reatância indutiva do circuito, usa-se:

$$X_L = 2(\pi) fL$$

A fórmula de impedância usada num circuito de C.A. em série, precisa ser modificada para aplicar-se a um circuito em paralelo.

$$Z = \frac{R X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

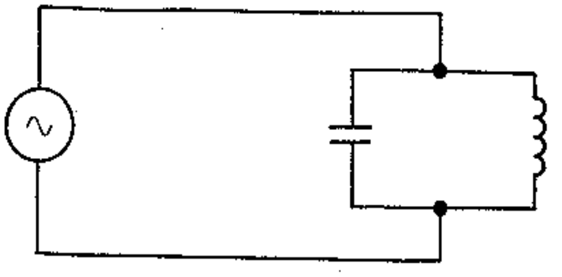


Figura 8-195 Circuito ressonante em paralelo.

Para resolver cadeias paralelas de indutância e reatores capacitivos, usa-se:

$$X = \frac{X_L X_C}{\sqrt{X_L + X_C}}$$

Para resolver cadeias paralelas com resistência capacitiva e indutância, usa-se:

$$Z = \frac{R X_L X_C}{\sqrt{X_L^2 X_C^2 + (R X_L - R X_C)^2}}$$

Como na freqüência de ressonância X_L cancela X_C, a corrente pode tornar-se muito alta, dependendo do valor de resistência. Em casos assim, a queda de voltagem através do indutor ou capacitor será, muitas vezes, mais alta do que a voltagem aplicada.

Num circuito ressonante em paralelo (figura 8-195), as reatâncias são iguais, e correntes idênticas fluirão através da bobina e do capacitor.

Como a reatância indutiva faz a corrente através da bobina retardar-se em 90 graus em relação à voltagem, e a reatância capacitiva faz a corrente através do capacitor adiantar-se em 90 graus em ralação à voltagem, as duas correntes ficam defasadas em 180 graus.

O efeito de anulação dessas correntes significaria que nenhuma corrente fluiria do gerador, e a combinação em paralelo do indutor e do capacitor aparentaria uma impedância infinita.

Na prática, nenhum circuito semelhante é possível, já que algum valor de resistência está sempre presente e o circuito em paralelo, às vezes, chamado circuito tanque, atua como uma impedância muito alta; ele também é chamado de circuito anti-ressonante, já que seu efeito no circuito é oposto ao do circuito série-ressonante, no qual a impedância é muito baixa.

Potência em circuitos de C.A.

Num circuito de C.C. a potência é obtida pela equação P = EI (watts = volts x ampères). Daí, se 1 ampère de corrente flui num circuito com uma voltagem de 200 volts, a potência é de 200 watts.

O produto de volts pelos ampères é a potência verdadeira em um circuito.

Num circuito de A.C., um voltímetro indica a voltagem efetiva e um amperímetro indica a corrente efetiva.

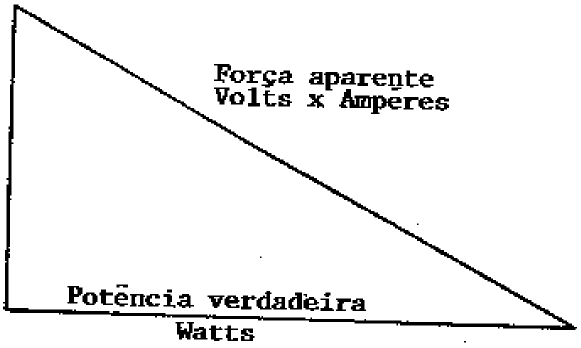


Figura 8-196 Fator de potência em um circuito de CA.

O produto dessas duas leituras é chamado de potência aparente. Somente o circuito de C.A. é formado de resistência, e a potência aparente é igual à potência real (verdadeira) como mostrado na figura 8-196..

Quando há capacitância ou indutância no circuito, a corrente e a voltagem não estão exatamente em fase, e a potência verdadeira é menor do que a potência aparente.

A potência verdadeira é obtida por meio de um wattímetro.

A proporção entre a potência verdadeira e a aparente é chamada de fator de potência e é expressa em unidades percentuais. Na forma de equação, a relação é:

FP= Fator de Potência

$$FP = \frac{100 \text{ x Watts (potencia verdadeira)}}{\text{volts x amperes (potencia aparente)}}$$

Problema:

Um motor de C.A. de 220 volts toma 50 ampères de uma linha, mas um wattímetro na linha mostra que somente 9.350 watts são tomados pelo motor.

Qual é a potência aparente e o fator de potência?

Solução:

Potência aparente = volts x ampères

= 220 x 50 = 11000 watts ou volt - ampères

$$FP = \frac{\text{Watts (potencia verdadeira) x 100}}{\text{VA (potencia aparente)}} =$$

$$= \frac{9350 \text{ x } 100}{11000} = 85 \text{ ou } 85\%$$

TRANSFORMADORES

Um transformador modifica o nível de voltagem, aumentando-o ou diminuindo-o como necessário. Ele consiste em duas bobinas eletricamente independentes, que são dispostas de tal forma que o campo magnético em torno de uma das bobinas atravessa também a outra bobina.

Quando uma voltagem alternada é aplicada a (através de) uma bobina, o campo magnético variável formado em torno dela cria uma voltagem alternada na outra bobina por indução mútua.

Um transformador também pode ser usado com C.C. pulsativa, mas voltagem C.C. pura não pode ser usada, já que apenas uma voltagem variável cria o campo magnético variável, que é a base do processo de indução mútua.

Um transformador consiste de três partes básicas, conforme mostrado na figura 8-197. São elas: um núcleo de ferro, que proporciona um circuito de baixa relutância para as linhas de força magnética; um enrolamento primário, que recebe a energia elétrica da fonte de voltagem aplicada; um enrolamento secundário, que recebe energia elétrica, por indução, do enrolamento primário.

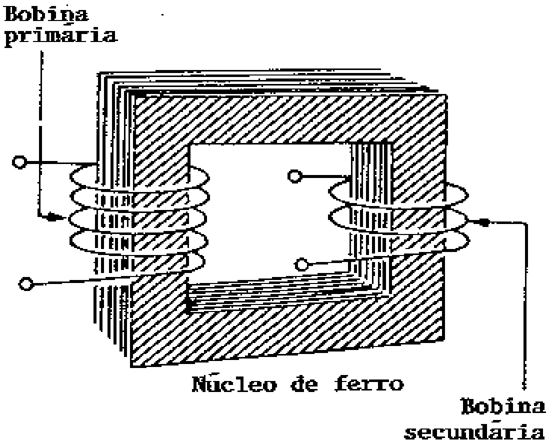


Figura 8-197 Transformador com núcleo de ferro.

O primário e o secundário deste transformador de núcleo fechado são enrolados sobre um núcleo fechado, para obter o máximo efeito indutivo entre as duas bobinas.

Existem duas classes de transformadores: (1) transformadores de voltagem, usados para aumentar ou diminuir voltagens; e (2) transformadores de corrente, usados em circuitos de instrumentos.

Nos transformadores de voltagem, as bobinas primárias são ligadas em paralelo com a fonte de voltagem, conforme mostrado na figura 8-198, letra "A".

Os enrolamentos primários dos transformadores de corrente são ligados em série no circuito primário ("B" da figura 8-198). Dos dois tipos, o transformador de voltagem é o mais comum.

Existem muitos tipos de transformadores de voltagem. A maioria deles é de transformadores de aumento ou diminuição.

O fator que determina um ou outro tipo é a proporção de espiras, que é a relação entre o número de espiras do enrolamento primário e do secundário.

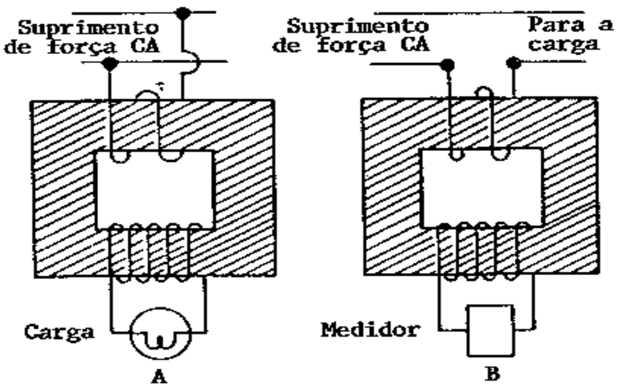


Figura 8-198 Transformador de voltagem e de corrente.

Por exemplo, a proporção de espiras do transformador de redução mostrado em "A" da figura 8-199 é 5 por 1, tendo em vista que o primário possui cinco vezes mais espiras do que o secundário.

O transformador de elevação mostrado em "B" da figura 8-199 tem uma razão de espiras de 1 por 4.

Considerando-se 100% de eficiência, a proporção entre a voltagem de entrada e a de saída de um transformador é a mesma que a do número de espiras no primário e secundário.

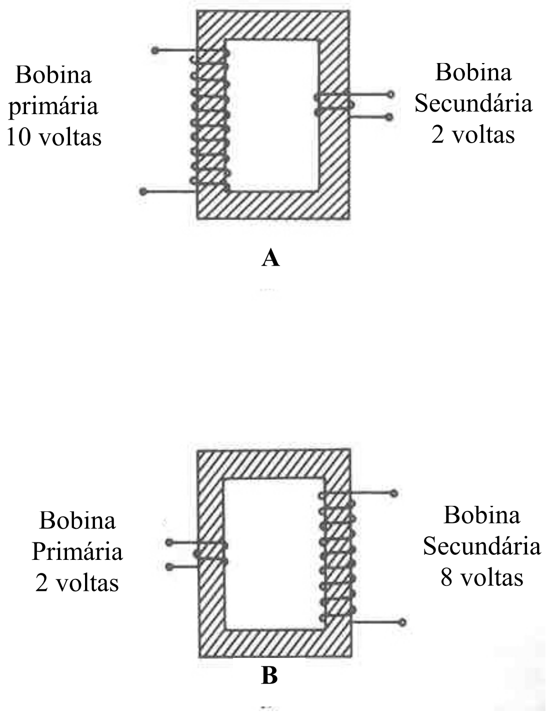

Bobina primária 10 voltas
Bobina Secundária 2 voltas
A
Bobina Primária 2 voltas
Bobina Secundária 8 voltas
B

Figura 8-199 Transformadores de redução e de elevação.

Assim, quando 10 volts são aplicados ao primário do transformador mostrado em "A" da figura 8-199, dois volts são induzidos no secundário.

Se 10 volts forem aplicados ao primário do transformador mostrado na letra "B" da figura 8-199, a voltagem nos terminais do secundário será 40 volts.

É impossível construir um transformador com 100% de eficiência, porque não são todas as linhas de força do primário que conseguem cortar a bobina do secundário. Uma certa quantidade de fluxo magnético vaza do circuito magnético.

O grau de eficiência como o fluxo do primário, que é aproveitado no secundário, é chamado de "coeficiente de acoplamento".

Por exemplo, se for concebido que o primário de um transformador desenvolve 10.000 linhas de força, mas apenas 9.000 passam através do secundário, o coeficiente de acoplamento seria 9 ou, dito de outra maneira, o transformador teria 90% de eficiência.

Quando uma voltagem de C.A. é ligada através dos terminais do primário de um transformador, fluirá uma corrente alternada, ocorrendo auto-indução de uma voltagem na bobina do primário, a qual será oposta e aproximadamente igual à voltagem aplicada.

A diferença entre estas duas voltagens permite apenas a corrente suficiente no primário, para magnetizar o seu núcleo. Isto é chamado de corrente de excitação ou magnetização. O campo magnético provocado por esta corrente de excitação corta a bobina do secundário e induz uma voltagem por indução mútua.

Se uma carga for conectada através da bobina secundária, a corrente de carga fluindo através da bobina secundária produzirá um campo magnético, que tenderá a neutralizar o campo magnético produzido pela corrente do primário. Isto reduzirá a voltagem auto-induzida (oposição) na bobina do primário e permitirá fluir mais corrente no primário.

A corrente do primário aumenta conforme a corrente de carga do secundário aumenta e diminui conforme a corrente de carga do secundário diminui.

Quando a carga do secundário é removida, a corrente do primário é então reduzida a uma pequena corrente de excitação, suficiente somente para magnetizar o núcleo de ferro do transformador.

Quando um transformador eleva a voltagem, ele reduz a corrente na mesma proporção. Isto fica evidente em se considerando a fórmula de potência elétrica (I x E) e que a potência desenvolvida no secundário é a mesma do primário, menos a energia perdida no processo de transformação. Assim, se 10 volts e 4 ampères (40 watts de potência) são usados no primário para produzir um campo magnético, haverá 40 watts de potência desenvolvidos no secundário (desconsiderando qualquer perda).

O transformador tendo uma proporção de elevação de 4 por 1, a voltagem através do secundário será de 40 volts e a corrente será de 1 ampère. A voltagem é 4 vezes maior e a corrente é um quarto dos valores do circuito primário, mas a potência (valor de I x E) é a mesma. Quando a proporção de espiras e a voltagem de entrada são conhecidas, a voltagem de saída pode ser determinada da seguinte forma:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Onde E é a voltagem do primário, E_2 é a voltagem de saída do secundário e N_1 e N_2 são o número de espiras do primário e do secundário, respectivamente.

Transpondo a equação, para achar a voltagem de saída, temos:

$$E_2 = \frac{E_1 N_2}{N_1}$$

Os transformadores de voltagem mais comumente usados são os seguintes:

(1) Transformadores de potência, que são usados para elevar ou reduzir voltagens e correntes em muitos tipos de fontes de força. Eles variam desde os pequenos transformadores de potência mostrados na figura 8-200, usados num rádio-receptor, até os grandes transformadores utilizados para reduzir alta-tensão para o nível de 110/120 volts usados domesticamente. Na figura 8-201, o símbolo esquemático para um transformador de núcleo de ferro é mostrado. Neste caso, o secundário é constituído por três enrolamentos distintos. Cada secundário possui um ponto intermediário de ligação, chamado "*center tap*", que proporciona a seleção de metade da voltagem do enrolamento inteiro.

Os terminais dos vários enrolamentos são identificados por código de cores, pelos fabricantes, conforme indicado na figura 8-201. Este é um código de cores padronizado, mas outros códigos ou números podem ser utilizados.

(2) Transformadores de áudio parecem transformadores de potência. Eles têm apenas um secundário e destinam-se a funcionar na faixa de audiofreqüências (20 a 20.000 c.p.s.)

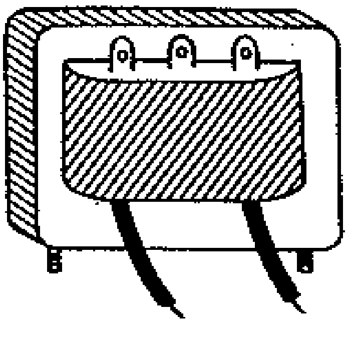


Figura 8-200 Transformador de potência.

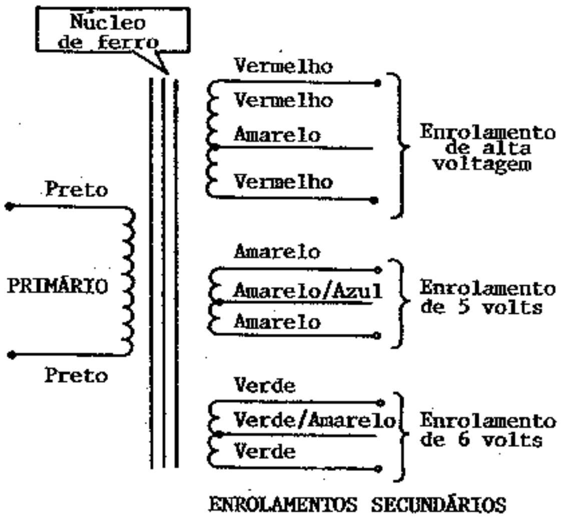


Figura 8-201 Símbolo esquemático para um transformador com núcleo de ferro.

(3) Transformadores de RF destinam-se a operar em equipamentos que funcionam na faixa de freqüência de rádio. O símbolo para os transformadores de RF é o mesmo usado para bobinas de RF. Têm núcleo de ar, conforme mostrado na figura 8-202.

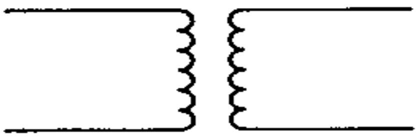


Figura 8-202 Transformadores com núcleo de ar.

(3) Autotransformadores são geralmente usados em circuitos de força; entretanto, eles podem ser destinados a outros usos. Dois símbolos diferentes de autotransformadores usados em circuitos de força ou áudio são mostrados na figura 8-203. Quando usados em circuito de navegação ou de comunicação RF (B da figura 8-203), são os mesmos, não havendo nenhum símbolo para núcleo de ferro.

Os autotransformadores usam parte do enrolamento como primário; e dependendo de elevação ou redução, ele usa todo ou parte do mesmo enrolamento como secundário. Por exemplo, o autotransformador mostrado em "A" da figura 8-203 poderia usar as várias combinações apresentadas para os terminais primário e secundário.

Primário			Secundário
1-2	usado	com	1-3
1-2	"	"	2-3
1-3	"	"	1-2
1-3	"	"	2-3
2-3	"	"	1-3
2-3	"	"	1-2

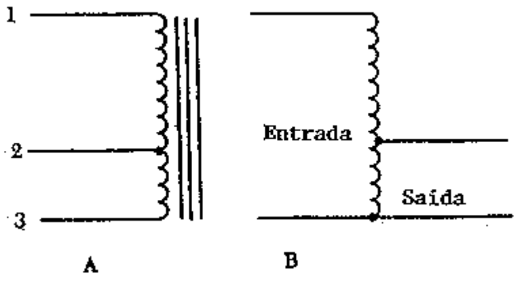


Figura 8-203 Autotransformadores.

Transformadores de corrente

São usados em sistemas de fonte de força de C.A., para captar a corrente da linha do gerador e prover uma corrente, proporcional à corrente de linha, para circuito de proteção e dispositivos de controle.

O transformador de corrente é um transformador do tipo anel, usando um terminal de força condutor de corrente como primário (tanto o terminal de força ou o terminal de aterramento de gerador). A corrente no primário induz uma corrente no secundário, por indução magnética.

Os lados de todos os transformadores de corrente são marcados "H1" e "H2", na base. Os transformadores devem ser instalados com o lado "H1" na direção do gerador, no circuito, mantendo a polaridade apropriada.

O secundário do transformador não pode jamais ficar aberto quando o sistema estiver funcionando, caso contrário, isto provocaria altas voltagens perigosas e poderia superaquecer o transformador.

Portanto, as conexões de saída do transformador precisam estar sempre conectadas com um "*jumper*" quando o transformador não estiver sendo usado, mas permanece no sistema.

Perdas dos transformadores

Juntamente com a perda de energia provocada por acoplamento imperfeito, os transformadores estão sujeitos à perdas do "ferro" e do "cobre". A perda do "cobre" é causada pela resistência do condutor, envolvendo as espiras da bobina. Existem dois tipos de perdas do "ferro", chamados perda por histerese e perda por "*Eddy current*".

A primeira, é a energia elétrica requerida para magnetizar o núcleo do transformador, mudando de direção juntamente com a voltagem alternada aplicada.

A segunda, é provocada por correntes elétricas (*Eddy current*) induzidas no núcleo do transformador pelas variações dos campos magnéticos. Para reduzir as perdas por "*Eddy current*" os núcleos são feitos de camadas laminadas com isolação, que reduzem a circulação de correntes induzidas.

Potência em transformadores

Como um transformador não adiciona nenhuma eletricidade ao circuito, mas meramente modifica ou transforma a eletricidade que já existe nele, de uma voltagem noutra, a quantidade total de energia no circuito permanece a mesma.

Se fosse possível construir um transformador perfeito, não haveria perda de força nele; a energia seria transferida sem eliminação, de uma voltagem noutra.

Já que a potência é o produto da voltagem pela amperagem, um aumento da voltagem pelo transformador resultará numa diminuição da corrente e vice-versa. Não pode haver maior potência no lado do secundário de um transformador do que existir no lado do primário. O produto de ampères vezes volts permanece o mesmo.

A transmissão de força por longas distâncias é realizada por meio de transformadores. Na fonte de força a voltagem é elevada para reduzir a perda na linha durante a transmissão. No ponto de utilização, a voltagem é reduzida, já que não é praticável o uso de alta voltagem para operar motores, luzes ou outros aparelhos elétricos.

Ligação de transformadores em circuitos de C.A.

Antes de estudar as várias maneiras de ligar transformadores em circuitos de C.A., as diferenças entre circuitos monofásicos e trifásicos precisam ser claramente entendidas.

Num circuito monofásico, a voltagem é gerada por uma bobina alternadora. Esta voltagem monofásica pode ser obtida de um alternador monofásico ou de uma fase de um alternador trifásico, conforme será abordado adiante, no estudo de geradores de C.A.

Num circuito trifásico, três voltagens são geradas por um alternador com três bobinas distintas, ocorrendo que as três voltagens geradas são iguais mas atingem seus valores máximos em tempos diferentes. Em cada fase do gerador trifásico com 400 ciclos, um ciclo é gerado a cada 1/400 segundos.

Em sua rotação, o pólo magnético cruza uma bobina e gera uma voltagem máxima, um terço de ciclo (1/1200 segundos), depois ele cruza uma outra bobina e gera nela uma alta voltagem. Isto ocasiona voltagens máximas geradas nas três bobinas, sempre separadas um terço de ciclo (1/1200 segundos).

Os geradores trifásicos primitivos eram ligados às suas cargas com seis fios e todos eles conduziam corrente.

Posteriormente, experiências provaram que o gerador forneceria mais força com as bobinas conectadas, de tal modo que somente três fios eram necessários para as três fases, conforme mostrado na figura 8-204.

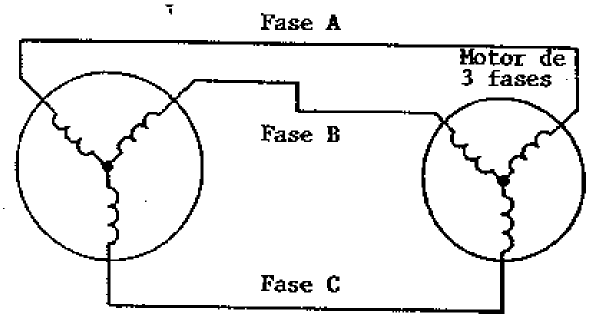


Figura 8-204 Gerador de três fases usando três condutores.

O uso de três fios é padrão para transmissão de força trifásica, atualmente. O retorno de corrente de qualquer uma bobina do alternador flui, voltando através dos outros dois fios no circuito trifásico.

Os motores trifásicos e outras cargas trifásicas são ligados com suas bobinas ou elementos de carga colocados de tal forma que requerem três linhas para disponibilização de força.

Os transformadores que são usados para elevação de voltagem ou redução, num circuito trifásico, são ligados eletricamente de modo que a força é fornecida para o primário e tomada do secundário pelo sistema trifásico padrão.

Entretanto, transformadores monofásicos e lâmpadas e motores monofásicos podem ser ligados através de uma das fases do circuito trifásico, conforme mostrado na figura 8-205.

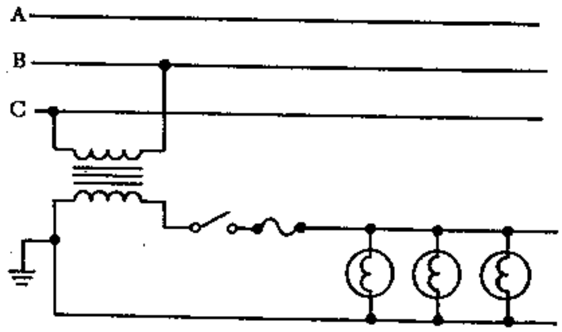


Figura 8-205 Transformador de redução usando sistema bifásico.

Quando cargas monofásicas são ligadas em circuitos trifásicos, as cargas são distribuídas igualmente pelas três fases para balancear as três bobinas do gerador.

Um outro uso do transformador é o monofásico com várias tomadas no secundário. Com este tipo de transformador, a voltagem pode ser diminuída para prover várias voltagens de trabalho, conforme mostrado na figura 8-206.

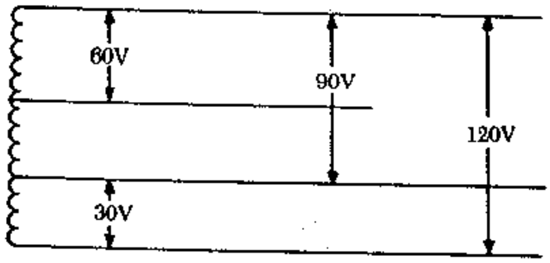


Figura 8-206 Tomadas do secundário de um transformador.

Um transformador, com tomada central alimentando um motor de 220 volts, acompanhado de quatro lâmpadas de 110 volts, é mostrado na figura 8-207.

O motor é ligado através do transformador integral, e as lâmpadas são ligadas da tomada central para uma das extremidades do transformador com esta ligação somente a metade da saída do secundário é usada.

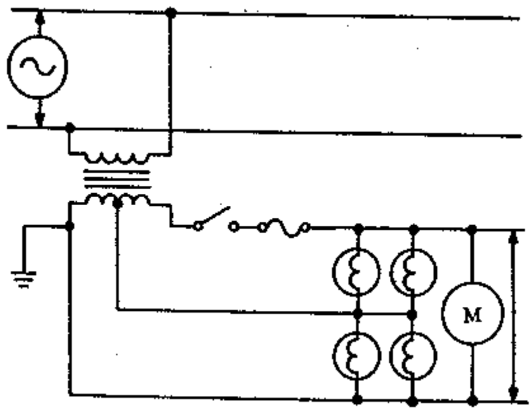


Figura 8-207 Transformador de redução usando sistema trifásico.

Este tipo de ligação do transformador é amplamente usado em aeronaves por causa das combinações de voltagens, que podem ser obtidas de um transformador.

Várias voltagens podem ser tomadas do enrolamento secundário do transformador, colocando-se tomadas (durante a fabricação) em vários pontos ao longo dos enrolamentos secundários.

Os valores variados de voltagem podem ser obtidos utilizando-se qualquer dupla de tomadas, ou uma tomada e qualquer das extremidades do enrolamento secundário.

Transformadores para circuitos trifásicos podem ser ligados em qualquer uma das várias combinações das ligações "ípsilon (y) e delta (Δ)". A ligação usada depende dos requisitos para o transformador.

Quando a ligação ípsilon é usada em transformadores trifásicos, um quarto fio ou neutro pode ser usado. O fio neutro liga equipamentos monofásicos ao transformador. As voltagens (115v) entre qualquer uma das linhas trifásicas e o fio neutro podem ser usadas por dispositivos como lâmpadas ou motores monofásicos.

Todos os quatro fios, em combinação podem fornecer energia de 208 volts, trifásica, para funcionamento de equipamentos trifásicos, tais como motores trifásicos ou retificadores. Quando apenas equipamento trifásico é usado, o fio terra pode ser omitido. Isto permite um sistema trifásico de três fios, conforme ilustrado na figura 8-208.

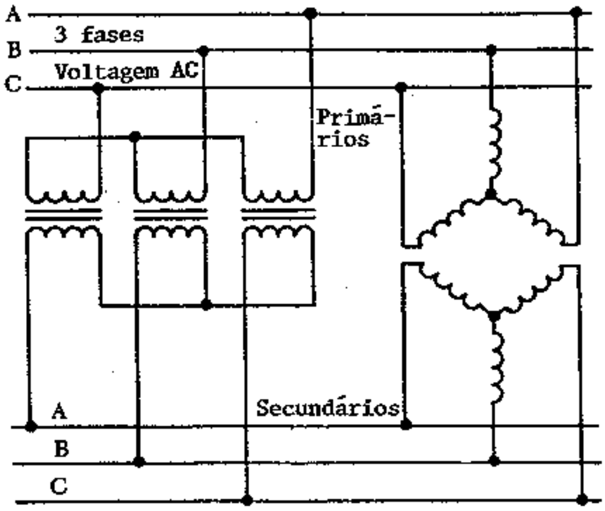


Figura 8-208 Primário e secundário com ligação ípsilon (Y).

A figura 8-209 mostra o primário e o secundário com ligação delta. Com este tipo de ligação, o transformador tem a mesma saída de voltagem da voltagem de linha.

Entre quaisquer das duas fases, a voltagem é 240 volts. Neste tipo de ligação, os fios A, B e C podem fornecer 240 volts de força trifásica para operação de equipamentos trifásicos.

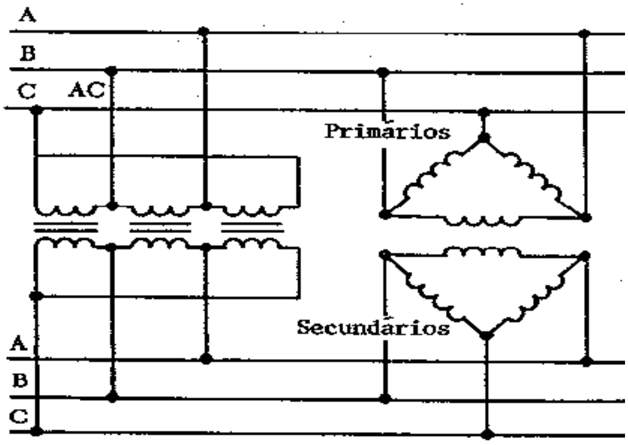


Figura 8-209 Primário e secundário com ligação delta.

O tipo de ligação usado para bobinas primárias, pode ou não, ser o mesmo usado para bobinas secundárias. Por exemplo, o primário pode ser uma ligação delta e o secundário uma ligação ípsilon.

Isso é chamado de ligação delta-ípsilon de transformador. Outras combinações são delta-delta, ípsilon-delta e ípsilon-ípsilon.

Análise e pesquisa de panes em transformadores

Existem ocasiões em que um transformador precisa ser testado quanto a interrupções e "curtos" e, é muitas vezes, necessário determinar se um transformador é de elevação ou redução.

Um enrolamento aberto pode ser localizado por meio de um ohmímetro, conforme mostrado na figura 8-210. Ligado conforme demonstrado, o ohmímetro marcaria resistência infinita. Se não houvesse interrupção na bobina, ele indicaria o valor de resistência do fio da bobina. Também o primário, quanto o secundário, podem ser testados da mesma maneira.

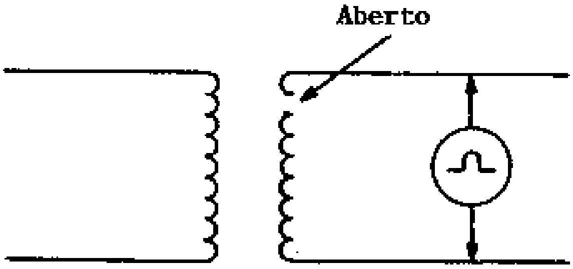


Figura 8-210 Testando quanto ao rompimento do enrolamento de um transformador.

O ohmímetro pode também ser usado para testar enrolamentos "em curto", conforme demonstrado na figura 8-211, entretanto, este método não é preciso. Se, por exemplo, o transformador tendo 500 espiras, e uma resistência de 2 ohms estivesse com 5 espiras "em curto", a resistência seria reduzida, aproximadamente 1,98 ohms, que não seria o suficiente para ser lido no ohmímetro.

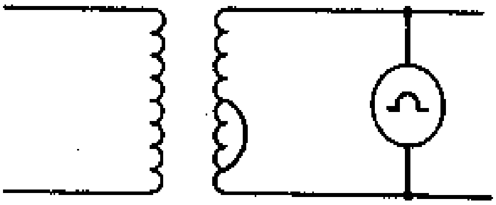


Figura 8-211 Testando quanto a "curto" no enrolamento de transformadores.

Neste caso, a voltagem de entrada pode ser aplicada ao primário para permitir medição da voltagem de saída no secundário. Se a voltagem no secundário for baixa pode ser concluído que o transformador tenha alguns enrolamentos "em curto", e ele deva ser substituído. Se a voltagem voltar ao normal, o transformador pode ser considerado defeituoso.

Um ohmímetro pode ser usado para determinar se um transformador é de elevação ou redução. Num transformador de redução, a resistência do secundário será menor do que a do primário, e a recíproca será verdadeira, no caso de um transformador de elevação.

Ainda um outro método envolve aplicar uma voltagem ao primário e medir a saída do secundário. As voltagens usadas não poderiam exceder a voltagem de entrada especificada.

Quando um enrolamento estiver completamente "em curto", normalmente torna-se superaquecido por causa do elevado fluxo de corrente. Em muitos casos, o valor excessivo derreteria a cera no transformador, e isto poderia ser percebido pelo cheiro resultante.

Uma leitura de voltímetro através do secundário marcaria zero. Se o circuito incluir um fusível, a corrente elevada pode provocar a queima deste antes de danificar seriamente o transformador.

Na figura 8-212 é mostrado um ponto do enrolamento do transformador ligado a terra. Se o circuito externo do circuito do transformador está aterrado, uma parte do enrolamento está efetivamente "em curto".

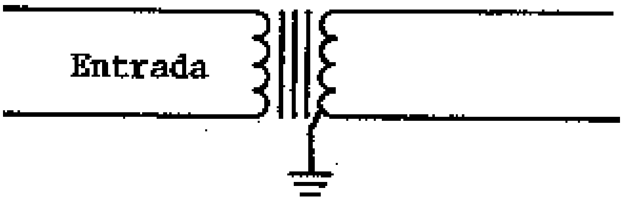


Figura 8-212 Parte de um enrolamento de transformador "aterrado".

Um megômetro ligado entre um lado do enrolamento e o invólucro (corpo) do transformador confirmaria tal condição com uma leitura baixa ou zero. Neste caso o transformador precisa ser substituído.

Todos os transformadores discutidos nesta seção são indicados com um enrolamento primário. Eles funcionam com uma fonte de C.A. simples.

Transformadores que funcionam com três voltagens de um alternador ou gerador de C.A. são denominados transformadores trifásicos ou polifásicos. Eles serão discutidos no estudo de geradores e motores.

AMPLIFICADORES MAGNÉTICOS

O amplificador magnético é um dispositivo de controle, sendo empregado em escala crescente em muitos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves, por sua robustez, estabilidade e segurança em comparação com as válvulas à vácuo.

Os princípios de funcionamento do amplificador magnético podem ser melhor compreendidos, revisando-se o funcionamento de um transformador simples.

Se uma voltagem C.A. for aplicada ao primário de um transformador de núcleo de ferro, o núcleo irá se magnetizar e desmagnetizar com a mesma freqüência da voltagem aplicada.

Isto, por sua vez, induzirá uma voltagem no secundário do transformador. A voltagem de saída, através dos terminais do secundário, dependerá da relação entre o número de espiras no primário e secundário do transformador.

O núcleo de ferro do transformador tem um ponto de saturação, além do qual a aplicação de uma força magnética maior não produzirá nenhuma alteração na intensidade de magnetização. Conseqüentemente, não haverá mudança na saída do transformador, ainda que a entrada seja muito aumentada.

O circuito de amplificador magnético na figura 8-213 será usado para explicar como um amplificador magnético funciona. Suponha que exista 1 ampère de corrente na bobina "A", que possui 10 espiras.

Se a bobina B tiver também 10 espiras, uma saída de 1 ampère será obtida, se a bobina "B" estiver apropriadamente carregada. Aplicando-se corrente contínua na bobina "C", o núcleo da bobina do amplificador magnético pode ser adicionalmente magnetizado.

Suponha que a bobina "C" tenha o número apropriado de espiras e com a aplicação de 30 miliampères, que o núcleo seja magnetizado ao ponto em que 1 ampère na bobina "A" resulte em somente 0,24 ampères de saída da bobina "B".

Variando-se a entrada de C.C. na bobina "C" continuamente de 0 a 30 miliampères, e conservando uma entrada de 1 ampère na bobina "A", é possível controlar a saída da bobina "B" em qualquer ponto entre 0,24 e 1 ampère, neste exemplo.

O termo "amplificador" é usado para este dispositivo, porque usando-se uns poucos miliampères obtem-se o controle de uma saída de 1 ou mais ampères.

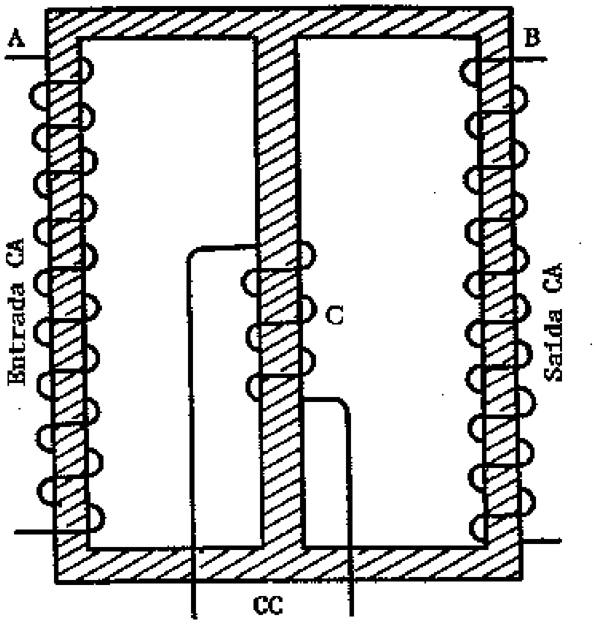


Figura 8-213 Circuito amplificado magnético.

O mesmo procedimento pode ser usado com o circuito mostrado na figura 8-214.

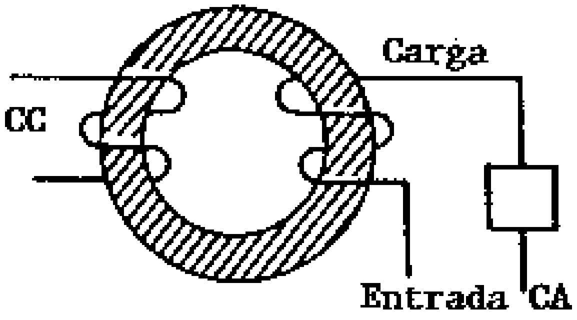


Figura 8-214 Circuito reator saturável.

Controlando-se o grau de magnetização do anel de ferro, é possível controlar a quantidade de corrente fluindo para a carga, já que o nível de magnetização controla a impedância do enrolamento de entrada de C.A.. Este tipo de amplificador magnético é chamado de circuito motor saturável simples.

Adicionando-se um retificador em tal circuito, metade do ciclo de entrada de C.A. seria removido, permitindo uma corrente contínua fluir para a carga.

A quantidade de corrente contínua fluindo na carga do circuito é controlada por um enrolamento de controle de C.C. (às vezes referido como bias). Este tipo de amplificador magnético é referido como sendo do auto-saturação.

A fim de usar a energia total de entrada, um circuito, como o que é mostrado na figura 8-215, pode ser utilizado. Este circuito usa uma ponte retificadora da onda completa. A carga receberá uma corrente contínua controlada, usando-se a totalidade da entrada de C.A. Este tipo de circuito é conhecido como um amplificador magnético de auto-saturação, onda completa.

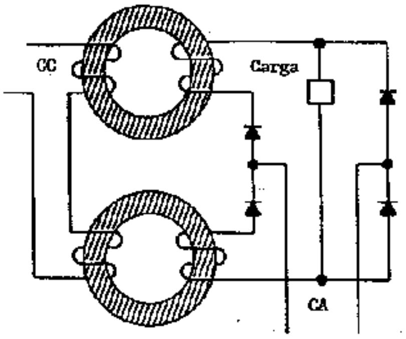


Figura 8-215 Amplificador magnético de auto-saturação e de onda completa.

Na figura 8-216 é presumido que o enrolamento de controle de C.C. é alimentado por uma fonte variável.

A fim de controlar tal fonte e usar suas variações para controlar a saída de C.A., é necessário acrescentar um outro enrolamento de c.c. que tenha um valor constante. Este enrolamento, conhecimento como um enrolamento de referência, magnetiza o núcleo em uma direção.

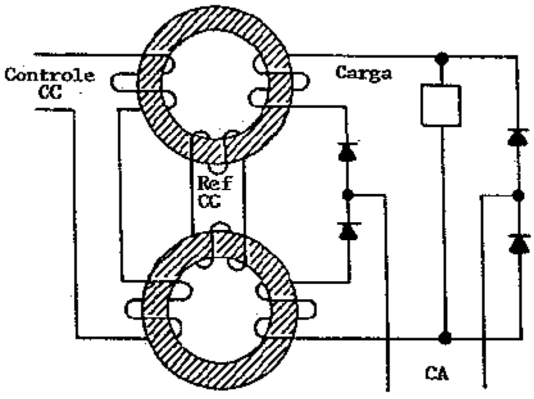


Figura 8-216 Circuito básico pré-amplificador.

VÁLVULAS ELETRÔNICAS

O uso de válvulas nos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves declinou rapidamente por causa das inúmeras vantagens do uso de transistores. Entretanto, alguns sistemas em aplicações especiais podem ainda utilizar válvulas em aparelhos equipando aeronaves muito antigas.

Por esta razão, e ainda, porque este assunto tem valor ilustrativo para dar idéia do que ocorreu antes do transmissor, o estudo das válvulas será mantido, aqui, como parte do programa de manutenção de aeronaves.

Originalmente, as válvulas foram desenvolvidas para equipamentos de rádio. Elas eram usadas em rádio-transmissores, como amplificadores, para controlar voltagem e corrente; como osciladores para gerar sinais de áudio e rádio-freqüência e, como retificadores, para converter corrente alternada em corrente contínua.

Válvulas de rádio foram usadas com propósitos semelhantes em muitos dispositivos elétricos de aeronaves, tais como: piloto automático e regulador de “turbosupercharger”.

Quando um pedaço de metal é aquecido, a velocidade dos elétrons no metal é aumentada. Se o metal for aquecido a temperatura suficientemente elevada, os elétrons são acelerados a um ponto em que alguns deles realmente abandonam a superfície do metal, conforme mostrado na figura 8-217.

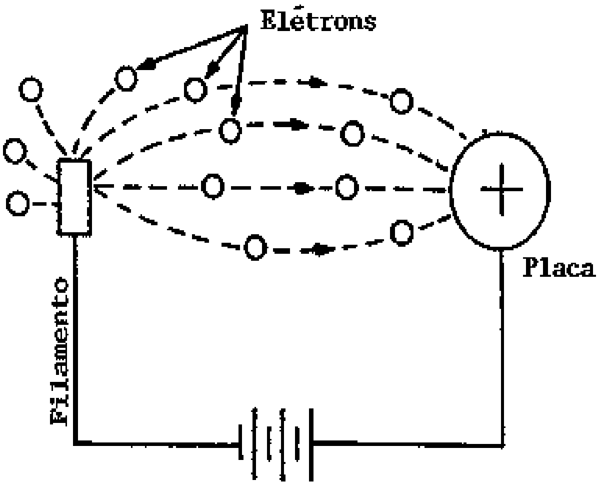


Figura 8-217 Princípio de operação de uma válvula a vácuo.

Numa válvula, os elétrons são fornecidos por um pedaço de metal chamado catodo, que é aquecido por uma corrente elétrica.

Observados determinados limites, quanto mais quente o catodo maior o número de elétrons que serão cedidos ou emitidos. Para aumentar o número de elétrons emitidos, o catodo é revestido com componentes químicos especiais. Se os elétrons emitidos não são sugados por um campo externo, eles formam uma “nuvem” negativamente carregada ao redor do catodo, chamada carga espacial.

O acúmulo de elétrons perto do emissor repele outros que venham do próprio emissor. O emissor, se isolado, torna-se positivo por causa da perda de elétrons. Isto estabelece um campo eletrostático entre a “nuvem” de elétrons e o catodo agora positivo.

Um equilíbrio é atingido quando apenas elétrons suficientes fluem do catodo para a área em redor dele, para suprir a perda causada pela difusão da carga espacial.

Tipos de válvulas

Existem muitos tipos diferentes de válvulas, das quais a maioria classifica-se em quatro tipos: (1) diodo, (2) triodo, (3) tetrodo e (4) pentodo.

Destas o diodo é usado quase que exclusivamente para transformar corrente alternada em corrente contínua.

Em algumas válvulas, o catodo é aquecido por C.C. e é tanto emissor de elétrons quanto membro condutor de corrente, enquanto em outras o catodo é aquecido por corrente alternada.

Válvulas que se destinam ao funcionamento com C.A. usam um elemento de aquecimento especial que aquece indiretamente o emissor de elétrons (catodo).

Quando um potencial C.C. é aplicado entre o catodo e um outro elemento da válvula chamado de placa, com o lado positivo de voltagem ligado à placa, os elétrons emitidos pelo catodo são atraídos pela placa.

Estes dois elementos constituem a forma mais simples de válvula, que é o diodo. No diodo os elétrons são atraídos pela placa, quando ela é mais positiva do que o catodo, e são repelidos, quando a placa é menos positiva.

A corrente flui através da válvula quando ela é instalada num circuito, somente quando é positiva em relação ao catodo.

A corrente não flui quando a placa é negativa (menos positiva), em relação ao catodo, conforme ilustrado na figura 8-218. Esta característica confere ao diodo seu tipo de uso, seja de retificação ou de transformação de corrente alternada em contínua.

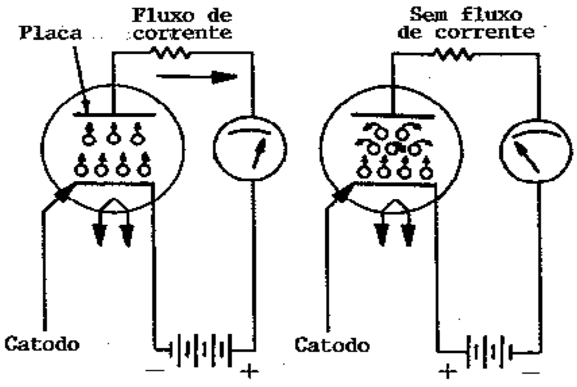


Figura 8-218 Operação de uma válvula diodo.

Diodos retificadores são usados em sistemas elétricos de aeronaves, especialmente quando alta voltagem C.C. é desejada para lâmpadas.

Podem ser usados tanto como retificadores de meia onda ou de onda completa; podem ser usados unitariamente, em paralelo, ou em circuitos-ponte.

Conforme mostrado na figura 8-219, um retificador de meia onda possui válvula de dois elementos (placa e catodo). Uma retificadora de onda completa possui três elementos (duas placas e um catodo).

Num circuito de meia-onda, a corrente flui somente durante a metade positiva do ciclo da voltagem aplicada (placa positiva e catodo negativo, para haver fluxo de elétrons).

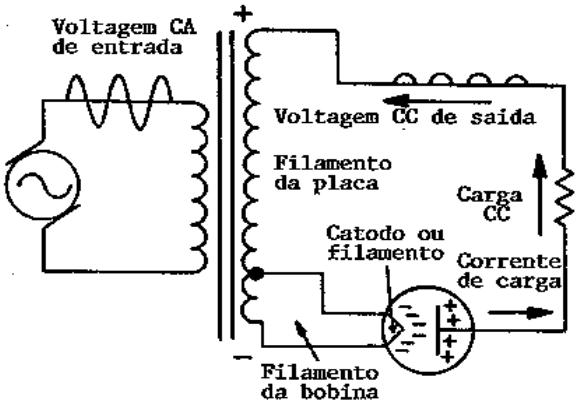


Figura 8-219 Circuito retificador de válvula de meia onda.

Fluem do catodo para a placa e daí através da carga, de volta para o catodo. No ciclo negativo da voltagem aplicada, não há fluxo de corrente através da válvula. Isto resulta em saída de voltagem retificada (C.C.), mas consiste em pulsos de corrente de meio ciclo.

Numa válvula ligada como retificadora de onda completa, a corrente flui para a carga em ambos os meios ciclos da corrente alternada. A corrente flui da placa superior, através da carga de C.C. numa alternação, e na seguinte a corrente flui para a placa inferior e através da carga na mesma direção.

Válvulas retificadoras foram largamente substituídas em sistemas de aeronaves por discos secos ou diodos semicondutores. No estudo de dispositivos ou aparelhos "*solid state*", o processo de retificação é tratado detalhadamente.

O triodo é uma válvula de três elementos. Adicionalmente à placa e ao catodo existe um terceiro elemento, chamado grade, localizado entre o catodo e a placa, conforme mostrado na figura 8-220.

A grade é uma malha de fio fino ou tela. Ela serve para controlar o fluxo de elétrons entre o catodo e a placa. Sempre que a grade se torna mais positiva do que o catodo, ocorre um aumento no número de elétrons atraídos pela placa, resultando no aumento do fluxo de corrente de placa. Se a grade se torna negativa em relação ao catodo o movimento de elétrons para a placa é retardado, e o fluxo de corrente de placa diminui.

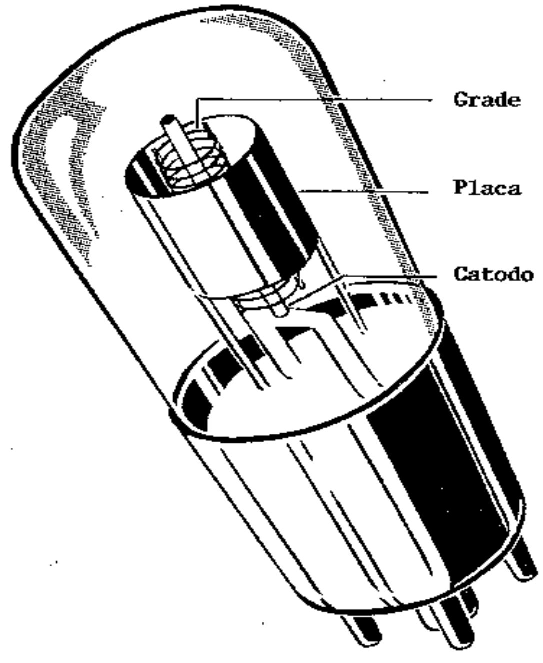


Figura 8-220 Válvula triodo.

Normalmente, a grade é negativa com referência ao catodo. Uma maneira de tornar a grade negativa é usar uma pequena bateria ligada em série com o circuito de grade. Esta voltagem negativa aplicada à grade é chamada de *bias*. O uso mais importante de um triodo é como válvula amplificadora.

Quando uma resistência ou impedância é ligada em série no circuito de placa, a queda de voltagem através dela, que depende da corrente fluindo por ela, pode ser modificada pela variação da corrente de grade.

Uma diminuta mudança na voltagem de grade provocará uma grande mudança na queda de voltagem, através da impedância de placa. Então, a voltagem aplicada à grade é amplificada no circuito de placa da válvula.

Uma válvula tetrodo é uma válvula de quatro elementos, sendo o elemento adicional em relação ao triodo, mais uma grade (*screen grid*) (figura 8-221).

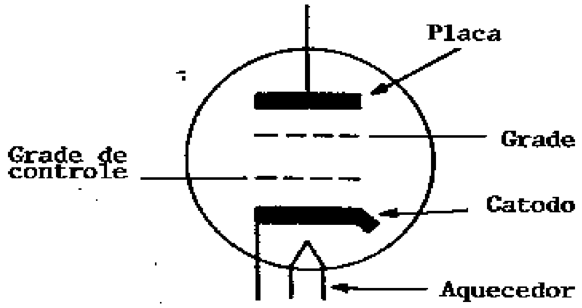


Figura 8-221 Esquema de um triodo.

Esta grade está localizada entre a grade de controle e a placa, e é operada com uma voltagem positiva um pouco mais baixa do que a voltagem de placa.

Ela reduz os efeitos às vezes indesejáveis no funcionamento da válvula, causados pelo retorno de alimentação de energia da saída da válvula para o circuito de entrada (grade).

Sob certas condições de funcionamento esta ação de retorno é muito pronunciada num triodo, e faz com que a válvula haja como um oscilador e não como amplificador. As principais vantagens de tetrodos sobre triodos são: maior amplificação para menores voltagens de entrada; e menos retorno da placa para o circuito de grade.

Uma característica indesejável da válvula tetrodo é a emissão secundária, que é o termo aplicado à condição em que os elétrons são lançados da placa no espaço entre os elementos da válvula, por seu movimento rápido de colisão com a placa.

Em válvulas triodo, sendo a grade negativa em relação ao catodo, ela repele os elétrons secundários e o funcionamento da válvula não é afetado.

No tetrodo, o efeito da emissão secundária é especialmente perceptível, já que a "*screen grid*", que é positiva em relação ao catodo, atrai os elétrons secundários e provoca uma corrente reversa entre a "*screen grid*" e a placa.

Os efeitos da emissão secundária são evitados quando se acrescenta uma terceira grade, chamada grade supressora, entre a "*screen grid*" e a placa. Esta grade repele os elétrons secundários que se direcionam para a placa.

Uma válvula com três grades é chamada de pentodo, o qual possui um elevado fator de amplificação e é usado para amplificar sinais fracos. O esquema de um pentodo é mostrado na figura 8-222.

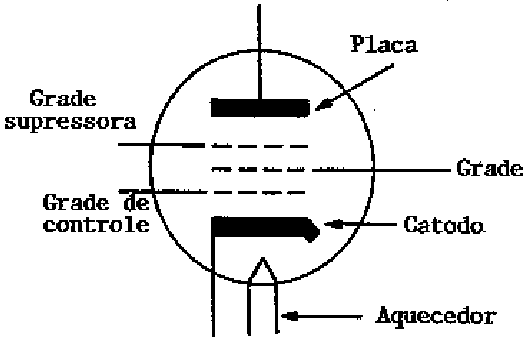


Figura 8-222 Esquema de um pentodo.

Quando um elétron encontra uma molécula de gás, a energia transferida pelo impacto causa à molécula (ou átomo) perda ou ganho de um ou mais elétrons. Consequentemente, a ionização ocorre.

Qualquer gás ou vapor não tendo ions é praticamente um isolante perfeito. Se dois eletrodos forem colocados num meio semelhante, nenhuma corrente fluirá entre eles. Entretanto, os gases sempre têm alguma ionização residual por causa dos raios cósmicos, materiais radioativos nas paredes dos recipientes, ou ação da luz.

Se um potencial for aplicado entre dois elementos entre os quais exista um gás, os íons migram entre eles e proporcionam o efeito de fluxo de corrente. Isto é chamado de corrente escura porque nenhuma luz visível é associada a corrente.

Se a voltagem entre os eletrodos for aumentada, a corrente começa a subir. A determinado ponto, conhecido como limiar, a corrente repentinamente começa a subir sem que a voltagem aplicada seja aumentada. Se houver resistência suficiente no circuito externo, para prevenir que a corrente aumente rapidamente, a voltagem cai imediatamente para um nível menor e ocorre a interrupção. Esta mudança abrupta acontece como um resultado da ionização do gás por choque de elétrons.

Os elétrons liberados pelo gás ionizado formam o fluxo e liberam outros elétrons. O processo é, então, cumulativo. A voltagem de interrupção é determinada basicamente pelo tipo de gás, o material usado como eletrodos e seu tamanho e espaçamento. Uma vez ocorrendo a ionização, a corrente pode aumentar para 50 miliampères ou mais, com pequena mudança na voltagem aplicada.

Se a voltagem for aumentada, a corrente aumentará e o catodo será aquecido pelo bombardeamento de íons que o golpeiam. Quando a válvula torna-se bastante quente, resulta em emissão termoiônica.

Esta emissão reduz a perda de voltagem na válvula, o que, causando mais corrente fluindo, aumenta a taxa de emissão e a ionização. Esta ação cumulativa provoca uma repentina diminuição na queda de voltagem através da válvula e um aumento muito grande no fluxo de corrente; a não ser que a válvula se destine a funcionar desta maneira, ela pode sofrer dano pelo aumento excessivo do fluxo de corrente.

O que é fundamental para a formação de um centelhamento; as válvulas que funcionam com estas correntes elevadas são chamadas de "*arc tube*".

Para corrente acima de 50 miliampères, a unidade é normalmente pequena e é denominada válvula incandescente por causa da luz colorida que ela emite. Um exemplo de uma válvula assim é a familiar luz neon.

O princípio do controle de grade pode ser aplicado a quase todas as válvulas a gás, mas é usado especialmente com catodo frio, catodo quente e do tipo "*arc tube*" de triodos e tetrodos. As do tipo catodo quente, de três elementos, recebem em geral o nome *THYRATRON.*

Um outro tipo especial de válvula a vácuo é a fotoelétrica, que é basicamente a mesma coisa que o diodo simples comentado anteriormente. Ela tem um bulbo vazio de vidro, um catodo que emite elétrons, quando a luz atravessa a válvula, e uma placa que atrai elétrons, quando uma voltagem é aplicada.

A sensibilidade da válvula depende da freqüência ou cor da luz usada para excitá-la e é especificada nesses termos.

Por exemplo, algumas válvulas são sensíveis à luz vermelha, outras a luz azul. Na maioria das válvulas fotoelétricas, o catodo parece um meio cilindro e é revestido com múltiplas camadas de metal raro, césio, cobertas por óxido de césio, que por sua vez, repousa sobre uma camada de prata. A placa tem o formato de um pequeno bastão, e localiza-se no centro do catodo. Outros tipos de válvulas a vácuo incluem aquelas com as características de diversas válvulas incorporadas numa só, conforme mostrado na figura 8-223.

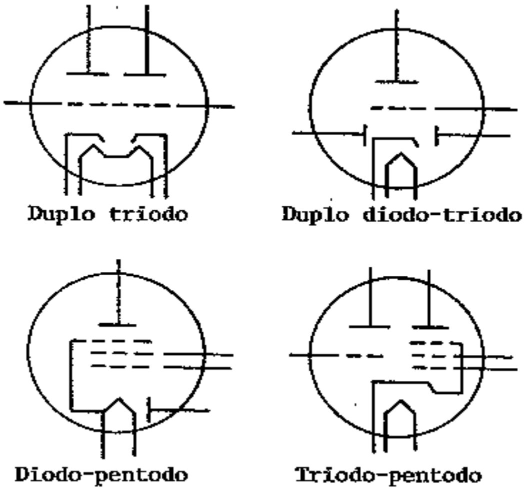

Duplo triodo
Duplo diodo-triodo
Diodo-pentodo
Triodo-pentodo

Figura 8-223 Combinações de válvulas.

TRANSISTORES

O transistor é um componente eletrônico que tem a mesma performance de uma válvula à vácuo. Ele é muito pequeno, leve no peso e não requer aquecimento; é também mecanicamente marcado e não acelera a extração de sinal.

Os transistores vêm sendo no geral usados por mais de uma década, mas comparado a alguns dos componentes, eles são relativamente novos.

Um transistor é um semicondutor que pode ser de dois tipos de materiais, cada qual com propriedades elétricas. Os semicondutores são materiais cujas características de resistência encontram-se classificada entre os bons condutores e isolantes. As interfaces entre as partes do transistor são chamadas de junção. Diodos de selênio e germânio (retificadores) são exemplos de componentes semelhantes e são chamados diodos de junção.

A maioria dos transistores é feita de germânio, aos quais certas impurezas são acrescentadas para passarem certas características. As impurezas geralmente usadas são arsênio ou "*indium*".

O tipo de transistor que pode ser usado em algumas aplicações no lugar da válvula triodo é o transistor de função, o qual atualmente possui duas funções.

Ele possui um emissor, base e coletor que correspondem ao catodo, grade e placa respectivamente, na válvula triodo. Os transistores de função são de dois tipos, o NPN e o PNP. (Olhar figura 8-224).

Teoria de operação de transistor

Antes que a operação de transistor e que o sentido de P e N, possa ser explanado é necessário considerar a teoria de ação do transistor.

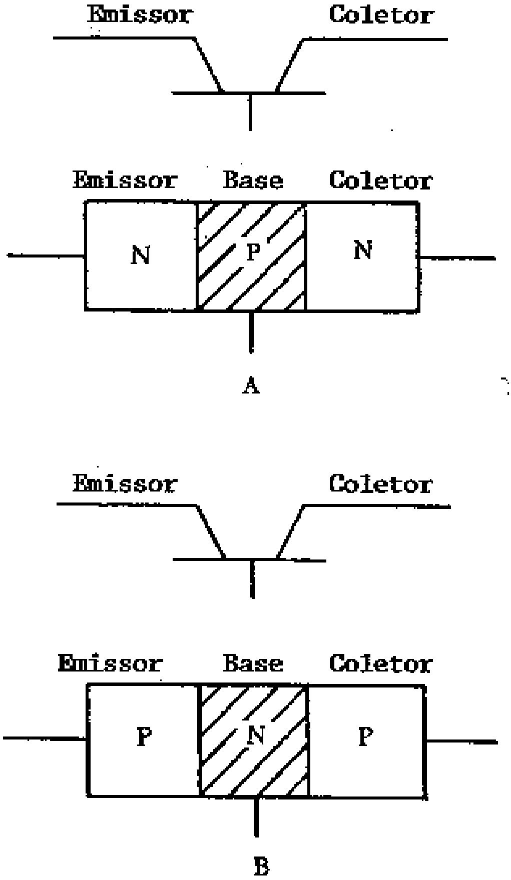


Figura 8-224 Transistores NPN e PNP.

A lacuna é considerada uma carga positiva. Se um elétron de um átomo vizinho move-se, a lacuna não se move realmente; ela é ocupada por outro elétron, e uma outra lacuna é formada. Em "A" da figura 8-225, os elétrons são representados por pontos pretos, e as lacunas por círculos pontilhados.

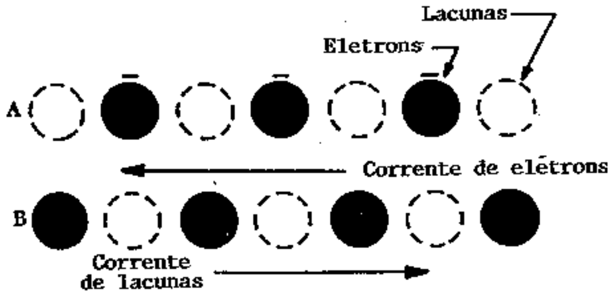


Figura 8-225 Elétrons e lacunas em transistores.

Em "B" da figura 8-225, os elétrons moveram-se de sua posição ocupada em "A", para o espaço à esquerda em "A" da Figura 8-225. Efetivamente, as lacunas foram movidas um espaço para a direita.

O movimento dos elétrons é uma corrente. Ao mesmo modo, o movimento das lacunas também é corrente. A corrente de elétrons move-se em uma direção; a corrente de lacunas percorre a direção oposta. O movimento da carga é uma corrente. Nos transistores, tanto os elétrons como as lacunas representam a corrente.

Em transistores, os materiais referidos usados são: o material N e o material P. O material N é rico em elétrons e, portanto, funciona como corrente de elétrons. O material P é escasso com relação a elétrons, portanto, funciona como lacunas.

Um transistor NPN não é intercambiável com um transistor PNP e vice-versa. Entretanto, se a fonte de força for revertida, eles podem ser intercambiáveis.Visto que a temperatura é crítica, em um circuito transistorizado deve existir refrigeração para os transistores. Outra precaução que precisa ser tomada para todo circuito transistorizado é: nunca se deve energizar deliberadamente um circuito aberto.

Diodos

A figura 8-226 ilustra um diodo de germânio que consiste de dois diferentes tipos de materiais semicondutores.

Com a bateria conectada, como mostrado, lacunas positivas e elétrons são repelidos pela bateria para a junção, causando uma interação entre as lacunas e elétrons. Isto resulta em um fluxo de elétrons através da junção para as lacunas e para o terminal positivo da bateria.

As lacunas se movem em direção ao terminal negativo da bateria. Isso é chamado de direção avançada, e é uma alta corrente.

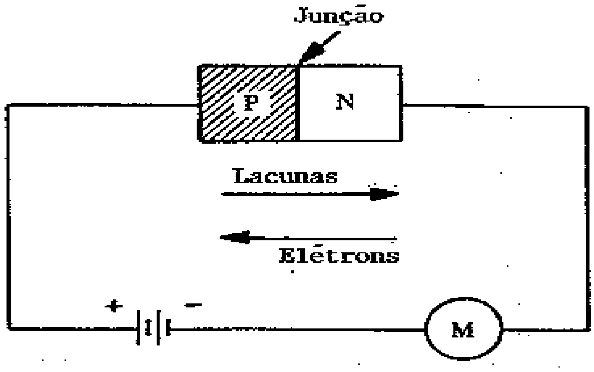


Figura 8-226 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com direção avançada.

Conectando a bateria, como mostrado na figura 8-227, causará às lacunas e aos elétrons a atração no caminho da junção, e pequena interação entre elétrons e lacunas ocorre (na junção). Isto resultará em um muito pequeno fluxo de corrente, chamado corrente reversa.

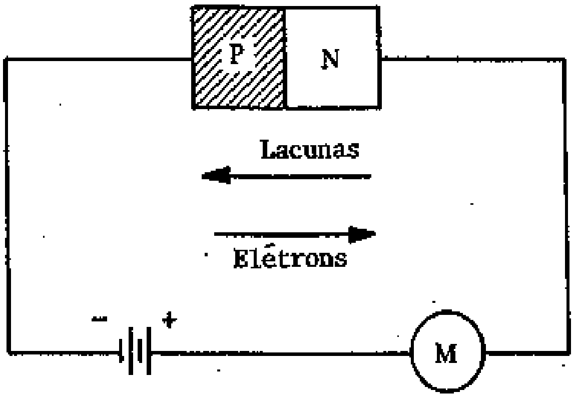


Figura 8-227 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com corrente reversa.

O potencial nos eletrodos do diodo transistor, vindo da bateria é chamado "*Bias*". Este movimento pode ser *bias* direto ou reverso, isto é, em direção de uma corrente alta ou na de uma corrente baixa. O elemento N-germânio é fabricado com uma impureza, semelhante ao arsênico contribuindo para ceder o excesso de elétrons.

O arsênico libera os elétrons imediatamente, e pode ser usado como um carregador O elemento P-germânio tem uma impureza acrescentada como o "*indium*". Isso leva os elétrons germânios e deixa as lacunas, ou cargas positivas.

Diodo "*Zener*"

Diodo "*Zener*" (algumas vezes chamado de diodo separador) é usado primariamente para regulagem de voltagem. Eles são designados assim, por abrirem (permitir passar corrente) quando o potencial do circuito é igual ou acima da voltagem desejada.

Abaixo da voltagem desejada, o "Zener" paralisa o circuito do mesmo modo, como qualquer outro diodo polarizado reversamente. Por causa do diodo 'Zener", é admitido livre fluxo em uma direção. Quando este é usado em um circuito de corrente alternada devem ser usados dois diodos em posições opostas. Presta-se atenção nas correntes alternadas.

O "Zener" pode ser usado em muitos lugares onde uma válvula não pode ser usada, por ser este de pequeno tamanho e pode ser usado em circuito de baixa voltagem.

A válvula é usada nos circuitos acima de 75 volts, porém o diodo "Zener" pode ser usado em regulagens de voltagens tão baixas quanto 3,5 volts.

Transistor PNP

A figura 8-228 mostra um circuito de transistor, energizado por baterias. O circuito emissor é polarizado pela bateria e, diretamente, com alto fluxo de corrente.

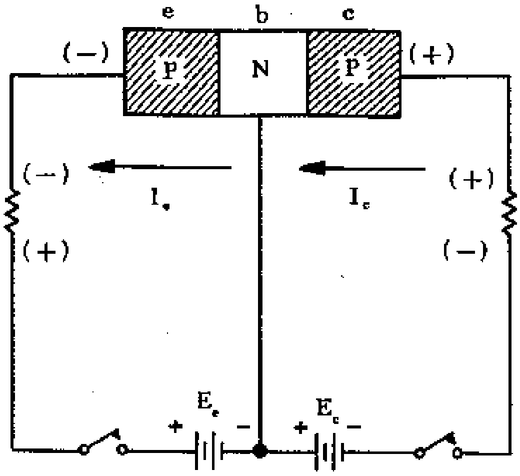


Figura 8-228 Transistor com fluxo de elétrons.

O circuito coletor é polarizado pela bateria e baixo fluxo de corrente.

Se o circuito emissor for fechado (do coletor aberto), uma alta corrente do emissor irá fluir, uma vez que este é polarizado diretamente.

Se o coletor for fechado (do emissor aberto), uma baixa corrente irá fluir, uma vez que este é polarizado na direção reversa.

Ao mesmo tempo, uma corrente de lacunas está fluindo na direção oposta no mesmo circuito, como mostra a figura 8-229. A corrente de lacunas flui do terminal positivo da bateria, ao passo que a corrente de elétrons flui do terminal negativo.

A operação com ambas as chaves fechadas é a mesma como no transistor PNP, exceto que, o emissor agora libera elétrons ao invés de lacunas na base, e o coletor, sendo positivo, irá coletar os elétrons.

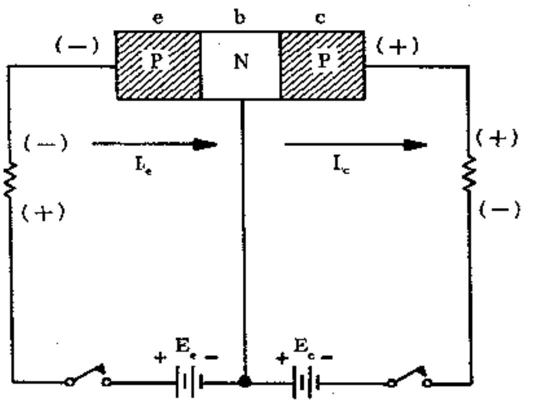


Figura 8-229 Fluxo de corrente de lacunas.

Haverá outra vez um grande aumento na corrente do coletor com a chave do emissor fechada.

Com a chave do emissor aberta, a corrente de coletor será pequena, desde que esteja polarizada inversamente. No primeiro instante deve parecer que o transmissor não pode amplificar, desde que haja menos corrente no coletor do que no emissor. Lembramos, no entanto, que o emissor, é polarizado positivamente, e uma pequena voltagem causa uma grande corrente, equivalendo a um circuito de baixa resistência.

O coletor é polarizado inversamente e uma grande voltagem causa uma pequena corrente, equivalendo a um circuito de alta resistência. Quando ambas as chaves são fechadas, um fenômeno conhecido como ação de transistor ocorre.

O emissor, polarizado diretamente, tem suas lacunas ejetadas através da junção "N" na região de base (o terminal positivo da bateria repele as lacunas através da junção). O coletor, sendo polarizado negativamente, agora atrairá essas lacunas através da junção base para o coletor.

Esta atração de lacunas pelo coletor causaria uma grande corrente reversa se a chave do emissor estivesse aberta. Um grande aumento da corrente reversa do coletor é causada pela então chamada ação do transistor, pelas lacunas do emissor que passam para o coletor. Ao invés das lacunas fluírem através da base e retornarem para o emissor, elas fluirão através do coletor, E_c e E_e para o emissor; a corrente da base é muito pequena.

A soma da corrente do coletor e da base é igual a corrente do emissor. Num transistor típico a corrente do coletor pode ser 80% ou 99% da corrente do emissor, com o restante fluindo através da base.

Transistor NPN

Na figura 8-230, um transistor NPN está conectado no circuito. Nota-se que as polaridades da bateria estão invertidas em relação ao circuito do transistor PNP. Mas com os tipos de materiais do transistor invertidos, o emissor é ainda polarizado diretamente, e o coletor é ainda polarizado reversamente.

Neste circuito, um pequeno sinal aplicado na entrada causa uma pequena mudança nas correntes do emissor e coletor; porém, o coletor sendo uma alta resistência requer somente uma pequena mudança de corrente para voltagem. Por esta razão, um sinal amplificado aparece no terminal de saída.

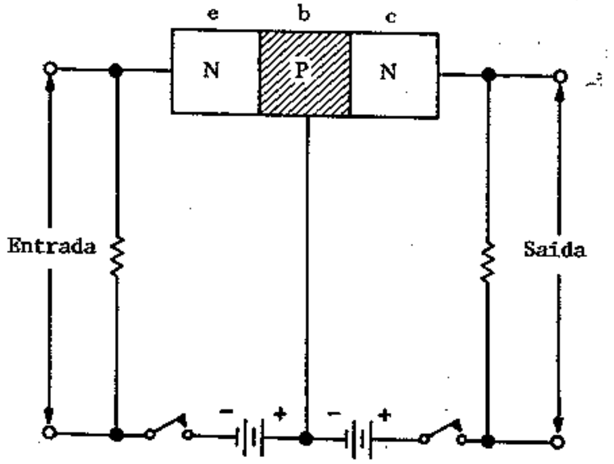


Figura 8-230 Circuito de transistor NPN.

O circuito da ilustração é chamado de amplificador de base comum, porque a base é comum aos circuitos de entrada e de saída (emissor e coletor).

A figura 8-231 mostra um tipo diferente de circuito de conexão. Este é chamado de amplificador de emissor comum, e é similar ao amplificador triodo convencional. O emissor é como um catodo, a base é como uma grade, e o coletor como uma placa.

O coletor é polarizado por uma corrente reversa.

Se o sinal de entrada estiver no ciclo positivo, como mostra a figura 8-231, isto auxiliará a polaridade, e aumentará a corrente de base e emissor. Isso aumenta a corrente de coletor, tornando o terminal de saída mais negativo.

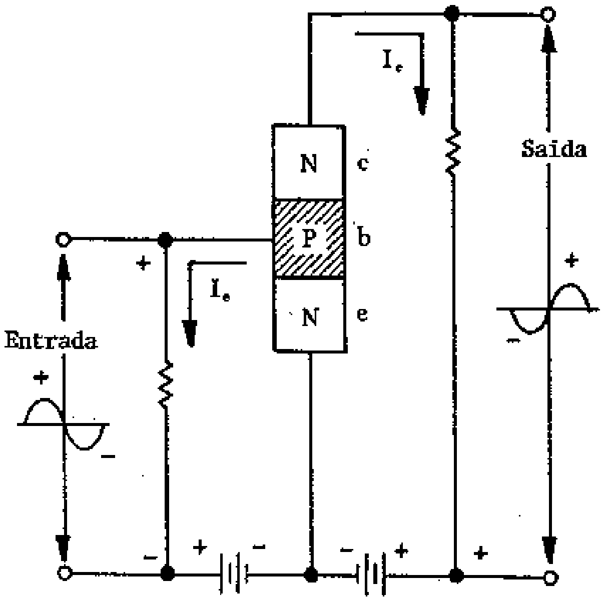


Figura 8-231 Amplificador de emissor comum.

No próximo meio ciclo, o sinal será oposto a polarização e diminuirá a corrente do emissor e do coletor. No entanto, a saída ainda será positiva.

Este estará 180º fora de fase com a entrada, como numa válvula triodo amplificadora.

A corrente de base é uma pequena parte da corrente total do emissor, baseado nisto, somente uma pequena mudança na sua corrente de base causa uma grande mudança na corrente do coletor. No entanto, ele novamente amplifica o sinal.

Este circuito tem maior ganho (relação saída/entrada) entre circuitos amplificadores transistorizados.

Um transistor PNP poderia também ser usado se as polaridades da bateria fossem invertidas.

Uso dos transistores

Os transistores podem ser usados em todas as aplicações onde as válvulas são usadas, dentro de certas limitações impostas pelas suas características físicas.

A principal desvantagem do transistor é sua baixa potência de saída e sua faixa de freqüência limitada. No entanto, como eles têm aproximadamente um milésimo do tamanho físico da válvula, eles podem ser usados em equipamentos compactos.

Seu peso é aproximadamente um centésimo da válvula, tornando o equipamento muito leve. Sua vida é aproximadamente três vezes maior do que a de uma válvula, e sua potência requerida é somente cerca de um décimo que de uma válvula.

O transistor pode ser permanentemente danificado pelo calor ou pela polaridade inversa da fonte de alimentação. Por esta razão, cuidados devem ser tomados quando instalados num circuito que tenha estas condições.

Transistores podem ser instalados em soquete de válvula miniatura, ou podem ser soldados diretamente nos circuitos.

Quando se traça o primeiro circuito transistorizado, o problema pode ser a compreensão no esquema, se um transistor é um NPN ou PNP - referência figura. 8-232, que mostra o símbolo esquemático dos dois tipos de transistores. Nota-se uma seta na linha de emissor.

Quando a seta é posicionada fora da base, ele é um NPN, se a seta esta posicionada na direção da base, ele é um transistor PNP.

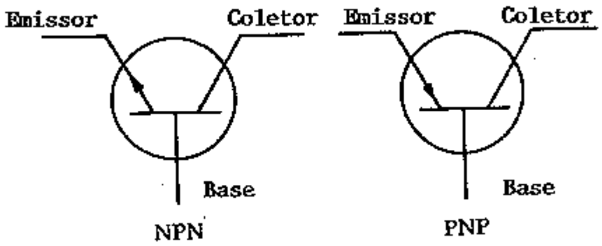


Figura 8-232 Esquema de um transistor.

Uma regra simples para determinar se o transistor é PNP ou NPN é a seguinte: ele é um PNP, se a letra do centro N indicar uma base negativa, ou em outras palavras, que a base conduzirá mais livremente mudanças negativas. Se um transistor é um NPN, o P indica base positiva e o transistor conduzirá mais livremente uma

uma mudança positiva. Como existem diferentes tipos de transistores baseados no método de sua fabricação, existem diversos meios de identificar se o transistor no circuito é NPN ou PNP.

Um método usado para identificar o tipo de transistor, chamado de transistor de junção, está ilustrado na figura 8-233.

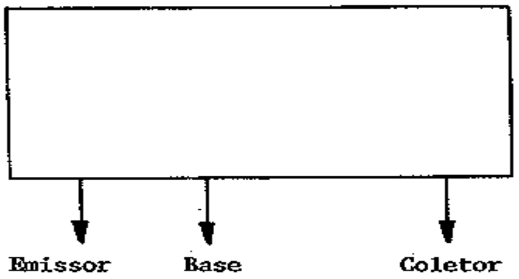


Figura 8-233 Conexão de um transistor de junção.

Neste caso, o método usado para determinar qual dos três terminais conectados ao transistor é a base, qual é o coletor e qual é o emissor, está baseado no espaço físico dos terminais. Existem dois terminais próximos e um terminal mais afastado.

O terminal do centro é sempre a base, e o mais próximo da base é o terminal do emissor; o terminal mais afastado é o coletor.

O diagrama mostrado nesta ilustração é certo para todos os transistores de junção. Para informações detalhadas sobre os transistores, devem ser consultadas as publicações dos fabricantes.

RETIFICADORES

Muitos serviços nas aeronaves requerem altas amperagens e baixa voltagem C.C. para operação.

Esta força pode ser fornecida pelo gerador C.C. do motor, equipamentos moto-geradores, retificadores à vácuo ou retificadores disco-seco ou estado sólido.

Nas aeronaves com sistemas C.A., um gerador C.C. especial não é obrigatório se não houver necessidade da seção de acessórios do motor ter uma peça adicional de conjunto.

Equipamentos de moto-geradores consistindo de motores C.A. refrigerados, que movimentam geradores C.C., eliminam este problema porque eles operam diretamente fora do sistema C.A.

Válvulas a vácuo ou vários tipos de retificadores em estado sólido provêem um simples e eficiente método de obter alta voltagem C.A. a baixa amperagem.

Retificadores a disco de estado sólido são excelentes fontes de alta amperagem e baixa voltagem.

Um retificador é um dispositivo que transforma corrente alternada em corrente contínua, pela limitação de regulagem da direção do fluxo de corrente. Os principais tipos de retificadores são os de discos, estado sólido e a válvula a vácuo.

Os retificadores em estado sólido ou semicondutores são rapidamente substituídos por outros tipos, e os retificadores a válvula à vácuo e moto-geradores são limitados aos modelos antigos de aeronaves, a maior parte dos estudos de retificadores são desenvolvidos para os serviços de estado-sólido usados para retificação.

Moto-gerador

Um moto-gerador é um motor C.A. e um gerador de C.C. combinado em uma unidade. Esta combinação é freqüentemente chamada de conversor. Os conversores operam diretamente com voltagem monofásica ou trifásica. Os conversores usados em grandes aeronaves são normalmente operados na trifase, 208 volt do sistema C.A., fornecendo uma corrente contínua de 200 ampères a 30 volts, com uma drenagem de corrente de 28 ampères do sistema C.A.. Unidades similares a aquelas usadas em aeronaves com sistemas C.C. são providas de regulador de voltagem e equipamentos de moto-gerador.

Um motor gerador oferece um número de vantagens como uma fonte de força C.C., na aeronave. Com um moto-gerador, uma interrupção momentânea da força C.A. não corta a força C.C. completamente, devido a inércia da armadura durante a interrupção da força C.A.. Altas trocas de temperaturas afetam o moto-gerador levemente.

Falhas devido ao sobreaquecimento são insignificantes comparadas com aquela do retificador de válvula a vácuo, quando é operado acima da temperatura de segurança. Em adição, um moto-gerador pode ser operado em temperaturas abaixo daquelas requeridas pelos retificadores a disco ou estado sólido.

O grande problema para o moto-gerador é igual ao de todos os equipamentos sujeitos a rotação regular, - uma manutenção considerável, e geram ruídos desagradáveis, especialmente se estiverem na cabine da aeronave.

Por esta razão e por causa do peso, espaço e custo, o moto-gerador é rapidamente trocado por diversas fontes de força em estado sólido.

Retificadores a disco

Os retificadores a disco operam pelo princípio do fluxo da corrente elétrica através da junção de dois materiais condutores não semelhantes, mais rapidamente em uma direção do que na direção aposta.

Isso é verdadeiro porque a resistência ao fluxo de corrente em uma direção é baixa, enquanto na outra direção é alta.

Dependendo do material usado, alguns ampères podem fluir na direção da baixa resistência, porém uns poucos miliampères na direção da alta resistência.

Três tipos de retificadores a disco podem ser encontrados nas aeronaves. O retificador de óxido de cobre, retificador a selenium e o de sulfito de cobre magnésio.

O retificador de óxido de cobre (figura 8-234) consiste de um disco de cobre sobre o qual uma demão de óxido de cobre foi aplicada por aquecimento.

Isto também pode ser feito jateando-se um preparado químico de óxido de cobre sobre a superfície de cobre. Placas de metal, normalmente placas de chumbo, são prensadas contra as duas faces opostas do disco para dar um bom contato.

O fluxo de corrente vai do cobre para o óxido de cobre.

O retificador a selenium consiste de um disco de ferro similar a uma arruela, com um dos lados coberto com selenium. Esta operação é similar a do retificador de óxido de cobre. O fluxo de corrente se dá do selenium para o ferro.

O retificador de sulfito de cobre magnésio é feito de um disco de magnésio em forma de arruela coberto, comum a camada de sulfito (ou sulfato) de cobre. Os discos são colocados de modo semelhante aos dos outros tipos. A corrente flui do magnésio para o sulfito de cobre.

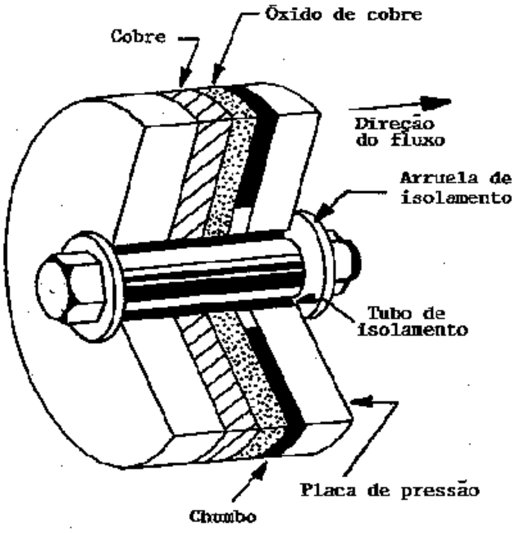


Figura 8-234 Retificador de disco seco de óxido de cobre.

Retificadores de estado-sólido

No estudo dos transistores foi apontado que o diodo de estado-sólido é fabricado de material semicondutor. Ele consiste de material tipo-N e tipo-P unidos a um cristal único. O ponto, ou junção, onde os dois materiais estão em contato é chamado uma junção P-N. Este tipo de semicondutor independentemente de classificação ou tamanho é chamado um diodo junção.

O primeiro tipo de semicondutor usado era chamado de diodo ponto-contato. Ele utilizava um tipo único de material semicondutor, contra o qual um fio de bronze fosfórico ou tungstênio chamado "BIGODE DE GATO" era prensado ou fundido. O diodo ponto-contato tem sido largamente substituído por diodo junção por causa de sua capacidade de corrente de carga limitada. Uns dos mais comuns materiais semicondutores são: o germânio e o silicone. Um típico diodo de junção é mostrado na figura 8-235.

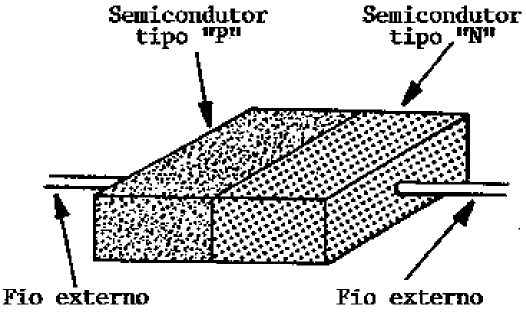


Figura 8-235 Diodo de junção.

Na figura 8-236, o terminal positivo da bateria é conectado para o material semicondutor tipo-P, e o terminal negativo é conectado no tipo-N, este arranjo constitui a polarização direta. As lacunas no material tipo-P são repelidas pelo terminal positivo e se movimentam em direção a junção.

Os elétrons no material tipo-N são repelidos pelo terminal, e igualmente se movimentam em direção a junção. Isto diminui o espaço de carga existente na junção, e o fluxo corrente de elétrons é mantido através do circuito externo.

A corrente no material tipo-P está na forma de lacunas, e no material tipo-N ela é na forma de elétrons.

Se a polarização direta é aumentada, o fluxo de corrente aumentará. Se a polarização direta é aumentada excessivamente, ela causará excessiva corrente. A corrente excessiva aumentará a agitação térmica e a estrutura do cristal quebrará. Um importante fato, vale a pena lembrar, é que todos os mecanismos de estado sólido são sensíveis a temperatura, e serão destruídos se a temperatura for muito intensa.

Se as conexões da bateria mostradas na figura 8-236 são invertidas, o diodo junção é polarizado inversamente. Agora as lacunas são atraídas no sentido do terminal negativo, afastando-se da junção. Os elétrons são atraídos no sentido do terminal positivo, também se afastando da junção.

Isto alarga a região de barreira (ou região de deflexão), aumenta o espaço de carga, e reduz a corrente para uma condição mínima.

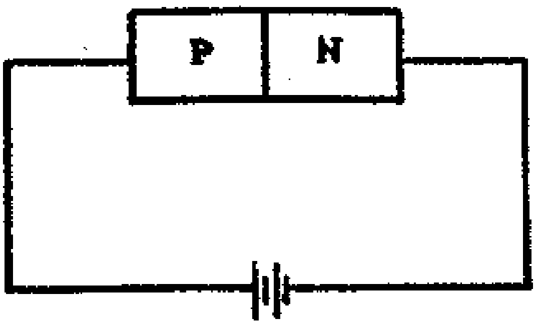


Figura 8-236 Diodo de junção.

Isto possibilita aplicar também uma alta polaridade reversa. Quando isto acontece a estrutura do cristal se quebra.

O símbolo do diodo semicondutor é mostrado na figura 8-237. Nota-se que este é o mesmo símbolo usado para outros tipos de diodo, como óxido de cobre e retificadores de disco seco de selênio. A polaridade direta, ou alta corrente, é sempre contrária a indicação da seta no símbolo.

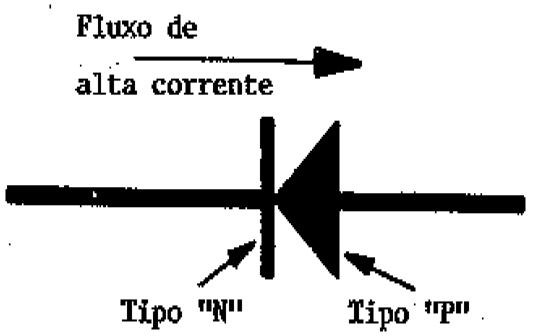


Figura 8-237 Símbolo de diodo semicondutor.

Figura 8-238 mostra uma típica característica de curva para um diodo junção. Como a polaridade direta é aumentada a uma quantidade pequena, o fluxo de corrente aumenta consideravelmente. Por esta razão é dito que dispositivos de estado-sólido são dispositivos operados por corrente, desde que seja fácil medir a grande relatividade de mudança no fluxo de corrente quando comparado a uma pequena mudança na voltagem.

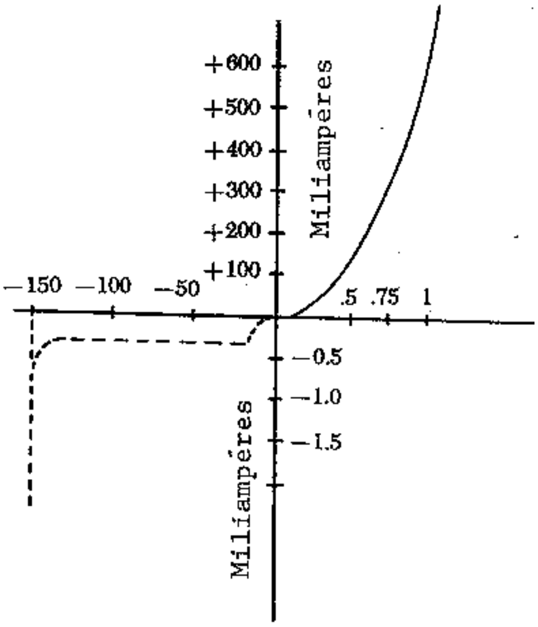


Figura 8-238 Curva característica de um diodo típico de junção.

Com polarização direta aplicada, o diodo mostra uma característica de baixa resistência. De outra forma, com a polarização invertida aplicada, uma alta resistência passa a existir. A característica mais importante de um diodo é que ele permite fluxo de corrente em uma só direção. Isto permite aos dispositivos de estado sólido serem usados em circuitos retificadores.

Retificação

Retificação é o processo de mudança de corrente alternada para corrente contínua. Quando um semicondutor retificador, semelhante a um diodo junção, é conectado em uma fonte de voltagem de corrente alternada, ele é alternadamente polarizado direto e inverso, em alternância com a voltagem de corrente alternada, como mostrado na figura 8-239.

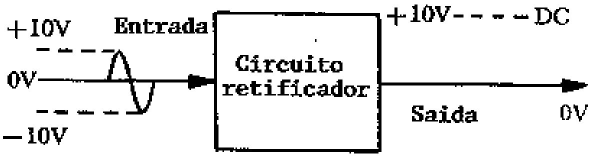


Figura 8-239 Processo de retificação.

Na figura 8-240 um diodo é colocado em série com uma fonte de força de corrente alternada e um resistor carga. Isto é chamado de circuito retificador de meia-onda.

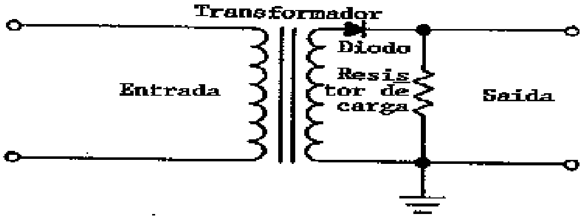


Figura 8-240 Circuito retificador de meia onda.

O transformador provê a corrente alternada de entrada para o circuito; o diodo provê a retificação da corrente alternada; e o resistor-carga serve com os dois propósitos:

(1) Ele limita a quantidade do fluxo de corrente no circuito para um nível de segurança, e

(2) Ele desenvolve um sinal de saída para o fluxo de corrente através do mesmo.

Suponhamos que na figura 8-241, o topo secundário do transformador é positivo e o fundo negativo. Desta forma, o diodo é polarizado direto; a resistência do diodo é muito baixa e flui corrente através do circuito na direção da seta.

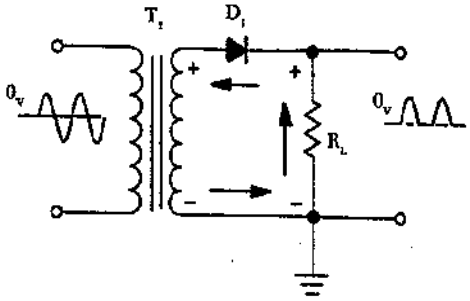


Figura 8-241 Saída de um retificador de meia onda.

A saída através do resistor carga (queda de voltagem) segue a forma de onda da metade positiva da corrente alternada de entrada.

Quando a corrente alternada de entrada segue na direção negativa, o topo do secundário do transformador torna-se negativo e o diodo fica com a polaridade invertida.

Com a polaridade invertida aplicada ao diodo a resistência ao diodo, torna-se muito grande, e o fluxo de corrente através do diodo e do resistor-carga torna-se zero (lembraremos que uma pequeníssima corrente fluirá através do diodo). À saída, a tomada através do resistor, será zero. Se a posição do diodo for invertida, a potencia de saída será de pulsos negativos.

Em um retificador de meia-onda, meio ciclo de potência é produzido através do resistor de carga para cada ciclo completo de potência de entrada. Para aumentar a potência de saída, um retificador de onda completa pode ser utilizado.

A figura 8-242 mostra um retificador de onda completo, o qual é, com efeito, a combinação de dois retificadores de meia-onda combinados em um circuito.

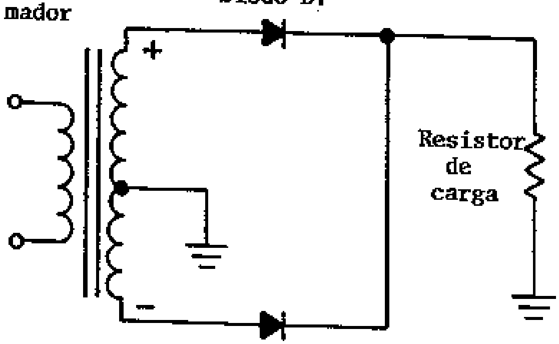


Figura 8-242 Retificador de onda completa.

Nesse circuito, um resistor de carga é utilizado para limitar o fluxo de corrente e desenvolver uma voltagem de saída; dois diodos para proporcionar retificação, e um transformador para fornecer corrente alternada para o circuito.

O transformador, utilizado em circuitos retificadores de onda completa, deve ter derivação central para completar o caminho para o fluxo de corrente através do resistor de carga.

Assumindo as polaridade mostradas no transformador, o diodo D_1 estará polarizado negativamente para adiante, e a corrente irá fluir do "terra" através do resistor de carga, através do diodo D_1, para o topo do transformador.

Quando a corrente alternada muda de direção, o transformador secundário assume uma polaridade oposta.

O diodo D_2 agora terá tendência para frente e a corrente fluirá na direção oposta, a partir do "terra" para o resistor carga, através do D_2, para a metade inferior do transformador.

Quando um diodo está com tendência para frente, o outro está com tendência para traz.

Não importa qual o diodo que esteja com tendência para frente, a corrente fluirá através do resistor de carga na mesma direção; dessa maneira, a saída será uma série de pulsos de mesma polaridade. Revertendo ambos os diodos, a polaridade também será revertida.

A voltagem que é sentida através do retificador quando a tendência reversa está sendo aplicada é sempre referida como "o pico inverso de voltagem".

Por definição, este é o valor do pico da voltagem instantânea através do retificador durante o meio-ciclo, no qual a corrente não flui ou que está com tendência reversa aplicada.

Se uma voltagem inversa é aplicada, e se ela for muito grande, o retificador será destruído.

O termo "voltagem de quebra" é sempre utilizado ao invés do termo "taxa de voltagem inversa de pico" , mas ambos os termos têm os mesmos significados.

A voltagem de quebra é a voltagem máxima que o retificador pode agüentar enquanto ele não estiver conduzindo (com tendência-reversa); a voltagem de pico inverso é a voltagem que realmente está sendo aplicada ao retificador. Como a voltagem de pico inverso é mais baixa que a voltagem de quebra, não haverá o problema de destruição do retificador.

Ponte de diodos de um circuito retificador

Uma modificação vantajosa do retificador de diodo de onda-completa é o retificador tipo ponte.

O retificador tipo ponte difere do retificador de onda-completa, porque não requer um transformador com derivação central (*center tap*), mas sim dois diodos adicionais.

Para ilustrar como o retificador tipo ponte opera, considera-se uma onda senoidal de entrada que na sua alternação positiva está demonstrada na figura 8-243.

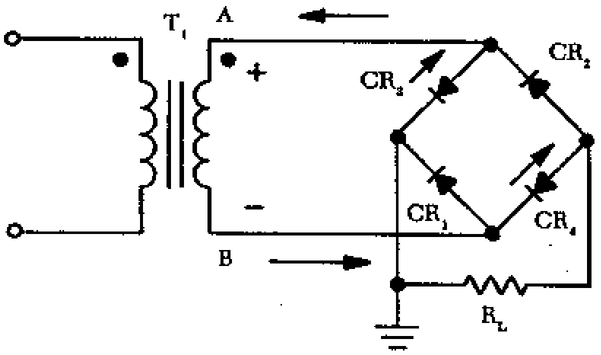


Figura 8-243 Retificador de ponte de diodos.

Com o secundário de T_1 funcionando como a fonte de força do tipo retificador tipo ponte, o ponto "A" é o ponto mais positivo da ponte, enquanto o ponto "B" é o mais negativo. O fluxo de corrente será formado de "B" para "A" através dos diodos que estão com tendência para frente.

Como uma ajuda em descobrir o caminho do fluxo de elétrons, considera-se o circuito tipo ponte redesenhado na figura 8-244.

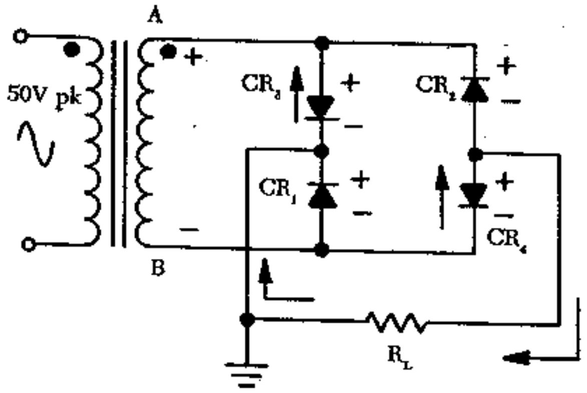


Figura 8-244 Circuito retificador tipo ponte redesenhado.

Os diodos com tendência para frente, CR_2 e CR_4, são facilmente reconhecidos. A voltagem vai caindo através de cada curva de voltagem conforme indicado. Ainda, na entrada de meio ciclo-positivo CR_3 e CR_4, ambos estão com tendência para frente, e CR_1 e CR_2 estão com tendência-reversa.

Uma vez que a quebra de voltagem no diodo não foi excedido, a corrente irá fluir a partir do ponto “B” para cima através do CR_4, fechando o circuito através de R_L. Após a corrente cruzar R_L, ela fluirá para o ponto “A” através do CR_3.

Nota-se que o fluxo de corrente através de R_L é da direita para a esquerda, ou em relação a polaridade, uma saída de meio-ciclo negativo para uma entrada de meio-ciclo positivo.

Lembre-se que, quando traçando o fluxo de corrente para o meio-ciclo negativo, o fluxo de elétrons através do diodo está contra a flecha simbólica, a partir do negativo para um menos negativo ou ponto positivo. Ainda não se deve confundir quando ao traço do fluxo eletrônico para cima e para fora do ponto comum entre CR_3 e CR_1. Embora possa parecer, CR_1 e também CR_4, estão voltados para frente, este não é o caso. O coletor CR_1 é mais negativo que o seu emissor, logo, ele está com tendência para trás.

Desde que, o meio-ciclo negativo, CR_1 e CR_2, está com tendência para frente, o sinal de saída no meio-ciclo negativo é negativo.

Uma vez que ambos os meios-ciclos, no sinal de entrada, resultem impulsos de saída negativo, o retificador de ponte alcançou o mesmo objetivo que um diodo retificador de onda-completa.

FILTRAGEM

Esta parte do processo de retificação que envolve a conversão de voltagem A.C. em impulso C.C. foi tratada e discutida para válvula, disco-seco e diodos semicondutores.

Para o processo de retificação, de maneira que os pulsos de voltagem são mudados para uma aproximação aceitável de suavidade da DC, envolve um processo chamado filtragem.

Qualquer reatância contrária a mudança na voltagem (ou corrente) armazenando energia e soltando essa energia de volta para o circuito pode ser usado como filtro.

No estudo dos capacitores, foi demonstrado que a capacitância opõem-se a mudança da voltagem através de seu terminal, armazenando energia no seu campo eletro-estático.

Sempre que a voltagem tende a aumentar, o capacitor converte esta voltagem e a muda para energia armazenada.

Quando a voltagem tende a cair, o capacitor converte essa energia armazenada de volta em voltagem.

O uso de capacitor para filtragem da saída do retificador é ilustrado na figura 8-245.

O retificador é mostrado como um bloco, e o capacitor C_1 é conectado em paralelo com a carga R_1.

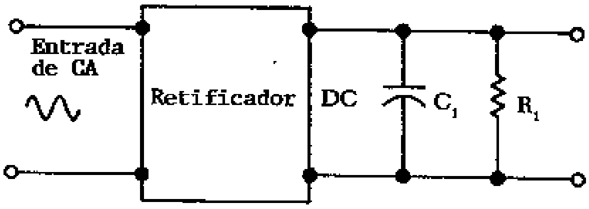


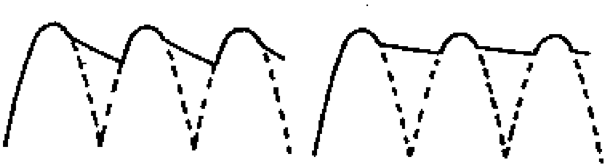
Figura 8-245 Um capacitor usado como filtro.

O capacitor C_1 é escolhido para oferecer impedância muito baixa para a frequência de ondulação da C.A., e uma impedância muito alta para o componente da C.C.

A ondulação de voltagem é desviada para a terra através do caminho de baixa impedância, enquanto a voltagem C.C. é aplicada sem mudança para carga.

O efeito do capacitor na saída do retificador pode ser visto nas formas de onda, mostradas na figura 8-246.

As linhas pontilhadas mostram a saída do retificador, e as linhas sólidas mostram o efeito do capacitor. A saída do retificador de onda completa é mostrada.



Voltagem através de C_1 com grande circuito de carga.

Voltagem através de C_1 com pequeno circuito de carga.

Figura 8-246 Saídas de retificador de meia onda e de onda completa usando um capacitor como filtro.

O capacitor C_1 se carrega quando a voltagem de saída do capacitor tende a aumentar, e descarrega quando a voltagem através da carga R_1 é mantida quase que constante.

Uma indutância pode ser usada como filtro, uma vez que se opõem à mudança na corrente através dela, armazenando energia no seu campo eletromagnético, quando toda corrente a aumentar.

Quando a corrente através do indutor tende a diminuir, o indutor supre a energia para manter o fluxo da corrente.

O uso de um indutor para filtragem da saída de um retificador é apresentado na figura 8-247.

Nota-se que o indutor L_1 está em série com a carga R_1.

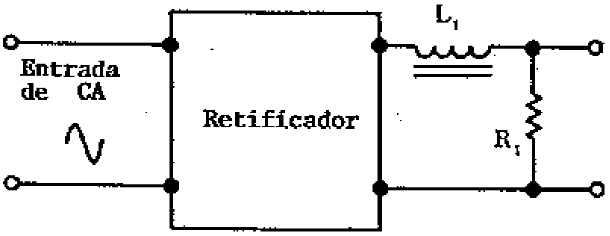


Figura 8-247 Um indutor usado como filtro.

A indutância L_1 é selecionada para oferecer alta impedância para uma ondulação ("*ripple*") de voltagem C.A. e baixa impedância para a componente de C.C.

Consequentemente, para uma ("*ripple*") ondulação de C.A., uma alta queda de voltagem ocorre através do indutor e uma pequena queda de voltagem ocorre através da carga C_1 para a componente de C.C., de modo que, uma pequena queda ocorre através do indutor e uma muito alta queda de voltagem ocorre através da carga.

O efeito de um indutor na saída do retificador de uma onda completa na forma da onda de saída é mostrado na figura 8-248.

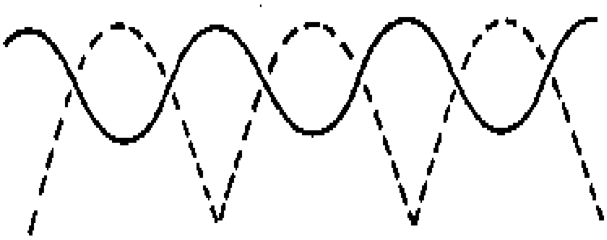


Figura 8-248 Saída de um indutor como filtro de retificador.

Nota-se que a oscilação foi atenuada (reduzida) na saída de voltagem.

Capacitores e indutores são combinados de vários modos para prover uma filtragem mais satisfatória que possa ser obtida com um simples capacitor ou indutor. Estes são chamados comumente como "filtros LC".

Muitas combinações são mostradas esquematicamente na figura 8-249. Nota-se que o tipo "L" ou o "L" invertido, e o filtro tipo T, assemelham-se esquematicamente as letras correspondentes do alfabeto.

O tipo π assemelha-se a letra grega pi (π), esquematicamente.

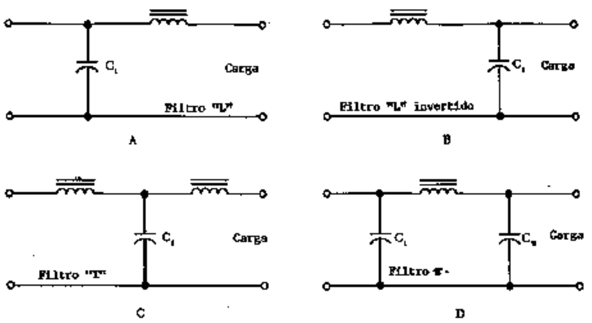


Figura 8-249 Filtros "LC".

Todas as seções filtro mostradas são similares; as indutâncias estão em série e as capacitâncias estão em paralelo com a carga. A indutância precisa, consequentemente, oferecer uma impedância muito alta, e os capacitores uma impedância muito baixa para a frequência de oscilação. Desde que a frequência de oscilação é comparativamente baixa, as indutâncias nas bobinas de núcleo de ferro são de altos valores de indutância (muitos Henry).

Como eles oferecem alta impedância para uma oscilação de frequência, estas bobinas são chamadas ***CHOKES***. Os capacitores precisam também ser de valores altos (muitos micro farads), para oferecer pouca oposição para oscilações de frequências. A voltagem através do capacitor é C.C. Os capacitores eletrolíticos são frequentemente usados como filtros a capacitores. A polaridade correta em conexão de capacitores eletrolíticos precisa sempre ser observada.

Adicionalmente, os filtros podem estar combinados para melhorar a ação de filtragem.

Filtros L.C. também são classificados de acordo com a posição do capacitor e indutor. Um filtro de capacitor de entrada é um, em que, o capacitor está conectado diretamente através dos terminais de saída do retificador. Um filtro de ***CHOKE*** de entrada é um, em que, um ***CHOKE*** precede o capacitor filtro.

Se for necessário aumentar a voltagem aplicada para mais do que um simples retificador pode tolerar, a solução usual é empilhá-los. Estes retificadores são similares aos resistores acrescentados em série.

Em cada resistor cairá uma porção da voltagem aplicada, menor que a voltagem total. A mesma teoria aplica-se aos retificadores acrescentados em série, ou empilhados. Empilhamentos em série aumentam a razão da voltagem.

Se, por exemplo, um retificador for destruído por uma aplicação de voltagem excessiva de 50 volts, e para ser usado num circuito com uma aplicação de voltagem de 150 volts, o empilhamento de diodos pode ser usado. O resultado é mostrado na figura 8-250.

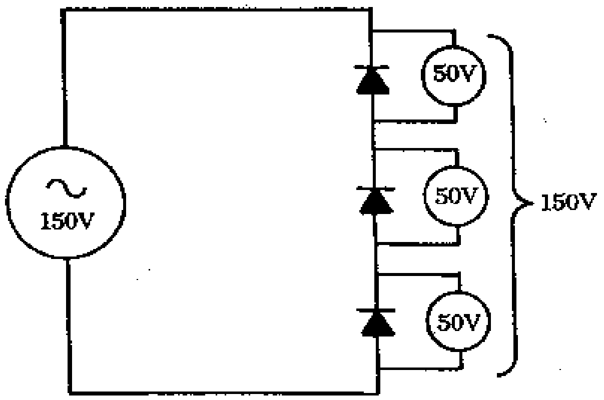


Figura 8-250 Empilhamento de diodos em um circuito.

Identificação de diodos semicondutores

Existem muitos tipos de diodos semicondutores em uso hoje em dia, e muitos métodos são usados para identificar o emissor e o coletor. Os três seguintes métodos mais comuns são usados para identificar o emissor e o coletor:

O primeiro é colocar um pequeno ponto próximo ao terminal emissor ("A" da figura 8-251). O segundo método é estampar o símbolo do retificador na capa do diodo ("B" da figura 8-251).

Um terceiro método usado muito freqüentemente é colocar o código de cores ("C" da figura 8-251). Freqüentemente, o código de cores usado é o mesmo código de cores para os resistores.

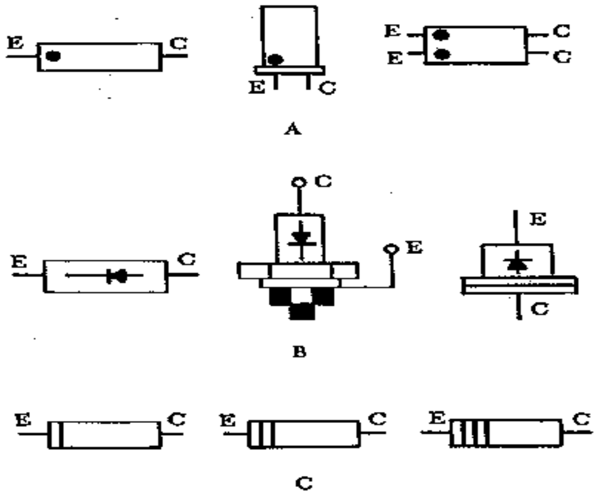


Figura 8-251 Identificação de diodos.

Um diodo muito comum é o 1N 538. O "1N" indica que existe somente uma junção PN, ou que este dispositivo é um diodo.

O número que se segue, normalmente indica a sequência de fabricação. Isto é: o 1N 537 foi desenvolvido antes do 1N 538, que pode ser um modelo melhorado de um IN 537, ou pode ser um diodo totalmente diferente como um todo.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO C.A.

Um medidor C.C, como um ohmímetro, conectado num circuito C.A. indicará zero, porque a bobina móvel do ohmímetro que transporta corrente para ser medida está localizada num campo magnético permanente.

Como o campo magnético permanece constante e na mesma direção todo o tempo, o movimento da bobina segue a polaridade da corrente. A bobina tenta mover-se numa direção durante a mesma do ciclo C.A., e na direção contrária durante a outra metade, quando a corrente inverte.

A inversão da direção da corrente é meio rápida para a bobina seguir uma posição média. Desde que a corrente seja igual e oposta durante cada metade de um ciclo C.A., a direção da corrente medida indica zero, cujo valor é a média; deste modo, um medidor com um magnetismo permanente não pode ser usado para medir voltagem e corrente alternada.

De qualquer modo, o medidor de magnetismo permanente D'Arsonval pode ser usado para medir corrente alternada e voltagem, se a corrente que passa através do medidor é primeiramente retificada, isto é, modificada de corrente alternada para corrente contínua.

Retificador C.A. medidor

Os retificadores de óxido de cobre são geralmente usados com o medidor de C.C. D'Arsonval, movimentando para medir correntes e voltagens alternadas; desta forma, existem muitos tipos de retificadores que podem ser usados, alguns dos quais estão incluídos na discussão de sistemas alternadores.

Um retificador de óxido de cobre permite que a corrente flua através do medidor em somente uma direção.

Como mostrado na figura 8-252, o retificador de óxido de cobre consiste de discos de óxido de cobre separados, alternadamente, por discos de cobre, e apertados juntos como uma simples unidade.

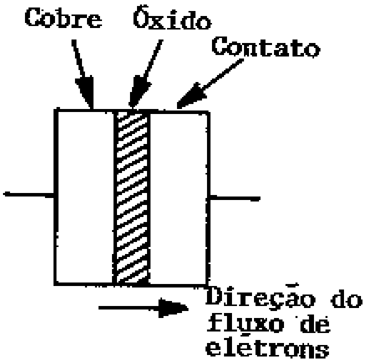


Figura 8-252 Retificador de óxido de cobre.

A corrente flui mais prontamente do cobre para o óxido de cobre que do óxido de cobre para o cobre.

Quando a C.A. é aplicada, consequentemente a corrente flui em uma única direção, produzindo uma pulsação de C.C. de saída, como mostrado pela forma da onda de saída, na figura 8-253. Esta corrente pode, neste caso, ser medida como fluxo através do movimento do medidor.

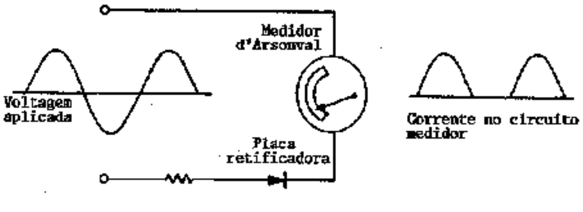


Figura 8-253 Circuito de retificador de meia onda.

Em alguns medidores C.A., válvulas retificadoras ou retificadores de selênio, são usados no lugar do retificador de óxido de cobre. O princípio de operação, desta forma, é sempre o mesmo em todos os medidores que usam retificadores.

Movimento do medidor eletrodinamômetro

O medidor eletrodinamômetro pode ser usado para medir voltagem e corrente contínua ou alternada.

Ele opera com os mesmos princípios do medidor de bobina móvel de magnetismo permanente, exceto quando o magnetismo permanece, e é trocado por um eletromagneto de núcleo a ar.

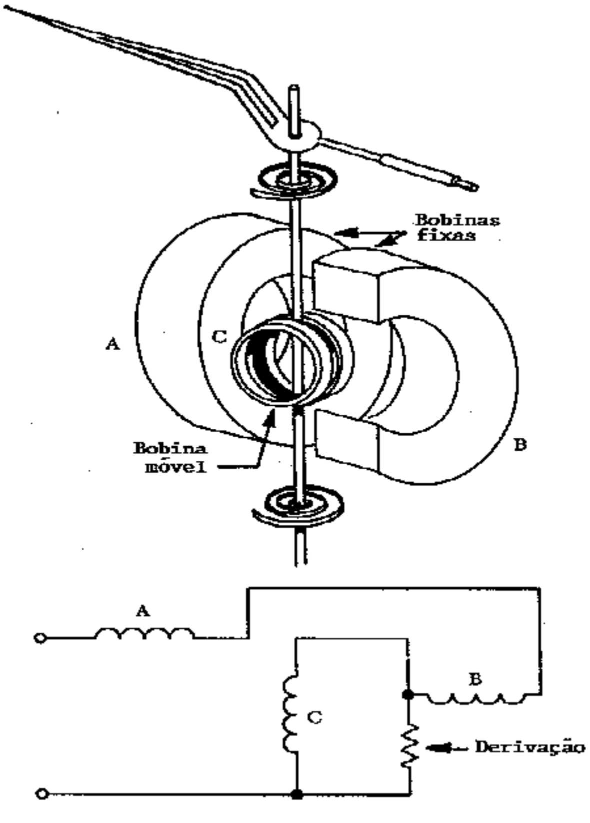


Figura 8-254 Diagrama simplificado do movimento de um eletro dinamômetro.

O campo do medidor eletrodinamômetro é desenvolvido pela mesma corrente que flui através da bobina móvel (veja a figura 8-254).

Num medidor eletrodinamômetro, duas bobinas de campo estacionário são conectadas em série com a bobina móvel. A bobina móvel é unida como eixo central e gira dentro do campo estacionário das bobinas.

Uma mola espiral fornece a força restauradora para o medidor, e também introduz corrente para a bobina móvel.

Quando a corrente flui através do campo das bobinas "A" e "B" e da bobina móvel "C", a bobina "C" gira em oposição a mola e posiciona-se paralela ao campo da bobina.

Quanto mais corrente flui através das bobinas, mais se movimenta a bobina que supera a oposição da mola e move para o ponto mais distante através da escala.

Se a escala é propriamente calibrada e um adequado "*SHUNT*" ou multiplicador é usado, o movimento do dinamômetro indicará corrente ou voltagem.

Embora os eletrodinamômetros sejam muito precisos, eles não têm a sensibilidade do medidor D'Arsonval e, por esta razão, não são largamente usados fora do laboratório.

Amperímetro eletrodinamômetro

No amperímetro eletrodinamômetro, a baixa resistência da bobina produz somente uma pequena queda de voltagem no circuito medido. Um "shunt" indutivo é conectado em série com a bobina de campo. Este "shunt"; similar a resistência "shunt" usada em amperímetros de C.C., permite, somente parte da corrente sendo medida, fluir através das bobinas.

Como no amperímetro de corrente contínua, a maior parte da corrente do circuito flui através do "shunt"; mas a escala está calibrada de acordo, e o medidor lê a corrente total.

Um amperímetro C.A. igual ao amperímetro C.C., é conectado em série com o circuito no qual a corrente é medida.

Os valores efetivos são indicados pelo medidor. Um diagrama esquemático de um circuito do amperímetro eletrodinamômetro é mostrado na figura 8-255.

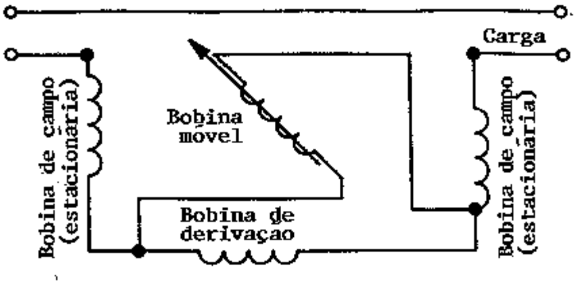

Carga
Bobina de campo (estacionária)
Bobina móvel
Bobina de derivaçao
Bobina de campo (estacionária)

Figura 8-255 Circuito de um amperímetro eletro dinamômetro.

Voltímetro eletrodinamométrico

No voltímetro eletrodinamométrico bobinas de campo são enroladas com várias voltas de fio fino. Aproximadamente 0.01 ampère de corrente flui através de ambas as bobinas e é requerido para operar o medidor.

Resistores de um material não indutivo, conectado em série com as bobinas, são usados em diferentes faixas de voltagem. Os voltímetros são conectados em paralelo através da unidade na qual a voltagem deve ser medida. Os valores das voltagens indicadas são valores efetivos. Um diagrama esquemático de um voltímetro eletrodinamométrico é indicado na figura 8-256.

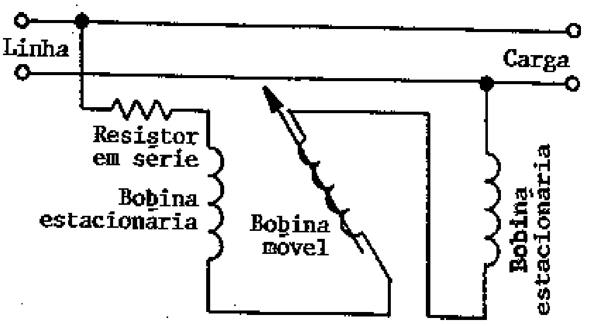


Figura 8-256 Circuito de um voltímetro eletrodinamômetro.

Medidor de aleta de ferro móvel

O medidor de aleta de ferro é outro tipo básico de medidor, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C., diferente do medidor D'Arsonval, o qual emprega magnetos permanentes, e depende do magnetismo induzido para sua operação.

Utiliza-se o princípio da repulsão entre duas aletas concêntricas de ferro, uma fixa e outra móvel, colocadas dentro de um solenóide conforme mostrado na figura 8-257. O ponteiro está fixado à aleta móvel.

Quando a corrente flui através da bobina, as duas aletas de ferro ficam magnetizadas com os pólos norte na sua extremidade superior e os pólos sul na sua extremidade inferior para uma direção de corrente através da bobina. Uma vez que os pólos iguais se repelem a componente desbalanceada de força, tangente ao elemento móvel, faz com que ela gire contra a força exercida pelas molas.

A aleta móvel é de forma retangular, e a aleta fixa é afilada. Este desenho permite o uso de uma escala relativamente uniforme.

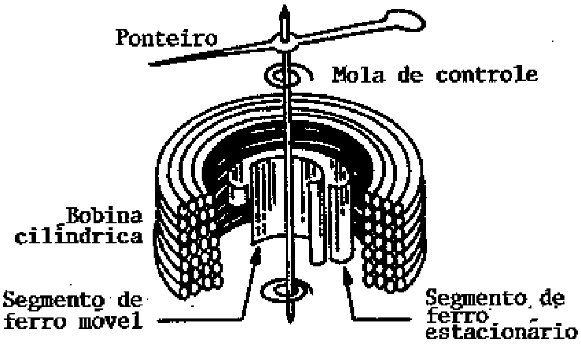


Figura 8-257 Medidor de aletas móveis de ferro.

Quando nenhuma corrente flui através da bobina, a aleta móvel é posicionada de maneira que esteja oposta à porção maior da aleta fixa afilada, e a escala chegará a zero.

A quantidade de magnetização das aletas depende do campo de força, que por sua vez, depende da quantidade de corrente fluindo através da bobina. A força de repulsão é maior quando oposta a extremidade maior da aleta fixa, do que a da extremidade menor que está mais perto.

Ainda, as aletas móveis seguem na direção da extremidade menor através de um ângulo que é proporcional a magnitude da corrente da bobina. O movimento cessa quando a força de repulsão está equilibrada pela força de retração da mola.

Uma vez que a repulsão está sempre na mesma direção (através da extremidade menor da aleta fixa) não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina, o instrumento de medição de aletas móveis de ferro opera tanto em correntes continuas (C.C.) como em correntes alternadas (C.A.).

Um mecanismo de amortecimento, neste tipo de instrumento, pode ser obtido pelo uso de uma aleta de alumínio presa ao eixo, de maneira que, quando o eixo se move, a aleta se move num espaço de ar restrito.

Quando um medidor de aletas de ferro móvel é projetado para ser usado como um amperímetro, a mola é enrolada relativamente com poucas voltas de um fio mais grosso, para que carregue a corrente especificada.

Quando este medidor de aletas de ferro móvel é projetado para atuar como voltímetro, o solenóide é enrolado com mais voltas de fio fino.

Voltímetros portáteis são fabricados com resistência em série auto contidas que variam até 750V. Maiores faixas são obtidas pelo uso de multiplicadores externos adicionais.

O instrumento de aleta de ferro móvel pode ser usado para medir corrente contínua, mas tem um erro devido ao magnetismo residual nas aletas. O erro pode ser minimizado revestindo-se as conexões do medidor, e fazendo uma média das leituras.

Quando usados em circuitos de correntes alternadas, ou seja, circuitos C.A., o instrumento tem uma precisão de 0,5 por cento.

Por causa de sua simplicidade, ele tem um custo relativamente baixo, e o fato de que nenhuma corrente é conduzida no elemento móvel, faz com que este tipo de movimento seja usado extensivamente para medir corrente e voltagem em circuito C.A. de potência.

Entretanto, por causa da reatância magnética do circuito ser alta, o medidor de aletas de ferro móvel requer muito mais potência para produzir deflexão completa de escala, do que é requerida pelo medidor D'Arsonval da mesma faixa. O medidor de aletas de ferro móvel é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Medidor de aletas de ferro com bobina inclinada

O principio do mecanismo de aletas de ferro móvel é aplicado ao tipo de medidor de mola inclinada, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C.

A mola inclinada com medidor de aleta de ferro tem uma bobina montada em ângulo com o eixo. Fixada obliquamente ao eixo, e localizada dentro da bobina, existem duas aletas de ferro doce. Quando nenhuma corrente flui através da bobina, uma mola de controle segura o falso ponteiro para zero, e as aletas de ferro permanecem em planos paralelos ao plano da bobina.

Quando uma corrente flui através da bobina, as aletas tendem a alinhar-se com as linhas magnéticas que passam através do centro da bobina, em ângulos retos com o plano da própria bobina. As aletas giram contra a ação da mola para mover o ponteiro sobre a escala.

As aletas de ferro tendem a se alinhar com as linhas magnéticas, não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina. No entanto, o medidor de aleta de ferro de bobina inclinada, pode ser usado para medir, corrente alternada e corrente contínua.

O disco de alumínio e o freio magnético proporcionam amortecimento ("*damping*") eletromagnético.

Como o medidor de aleta de ferro móvel, o tipo bobina inclinada requer, relativamente, uma grande quantidade de corrente para deflexionar completamente a escala, e é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Quando em instrumento de aleta móvel, a bobina inclinada do instrumento é enrolada com poucas voltas de fio grosso, quando usado como medidor de corrente (amperímetro); e com muitas voltas de fio fino, quando usado como medidor de voltagem (voltímetro).

Medidor de par termoelétrico

Se os terminais ligados a dois metais diferentes são soldados juntos, e esta junção é aquecida, surgirá uma voltagem C.C. entre os dois terminais.

Esta voltagem depende do tipo de material que os terminais são fabricados e da diferença de temperatura entre a junção e os referidos terminais.

Em alguns instrumentos, esta junção é aquecida eletricamente por um fluxo de corrente através do elemento aquecedor. Não há problema se a corrente for contínua ou alternada, porque o efeito de aquecimento independe da direção da mesma.

A corrente máxima que pode ser medida depende da razão de corrente do aquecimento, o calor que o par térmico pode operar sem ser danificado, e da faixa de corrente do medidor usado com o par térmico. A voltagem também pode ser modificada se um resistor de carga for colocado em série com os terminais aquecidos.

Para aplicação desses medidores D'Arsonval, ele é usado com um fio resistivo que emana calor, como mostra a figura 8-258.

Um fluxo de corrente através da resistência produz um calor que é transferido para o ponto de contato gerando uma c.m.f., que causa um fluxo de corrente através do medidor.

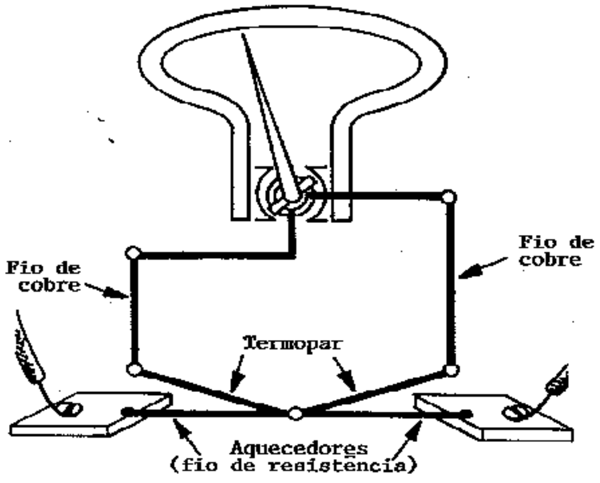


Figura 8-258 Diagrama simplificado de um medidor de termopares (thermo-couple).

A bobina do instrumento roda, e faz com que o ponteiro indicador se mova numa escala inclinada. A quantidade de movimento é proporcional a quantidade de calor, que varia de acordo com a corrente. Os pares-térmicos são usados extensivamente para medições de C.A.

Medidores de variação

Multiplicando-se voltagem por amperagem num circuito de corrente alternada, temos uma potência aparente: a combinação dessa potência verdadeira, que é a realização de trabalho com a potência reativa, que não realiza trabalho, retorna para a linha.

A potência reativa é medida em unidades de VARS (volt-ampères reative, abreviado KVAR).

Quando apropriadamente conectado, medem a potência reativa. Tais instrumentos são chamados de variômetros. A ilustração da figura 8-259 mostra um variômetro conectado num circuito C.A.

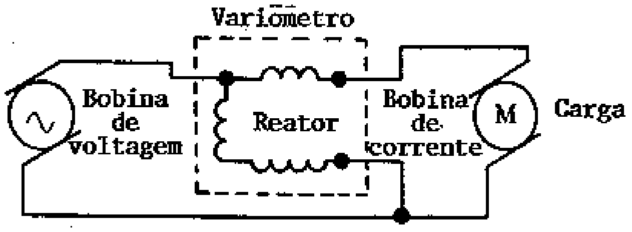


Figura 8-259 Variômetro conectado em um circuito de CA.

Medidores de potência (watímetros)

A potência elétrica é medida por um watímetro. Devido a potência elétrica ser o produto da corrente com a voltagem, um watímetro precisa ter dois elementos, um para a corrente e outro para a voltagem como mostrado na figura 8-260.

Por esta razão os watímetros são normalmente do tipo eletrodinamômetro.

A bobina móvel, com uma resistência em série, forma o elemento de voltagem; e a bobina fixa constitui o elemento de corrente. A intensidade do campo, ao redor da bobina de potencial, depende da quantidade de corrente que flui através dela.

A corrente ao redor depende da voltagem aplicada a carga através da bobina e da alta resistência em série com ela. A intensidade do campo ao redor da bobina de corrente, depende da quantidade de corrente fluindo através da carga.

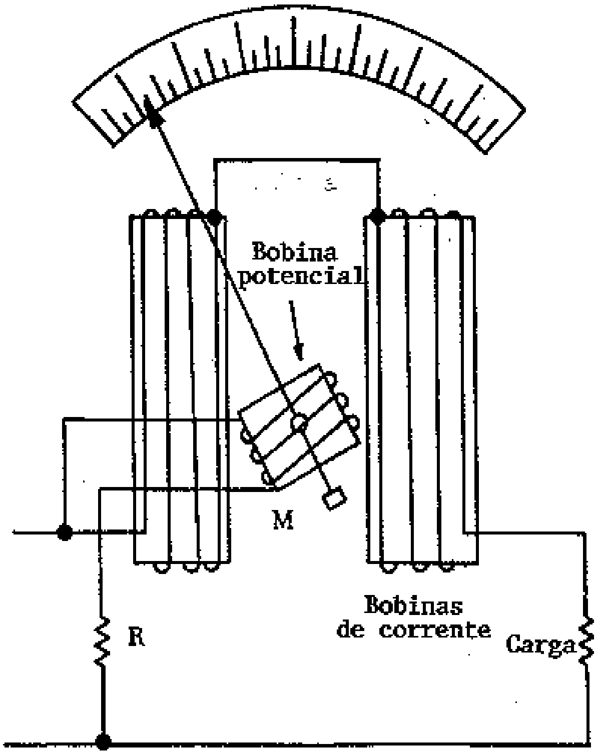


Figura 8-260 Circuito de watímetro eletrodinamômetro simplificado.

Então, a deflexão do medidor é proporcional ao produto da voltagem através da bobina de potencial e da corrente através da bobina de corrente. Este efeito é quase igual (se a escala estiver devidamente calibrada) como se a voltagem e a corrente aplicadas a carga fossem multiplicados juntos.

Se a corrente da linha for revertida, a direção da corrente em ambas as bobinas e a bobina de potencial são revertidas, o resultado é que o ponteiro continuará a marcar a leitura no alto da escala. Então, este tipo de watímetro pode ser usado para medir potência tanto C.A. quanto C.C.

MEDIDORES DE FREQUÊNCIA

Os equipamentos de corrente elétrica alternada são destinados a operar em uma dada faixa de frequência.

Em alguns casos, o equipamento é destinado a operar somente em uma frequência em particular, como é o caso dos relógios elétricos ou chaves temporizadoras. Por exemplo, relógios elétricos são comumente destinados a operar em 60 CPS. Se a frequência cair a 59 CPS, o relógio perderá um minuto a cada hora.

Transformadores e máquinas C.A. são destinados a operar em uma frequência específica. Se o suprimento de frequência falhar em mais do que 10 por cento do valor da frequência, o equipamento pode drenar corrente em excesso e poderá resultar dano devido a superaquecimento. Portanto, faz-se necessário um controle de frequência dos sistemas de potência elétrica.

Os medidores são usados para indicar a frequência, bem como medidas corretivas, que podem ser tomados, se a frequência variar além dos limites previstos.

Os medidores de frequência são projetados de tal forma que não são afetados pela variação da voltagem.

Devido aos sistemas C.A. serem projetados para operar normalmente em uma frequência em particular, a faixa de operação do frequencímetro pode ser reduzida para poucos ciclos de variação, em ambos os lados da frequência de operação dos sistemas.

Existem diversos tipos de medidores de frequência, incluindo os tipos "*vibrating-reed*", bobina fixa, com bobina móvel, bobina fixa e disco móvel e circuito ressonante.

Desses apresentados, o do tipo "*vibrating-reed*" é o frequentemente mais usado nos sistemas de aeronaves, e é discutido em alguns detalhes mais adiante.

Medidor de frequência tipo “vibrating-reed”

Este tipo de medidor de frequência é o mais simples indicador de frequência de uma fonte C.A. Um diagrama simplificado de um deles é mostrado na figura 8-261.

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261).

A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível. Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261). A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível.

Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

A palheta que tem a frequência de 110 CPS é marcada “55” ciclos. A que tem a frequência de 130 CPS é marcada “65” CPS. A que tem a frequência de 120 CPS é marcada “60” CPS, e assim por diante.

Em alguns instrumentos as palhetas são iguais no comprimento, porém, possuem quantidades diferentes de peso no topo, tanto que elas terão uma razão natural de vibração diferente.

Quando a bobina é energizada com uma corrente tendo uma frequência entre 55 e 65 CPS, todas as palhetas são vibradas levemente, porém, a palheta que tem a frequência natural para esta faixa, a qual a corrente energizou (cuja frequência é para ser medida) vibrará em grande amplitude.

A frequência é lida no valor da escala oposta a palheta que tem a maior amplitude de vibração.

Uma vista final das palhetas é mostrada no painel indicador (“C” da figura 8-261). Se uma corrente energizadora tem uma frequência de 60 CPS, a palheta marcada “60” CPS vibrará mais do que as outras, como mostrado.

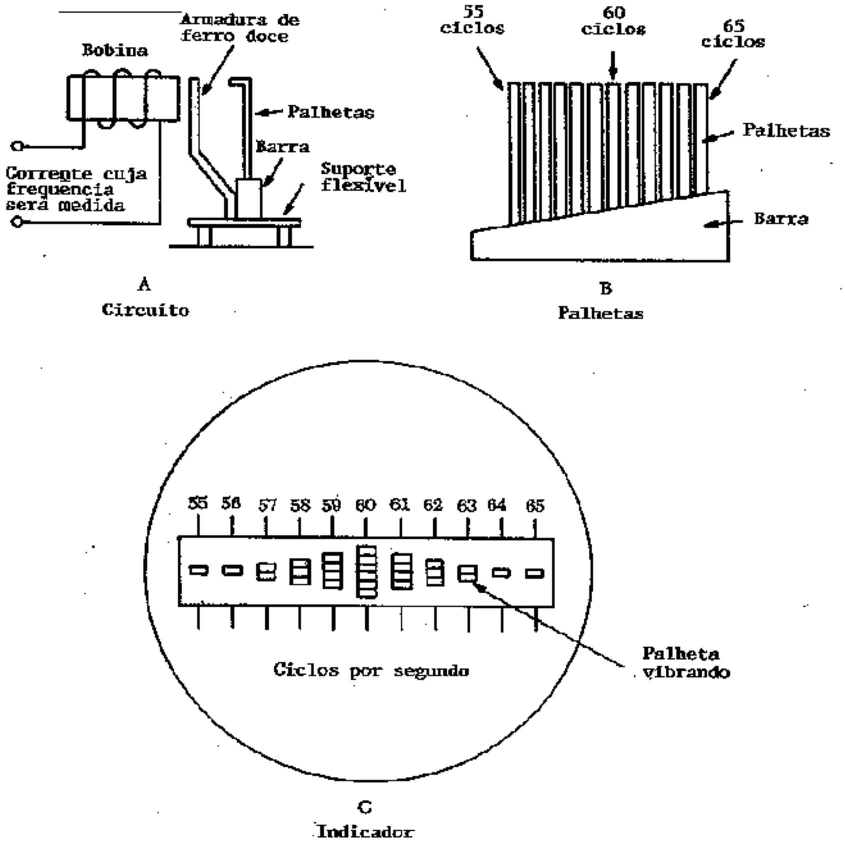

Armadura de ferro doce
Bobina
Palhetas
Barra
Corrente cuja frequência será medida
Suporte flexível
A
Circuito
55 ciclos
60 ciclos
65 ciclos
Palhetas
Barra
B
Palhetas
55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65
Ciclos por segundo
Palheta vibrando
C
Indicador

Figura 8-261 Diagrama simplificado de um medidor de freqüência tipo “palhetas de vibração”.

CAPÍTULO 9

GERADORES E MOTORES ELÉTRICOS DE AVIAÇÃO

INTRODUÇÃO

A energia para a operação de muitos equipamentos elétricos de uma aeronave depende da energia elétrica fornecida por um gerador. Gerador é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica, pela indução eletromagnética.

O gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA, ou alternador. O gerador que produz corrente contínua é chamado de gerador CC ou dínamo.

Ambos os tipos operam pela indução de uma voltagem CA em bobinas, pela variação da quantidade e sentido do fluxo magnético que as cortam.

GERADORES

Para aeronaves equipadas com sistemas elétricos de corrente contínua, o gerador CC é a fonte regular de energia elétrica.

Um ou mais geradores CC acionados pelos motores da aeronave, fornece energia elétrica para a operação de todas as unidades do sistema elétrico, assim como energia para carregar a bateria.

A aeronave equipada com sistemas de corrente alternada utiliza energia elétrica fornecida por geradores CA ou simplesmente alternadores.

Teoria de operação

No estudo de corrente alternada, os princípios do gerador básico foram introduzidos para explicar a geração de uma voltagem CA pela rotação de uma bobina num campo magnético. Sendo esta a teoria de operação de todos os geradores, é necessário revisar os princípios de geração de energia elétrica.

Quando linhas de força magnética são cortadas por um condutor, uma voltagem é induzida no condutor.

A intensidade da voltagem induzida depende da velocidade do condutor e da intensidade do campo magnético. Se os terminais do condutor forem ligados para formar um circuito completo, uma corrente é induzida no condutor.

O campo magnético e o condutor formam um gerador elementar. Este tipo de gerador está ilustrado na figura 9-1, junto com os componentes do circuito externo do gerador, que coleta e usa energia gerada pelo gerador simples. A espira do fio (“A” e “B” da figura 9-1) é ajustada para girar num campo magnético. Quando o plano da espira estiver em paralelo com as linhas de força magnética, a voltagem induzida na espira faz com que a corrente circule no sentido indicado pelas setas da figura 9-1.

A voltagem induzida nesta posição é máxima, visto que os fios estão cortando as linhas de força em ângulos retos, e estão, ainda, cortando mais linhas de força por segundo do que em qualquer outra posição relativa ao campo magnético.

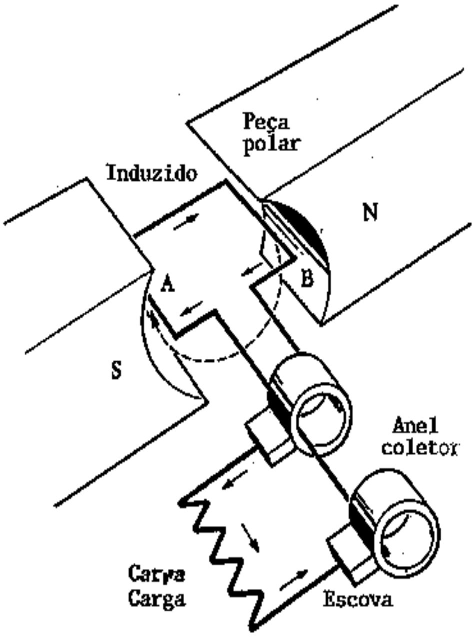


Figura 9-1 Indução de voltagem máxima num gerador elementar.

À medida que a espira se aproxima da posição vertical mostrada na figura 9-2, a voltagem induzida diminui, pois ambos os lados da espira (“A” e “B”) estão aproximadamente em paralelo com as linhas de força, e a razão de corte é reduzida.

Quando a espira estiver na vertical, as linhas de força não serão cortadas, visto que os fios estão se movimentando momentaneamente em paralelo com as linhas de força magnética (e não há voltagem induzida).

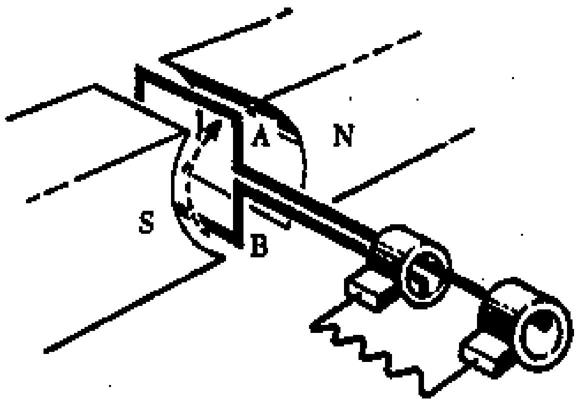


Figura 9-2 Indução de voltagem mínima num gerador elementar.

Enquanto continuar a rotação da espira, o número de linhas de força cortadas aumentará até que a espira tenha girado outros 90º para um plano horizontal.

Como mostrado na figura 9-3, o número de linhas de força cortadas e a voltagem induzida, mais uma vez são máximas.

O sentido do corte, entretanto, está em sentido oposto àqueles apresentados nas figuras 9-1 e 9-2, de modo que o sentido (polaridade) da voltagem induzida é invertida.

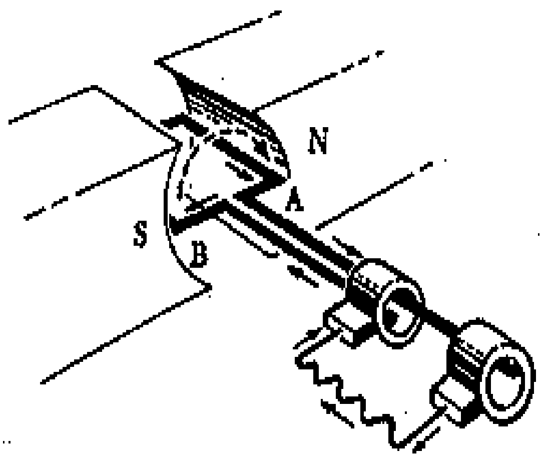


Figura 9-3 Indução de voltagem máxima no sentido oposto.

Enquanto a rotação da espira continuar, o número de linhas de força que estão sendo cortadas diminui, e a voltagem induzida torna-se zero quando na posição mostrada na figura 9-4, posto que os fios A e B estão novamente em paralelo com as linhas de força magnética.

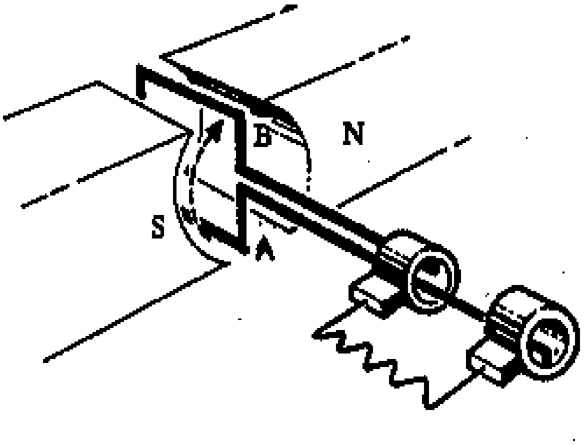


Figura 9-4 Indução de voltagem mínima no sentido oposto.

Se a voltagem induzida ao longo dos 360º de rotação for plotada num gráfico, resultará a curva mostrada na figura 9-5. - Esta voltagem é chamada de voltagem alternada devido à inversão dos valores positivos e negativos, primeiro num sentido e depois no outro.

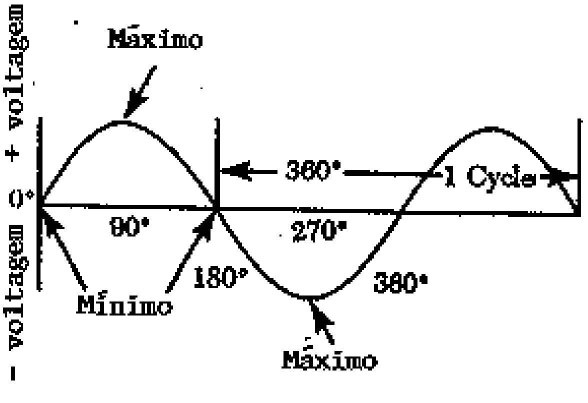


Figura 9-5 Geração de um gerador elementar.

Para usar a voltagem gerada na espira, a fim de produzir fluxo de corrente num circuito externo, alguns meios devem ser fornecidos para ligar a espira em série com o circuito externo.

Esta ligação elétrica pode ser efetuada interrompendo-se a espira do fio, e ligando seus terminais a dois anéis metálicos, chamados anéis coletores, contra os quais duas escovas de carvão ou metal estão sobrepostos. As escovas estão ligadas ao circuito externo.

Pela substituição dos anéis coletores do gerador básico por dois semicilindros, chamados segmentos coletores, obtem-se um gerador CC básico (figura 9-6). Nesta ilustração, o lado preto da bobina é ligado ao segmento preto; e o lado branco ao segmento branco. Os segmentos estão isolados um do outro.

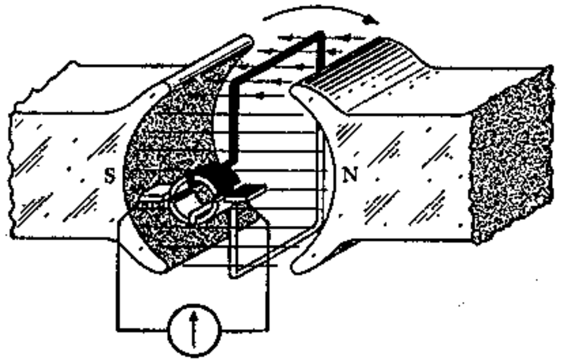


Figura 9-6 Gerador básico de C.C.

As duas escovas estacionárias estão instaladas nos lados opostos do coletor e, de tal modo, que cada escova entre em contato com cada elemento do coletor, quando este estiver girando simultaneamente com a espira. As partes móveis de um gerador CC (bobina e coletor) são chamadas de induzido.

A geração de uma força eletromotriz (FEM) pela espira móvel num campo magnético é igual para ambos os geradores (CA e CC), mas a ação dos segmentos coletores produz uma voltagem CC. Esta geração de voltagem CC é descrita para as diversas posições da espira móvel num campo magnético, em relação à figura 9-7.

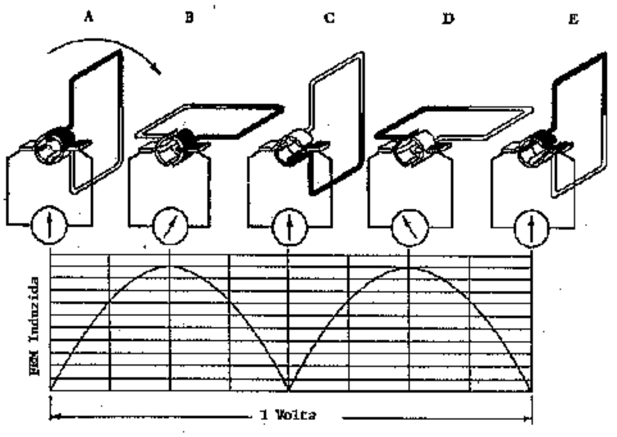


Figura 9-7 Funcionamento de um gerador C.C. básico.

A espira na posição "A" da figura 9-7 está girando no sentido horário, mas as linhas de força não são cortadas pelos lados da bobina, e nenhuma FEM é gerada.

A escova preta é mostrada entrando em contato com o segmento preto do coletor, e a escova branca está entrando em contato com o segmento branco.

Em "B" da figura 9-7, o fluxo está sendo cortado por uma razão máxima, e a força eletromotriz induzida é máxima. Neste momento, a escova preta está em contato com o segmento preto, e a escova branca com o segmento branco. A deflexão do medidor está para a direita, indicando a polaridade da voltagem de saída.

Em "C" da figura 9-7, a espira completou uma rotação de 180º. Mais uma vez as linhas de fluxo não são cortadas, e a voltagem de saída é zero.

A condição importante a se observar na posição "C' é a ação dos segmentos e das escovas.

A escova preta nesta posição da espira (180º) entra em contato com o segmento preto e com o segmento branco num dos lados do coletor, e a escova branca entra em contato com os dois segmentos do outro lado do coletor.

Após passar a espira ligeiramente, pelo ponto de 180º, a escova preta estará em contato somente com o segmento branco, e a escova branca em contato com o segmento preto.

Devido a esta transferência dos elementos do coletor, a escova preta está sempre em contato com o lado da bobina que se move para baixo, e a escova branca está em contato com o lado da bobina que se move para cima.

Embora a corrente inverta o seu sentido na espira, exatamente do mesmo modo como no gerador CA, a ação do coletor faz com que a corrente circule sempre no mesmo sentido, através do circuito externo ou medidor.

Um gráfico de um ciclo de operação é mostrado na figura 9-7. A geração da FEM nas posições "A", "B" e "C" é igual no gerador CA básico, mas na posição "D" a ação do coletor inverte a corrente no circuito externo, e o segundo semiciclo tem a mesma forma de onda do primeiro. O processo de comutação é, às vezes, chamado de retificação, porque no processo de retificação a voltagem CA é transformada em voltagem CC.

No momento em que cada escova estiver em contato com os dois segmentos do coletor (posições "A", "C" e "E" da figura 9-7 é produzido um curto-circuito contínuo. Se uma FEM fosse gerada na espira neste instante, uma corrente alta fluiria no circuito, causando um centelhamento, e danificando o coletor. Por esta razão, as escovas devem ser instaladas na posição exata, onde o curto-circuito ocorrerá quando a FEM gerada for zero. Esta posição é chamada de plano neutro.

A voltagem gerada pelo gerador CC básico na figura 9-7 varia de zero para o seu máximo, duas vezes para cada volta da espira. Esta variação da voltagem CC é chamada de "ondulação" (RIPPLE), e pode ser reduzida usando-se mais espiras ou bobinas; como mostrado em "A" da figura 9-8.

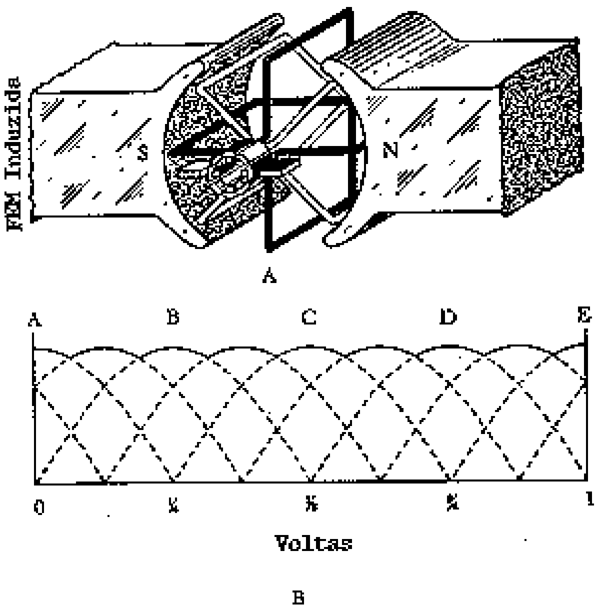


Figura 9-8 Aumento do número de espiras reduz a ondulação (Ripple) na voltagem.

À medida que o número de espiras aumenta, as variações entre os valores máximo e mínimo de voltagem serão reduzidas ("B" da figura 9-8), e a voltagem de saída do gerador se aproxima de um valor estável CC. Em "A" da figura 9-8, o número de segmentos do coletor é aumentado em proporção direta ao número de espiras, isto é, existem dois segmentos para uma espira, quatro segmentos para duas espiras e oito segmentos para quatro espiras.

A voltagem induzida numa espira com apenas uma volta é pequena. Aumentando o número de espiras não aumenta o valor máximo da voltagem gerada, mas aumentando o número de voltas em cada espira aumentará este valor máximo.

Dentro de certo limite, a voltagem de saída de um gerador CC é determinada pelo produto do número de voltas por espira, o fluxo total por cada par de pólos na máquina e a velocidade da rotação do induzido.

Um gerador CA, ou alternador, e um gerador CC são idênticos em relação ao método de voltagem gerada na espira móvel.

Entretanto, se a corrente for retirada da espira pelos anéis coletores, ela será uma corrente alternada e o gerador é CA; se ela for coletada por segmentos coletores, ela será uma corrente contínua, e o gerador é denominado de gerador CC.

Características da construção dos geradores CC

Os geradores usados nas aeronaves diferem no tipo, visto que eles são construídos por vários fabricantes. Todos, entretanto, possuem a mesma característica e operam de maneira similar.

As partes principais, ou conjuntos de um gerador CC, são a carcaça, o induzido e um conjunto de escovas. As partes de um gerador típico de avião são mostradas na figura 9-9.

Carcaça

A carcaça ou estrutura do campo é o alicerce ou a moldura do gerador. A carcaça tem duas funções: ela completa o circuito magnético entre os pólos, e atua como um suporte mecânico para as outras partes do gerador.

Em "A" da figura 9-10, a carcaça de um gerador de dois pólos é mostrada em corte transversal. A carcaça de um gerador de quatro pólos é mostrada em "B" da figura 9-10.

Nos geradores menores, a carcaça é constituída de uma peça única de ferro, mas nos geradores maiores geralmente é constituída por duas partes aparafusadas juntas.

A carcaça tem propriedades magnéticas elevadas e, junto com as peças polares, forma a parte principal do circuito magnético.

Os pólos do campo, mostrados na figura 9-10, são aparafusados no interior da moldura, e formam um núcleo pelo qual os enrolamentos da bobina do campo são efetuados.

Os pólos são geralmente laminados para reduzir as perdas devido às correntes parasitas, e têm a mesma finalidade de um núcleo de ferro de um eletroímã, isto é , eles concentram as linhas de força produzidas pela bobina de campo.A carcaça completa, incluindo as peças polares, é fabricada de ferro magnético de alta qualidade ou folha de aço.

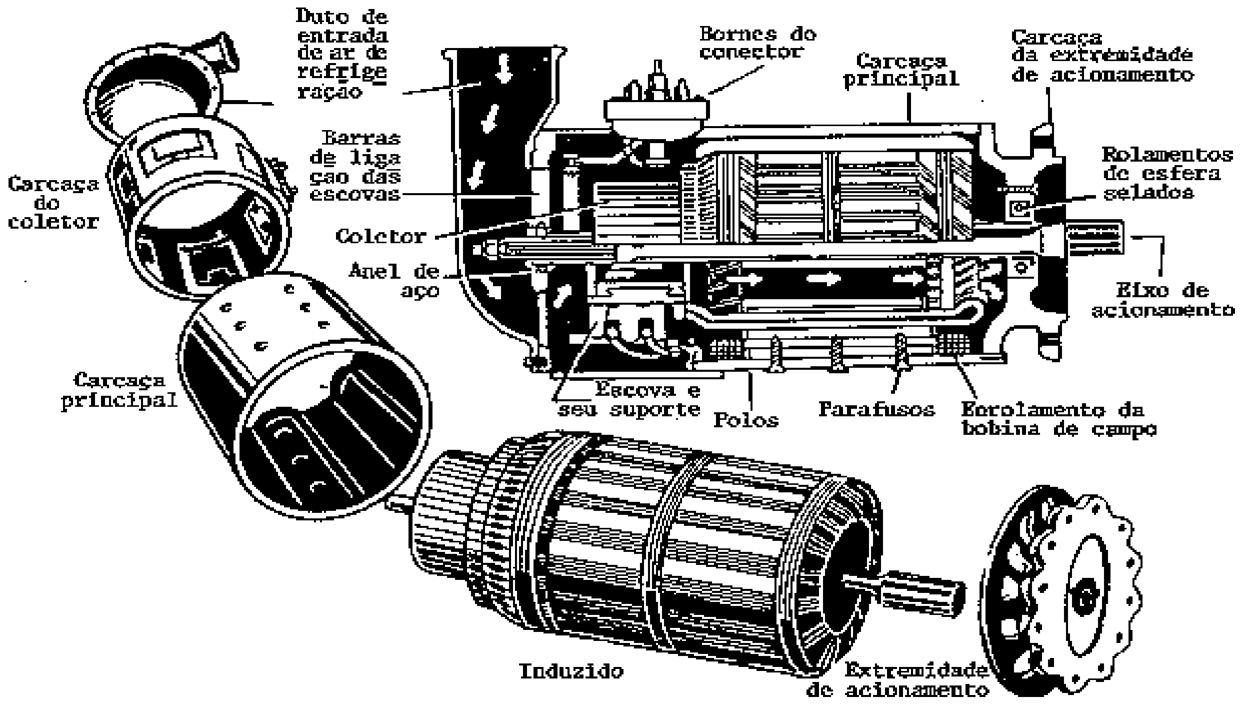

Duto de entrada de ar de refrigeração
Barras de ligação das escovas
Carcaça do coletor
Coletor
Anel de aço
Carcaça principal
Bornes do conector
Carcaça principal
Carcaça da extremidade de acionamento
Rolamentos de esfera selados
Eixo de acionamento
Escova e seu suporte
Polos
Parafusos
Enrolamento da bobina de campo
Induzido
Extremidade de acionamento

Figura 9-9 Gerador típico de 24 volts de aeronaves.

Um gerador CC usa eletroímãs ao invés de ímãs permanentes. A produção de um campo com intensidade magnética necessária, usando ímãs permanentes, aumentaria grandemente as dimensões físicas do gerador.

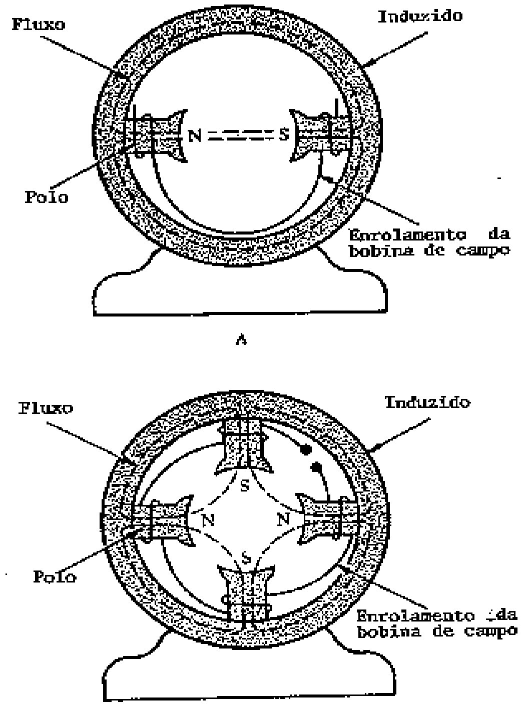

Fluxo
Induzido
N
S
Polo
Enrolamento da bobina de campo
A
Fluxo
Induzido
S
N
N
S
Polo
Enrolamento da bobina de campo
B

Figura 9-10 Carcaça de dois e de quatro pólos.

As bobinas de campo são constituídas de diversas voltas de fio isolado, e são enroladas para se amoldarem ao núcleo de ferro do pólo ao qual ela está segura firmemente (figura 9-11).

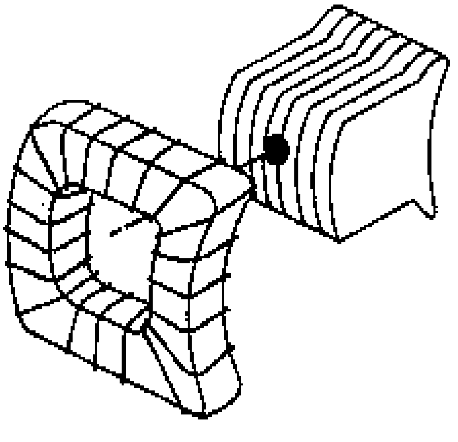


Figura 9-11Bobina de campo removida de um pólo.

A corrente de excitação, que é usada para produzir o campo magnético e que flui através das bobinas de campo, é obtida de uma fonte externa ou de uma máquina geradora CC. Não existe ligação elétrica entre os enrolamentos das bobinas de campo e as peças polares.

A maioria das bobinas de campo são ligadas de maneira que os pólos mostrem polaridade alternada. Visto que sempre existe um pólo norte para cada pólo sul, sempre existirá um número par de pólos em qualquer gerador.

As peças polares na figura 9-11 são projetadas da carcaça. Como o ar oferece uma grande resistência ao campo magnético, esta montagem reduz o espaço do ar entre os pólos e o induzido rotativo, aumentando a eficiência do gerador. Quando as peças polares são projetadas como a figura apresenta, seus pólos são denominados de pólos salientes.

Induzido

O conjunto do induzido consiste de bobinas enroladas em um núcleo de ferro, um coletor e as partes mecânicas associadas. Montado sobre um eixo, ele gira através do campo magnético produzido pelas bobinas de campo.O núcleo do induzido age como um condutor de ferro no campo magnético e, sendo assim, é laminado para evitar a circulação de correntes parasitas.

Há, em geral, dois tipos de induzido: do tipo anel e do tipo tambor. A figura 9-12 mostra um induzido do tipo anel feito de núcleo de ferro, um enrolamento de oito seções e um coletor de oito segmentos. Este tipo de induzido não é muito usado; a maioria dos geradores usa induzido do tipo tambor.

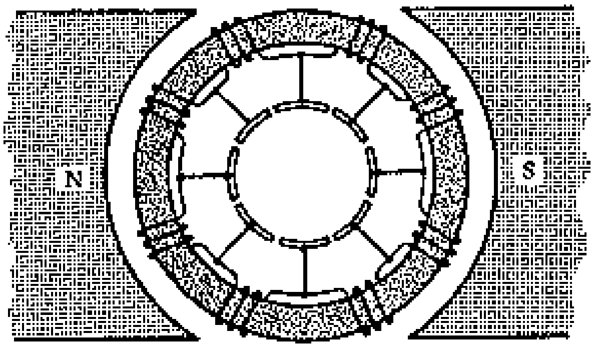


Figura 9-12 Induzido do tipo anel com enrolamento de oito seções.

Um induzido do tipo tambor (figura 9-13) tem bobinas instaladas nas fendas do núcleo. O uso das fendas aumenta a segurança mecânica do induzido. Geralmente, as bobinas são mantidas e instaladas nas fendas por meio de calços de madeira ou de fibra. As ligações das bobinas individuais, chamadas extremidades da bobina, são ligadas aos segmentos correspondentes do coletor.

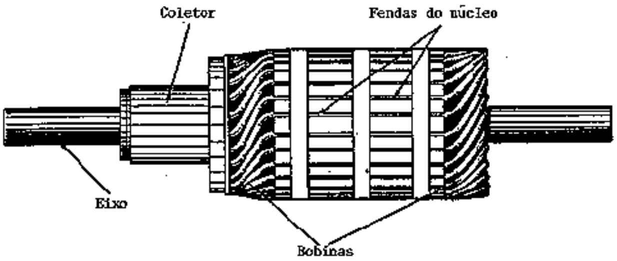

Coletor
Fendas do núcleo
Eixo
Bobinas

Figura 9-13 Induzido do tipo tambor.

Coletores

A figura 9-14 mostra o corte transversal de um coletor. O coletor está instalado na extremidade do induzido e consiste de segmentos uniformes de cobre estirado, isolados por folhas finas de mica.

Os segmentos são mantidos no lugar por anéis de aço tipo "V" ou flanges de aperto com parafusos. Os anéis de mica isolam os segmentos dos flanges. A parte alta de cada segmento é chamada espelho, e os fios das bobinas do induzido são soldados aos espelhos. Quando os segmentos não possuem espelhos, os fios são soldados a uma pequena fenda nas extremidades dos segmentos.

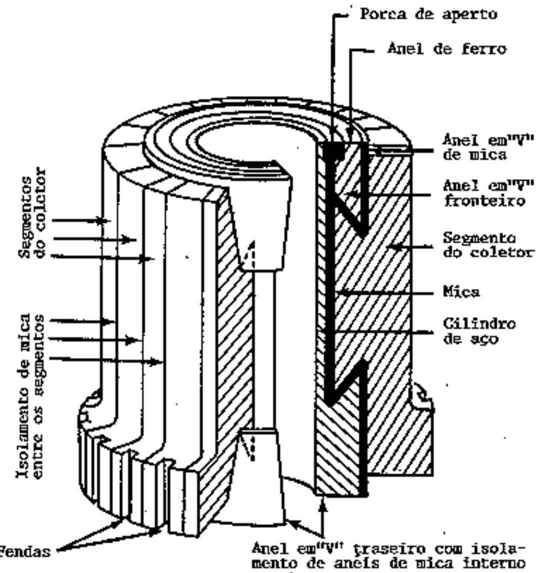

Porca de aperto
Anel de ferro
Anel em"V" de mica
Anel em"V" fronteiro
Segmento do coletor
Mica
Cilindro de aço
Segmentos do coletor
Isolamento de mica entre os segmentos
Fendas
Anel em"V" traseiro com isolamento de anéis de mica interno e externo

Figura 9-14 Coletor com uma parte removida para mostrar a sua construção.

As escovas estão sobrepostas na superfície do coletor, formando contato elétrico entre as bobinas do coletor e o circuito externo.

Um fio flexível trançado, de cobre, geralmente chamado de "rabicho", liga cada escova ao circuito externo.

As escovas, geralmente feitas de carvão de boa qualidade, são mantidas no lugar por ação de suportes, isolados da carcaça, podendo deslizar livremente para cima e para baixo para acompanhar qualquer anormalidade na superfície do coletor. As escovas são geralmente ajustáveis, de modo que sua pressão sobre os coletores possa ser variada e a posição das escovas em relação aos segmentos possa ser ajustada.

As interrupções constantes do contato das bobinas, nas quais as voltagens estão sendo induzidas, necessitam da utilização de material nas escovas que possuam ótima resistência de contato. Além disso, este material deve ser do tipo que o atrito entre o coletor e a escova seja pequeno para evitar desgaste excessivo. Sendo assim, o material mais usado pelas escovas é o carvão de boa qualidade. Este carvão deve ser suficientemente macio para evitar o desgaste do coletor e, ainda, resistente o bastante para fornecer à escova uma duração maior.

Visto que a resistência de contato do carvão é razoavelmente alta, a escova deve ser bastante grande para proporcionar uma área de contato maior. A superfície do coletor é altamente polida para reduzir o atrito quanto possível. Óleo ou graxa nunca devem ser usados no coletor e todo cuidado deve ser tomado ao limpá-lo, para evitar que a superfície seja danificada.

TIPOS DE GERADORES CC

Há três tipos de geradores CC: série, paralelo, série-paralelo ou misto. A diferença entre eles depende de como a bobina de campo é ligada em relação ao circuito externo.

Geradores CC de excitação em série

O enrolamento do campo de um gerador em série é ligado em série com o circuito externo, chamado de carga (figura 9-15). As bobinas de campo são compostas de poucas voltas de fio grosso.

A intensidade do campo magnético depende muito mais do fluxo de corrente do que do número de voltas da bobina.

Os geradores em série têm má regulagem de voltagem na variação de carga, posto que, quanto maior a corrente através das bobinas do campo para evitar o circuito externo, maior será a força eletromotriz induzida e também a voltagem terminal ou de saída. Portanto, quando a carga aumenta, a voltagem também aumenta; entretanto, quando a carga é reduzida, a voltagem também é reduzida.

A voltagem de saída de um gerador enrolado em série pode ser controlada por um reostato, em paralelo com os enrolamentos do campo, como mostrado em "A" da figura 9-15. Visto que o gerador enrolado em série tem má regulagem, ele nunca é usado como gerador de aeronaves. Os geradores das aeronaves são do tipo paralelo, série ou misto.

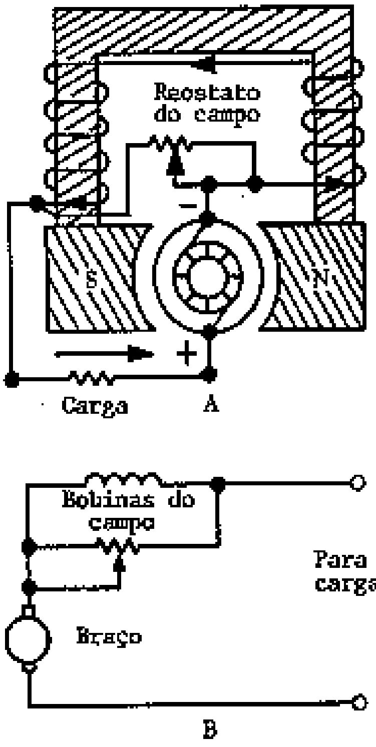


Figura 9-15 Diagrama e circuito esquemático de um gerador de excitação em série.

Geradores CC de excitação em paralelo

O gerador que possui um enrolamento de campo ligado em paralelo com o circuito externo é chamado de gerador em paralelo (como mostra a figura 9-16 em "A" e "B"). As bobinas de campo de um gerador em paralelo contêm muitas voltas de fio fino: a intensidade magnética é proveniente mais do grande número de voltas do que da intensidade da corrente através das bobinas. Se for desejada uma voltagem constante, o gerador de excitação em paralelo não será adequado para as cargas de oscilação rápida.

Qualquer aumento na carga provoca uma redução na voltagem terminal ou de saída, e qualquer redução na carga provoca o aumento na voltagem de saída; considerando que, o induzido e a carga estão ligadas em série, toda a corrente que flui no circuito externo passa pelo enrolamento do induzido.

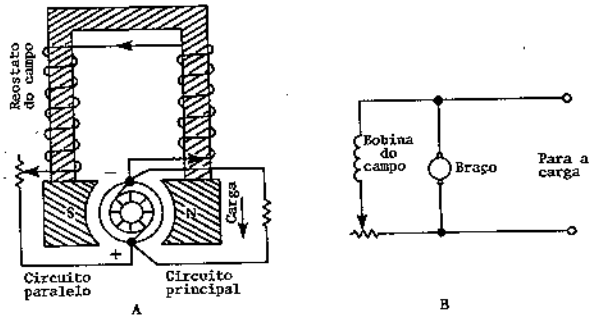


Figura 9-16 Gerador de excitação em paralelo.

Devido à resistência no enrolamento do induzido, há uma queda de voltagem (queda de IR = corrente x resistência). À medida que a carga aumenta, a corrente do induzido e a queda de IR no induzido aumentam.

A voltagem de saída é a diferença entre a voltagem induzida e a queda de voltagem; portanto, há uma redução na voltagem de saída. Esta redução provoca uma queda na intensidade do campo porque a corrente das bobinas de campo diminui em proporção à redução na voltagem de saída: com um campo mais fraco, a voltagem é consequentemente reduzida.

Quando a carga diminui, a voltagem de saída aumenta na mesma proporção, e uma corrente mais elevada flui nos enrolamentos. Esta ação é cumulativa, pois a voltagem de saída continua a aumentar até um ponto chamado "ponto de saturação", após o qual não há aumento de voltagem.

A voltagem de saída de um gerador em paralelo pode ser controlada por um reostato instalado em série com os enrolamentos do campo, como mostrado em "A" da figura 9-16. À medida que a resistência é aumentada, a corrente do campo é reduzida; consequentemente, a voltagem gerada também se reduz.

Para um determinado ajuste do reostato de campo, a voltagem de saída nas escovas do induzido será aproximadamente igual à voltagem gerada, menos a queda de IR produzida pela corrente de carga no induzido; sendo assim, a voltagem de saída do gerador diminuirá à medida que a carga for aplicada.

Alguns aparelhos sensíveis à voltagem são utilizados para ajustar automaticamente o reostato de campo, para compensar as variações de carga. Quando estes aparelhos são usados, a voltagem de saída permanece essencialmente constante.

Geradores CC de excitação mista

Um gerador de excitação mista é constituído pela combinação de um enrolamento em série e um enrolamento em paralelo, de tal modo que de suas características se obtenha um bom rendimento.

As bobinas do campo em série são feitas de um número de voltas relativamente pequeno de condutor de cobre grosso de seção transversal, circular ou retangular, e são ligadas em série com o circuito do induzido. Estas bobinas estão instaladas nos mesmos pólos do campo em paralelo e, por isso, auxiliam a força magnetomotriz, a qual influencia o fluxo do campo principal do gerador. A ilustração esquemática e o diagrama são apresentados em "A" e "B" da figura 9-17.

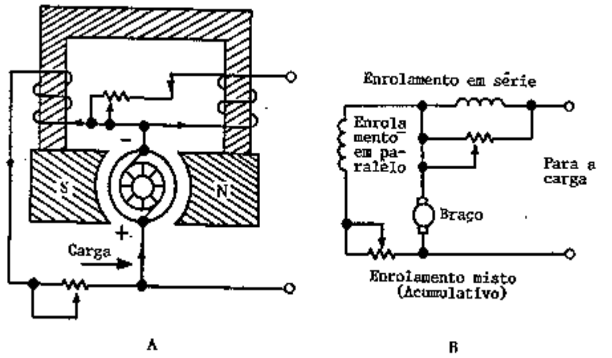


Figura 9-17 Gerador de excitação mista.

Se os ampères-voltas do campo em série atuam no mesmo sentido daqueles do campo em paralelo, a força magnetomotriz combinada será igual à soma dos componentes dos campos em série e em paralelo.

A carga é acrescentada a um gerador misto da mesma maneira que é adicionada a um gerador em paralelo, pelo aumento dos circuitos em paralelo com os terminais de saída do gerador.

Sendo assim, a redução da resistência da carga total com a carga adicionada é acompanhada pelo aumento da corrente nos circuitos do induzido e no do campo em série.

O efeito do campo em série aditivo é aquele pelo qual o fluxo do campo é aumentado quando a carga aumenta. A extensão do aumento do fluxo do campo, depende do grau de saturação do campo determinado pela corrente do campo em paralelo. Sendo assim, a voltagem de saída do gerador pode aumentar ou diminuir com a carga, dependendo da influência das bobinas do campo em série. Esta influência é conhecida como o grau de série-paralelismo.

Um gerador simples-misto é aquele onde as voltagens sem carga e com carga total possuem o mesmo valor; ao passo que um gerador sub-misto possui o valor da voltagem de carga total menor do que a voltagem sem carga, e um gerador super-misto possui a voltagem de carga total maior do que a carga nula. As variações na voltagem de saída com o aumento da carga depende do grau de série-paralelismo.

Se o campo em série auxilia o campo em paralelo, o gerador é chamado misto-acumulativo (“B” da figura 9-17).

Se o campo em série se opõe ao campo em paralelo, diz-se que a máquina é diferencialmente mista, ou é chamada de gerador diferencial.

Os geradores mistos são geralmente projetados como supermistos. Isto permite graus variados de composição, pela ligação de um campo em paralelo variável com o campo em série. Este campo paralelo é algumas vezes chamado “DIVERTER”. Os geradores mistos são usados onde a regulagem de voltagem é um fator importante.

Os geradores diferenciais têm, de certo modo, a mesma característica dos geradores em série, na qual eles são essencialmente de corrente constante. Entretanto, embora gerem uma voltagem nominal sem carga, a voltagem cai efetivamente à medida que a corrente de carga aumenta. Os geradores de corrente constante são perfeitamente adaptados como fonte de energia para soldadores de arco elétrico.

Se o campo em paralelo de um gerador misto estiver ligado, abrangendo o induzido e o campo em série, ele será conhecido como ligação de longo paralelismo; mas se o campo em paralelo estiver ligado somente com o induzido, ele será chamado de ligação de curto paralelismo. Estas ligações produzem essencialmente as mesmas características do gerador correspondente.

A figura 9-18 mostra graficamente um sumário da característica dos vários tipos de geradores.

Geradores de três fios

Alguns geradores CC, chamados geradores de três fios, são projetados para fornecer 240 volts, ou 120 volts em relação a um fio neutro (Ver figura 9-19).

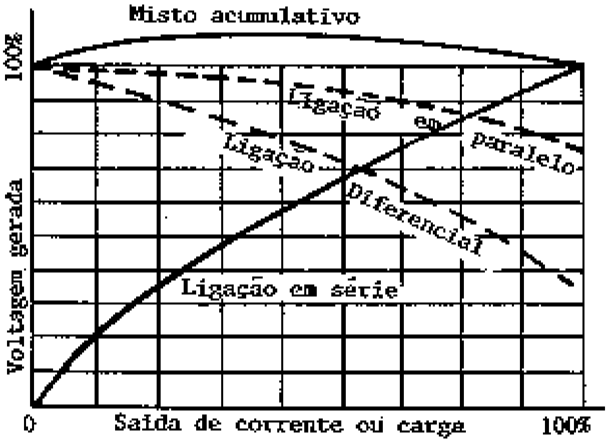


Figura 9-18 Características dos geradores.

Isto é conseguido pela ligação de uma bobina de reatância, aos lados opostos do coletor, com o neutro ligado ao ponto central da bobina de reatância. Esta bobina de reatância atua como um divisor de voltagem de baixa perda.

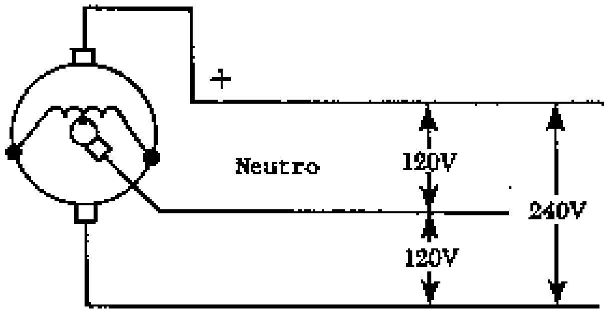


Figura 9-19 Gerador de três fios.

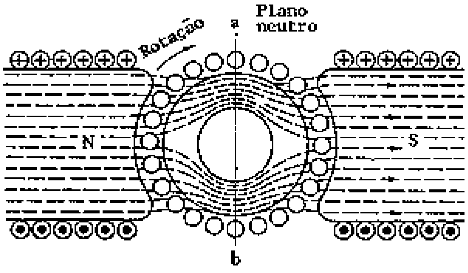
Se fossem usados resistores, a perda “IR” seria demasiada, a menos que as duas cargas fossem casadas perfeitamente. A bobina está inserida no interior de alguns geradores como parte do induzido, com o ponto central ligado a um único anel coletor que entra em contato com o neutro por meio de uma escova. Em outros geradores, as duas ligações com o coletor, por sua vez, são ligadas a dois anéis coletores; e o reator está localizado na parte externa do gerador.

Em qualquer caso, o desequilíbrio de carga em qualquer dos lados do neutro não deve ser maior do que 25% da corrente nominal de saída do gerador.

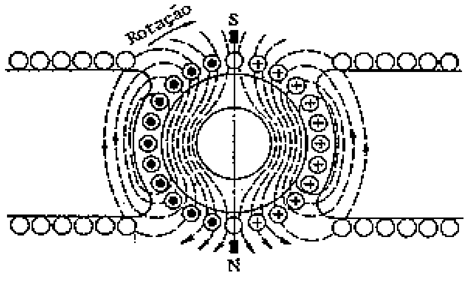
O gerador de três fios permite uma operação simultânea de 120 volts para circuitos de iluminação e de 240 volts para motores.

Reação do induzido

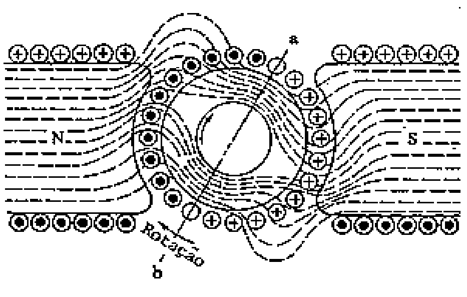
A corrente que flui através do induzido cria campos eletromagnéticos nos enrolamentos. Estes novos campos tendem a distorcer ou inclinar o fluxo magnético entre os pólos do gerador do plano neutro. Visto que a corrente do induzido aumenta com a carga, a distorção também se torna maior. Esta distorção do campo magnético é chamada de reação do induzido, e está ilustrada na figura 9-20.



A - Campo excitado, induzido sem excitação



B - Induzido excitado, campo sem excitação



C - Campo e induzido excitados

Figura 9-20 Reação do induzido.

Os enrolamentos do induzido de um gerador estão espaçados de tal modo que, durante a rotação do induzido, existem certas posições em que as escovas fazem contato com dois segmentos adjacentes e, portanto, curto-circuitando os enrolamentos do induzido com estes segmentos.

Geralmente, quando o campo magnético não está distorcido, nenhuma voltagem é induzida nos enrolamentos em curto e, consequentemente, nenhum resultado prejudicial ocorre no curto dos enrolamentos. Por outro lado, quando o campo está distorcido, uma voltagem é induzida nestes enrolamentos em curto, gerando faíscas entre as escovas e os segmentos do coletor. Consequentemente, o coletor é picotado e o desgaste das escovas é excessivo, reduzindo a saída do gerador.

Para corrigir esta condição, as escovas são adaptadas de modo que o plano das bobinas, que são curto-circuitadas pelas escovas, seja perpendicular ao campo magnético distorcido, o qual é obtido pelo movimento frontal das escovas no sentido da rotação. Esta operação é chamada de deslocamento das escovas para plano neutro, ou plano de comutação. O plano neutro é a posição onde o plano das duas bobinas opostas é perpendicular ao campo magnético do gerador.

Em alguns geradores, as escovas podem ser deslocadas manualmente além do plano normal neutro para o plano neutro provocado pela distorção do campo. Nos geradores de escovas não ajustáveis, o fabricante ajusta as mesmas para que seja obtido o mínimo de faísca.

Interpolos podem ser usados para diminuir alguns efeitos de distorção do campo, visto que o deslocamento das escovas é inconveniente e insatisfatório, especialmente quando a velocidade e a carga do gerador variam constantemente.

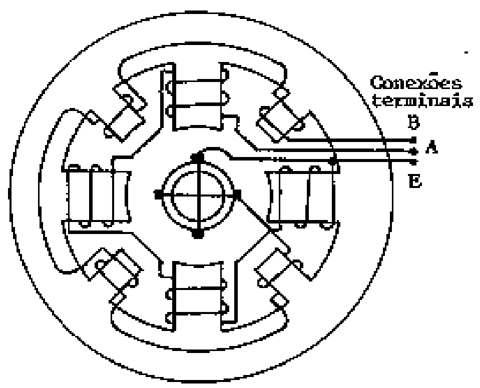


Figura 9-21 Gerador com interpolos.

O interpolo está localizado entre os pólos principais de um gerador. Por exemplo, um gerador de 4 pólos tem 4 interpolos, os quais se encontram nos pólos norte e sul, alternadamente, como são os pólos principais. Um gerador de 4 pólos com interpolos é mostrado na figura 9-21.

Um interpólo tem a mesma polaridade que o pólo principal adjacente no sentido da rotação. O fluxo magnético produzido por um interpólo faz com que a corrente no induzido mude de sentido quando o enrolamento passa sob ele. Isto anula os campos eletromagnéticos ao redor dos enrolamentos do induzido. A intensidade dos interpólos varia com a carga do gerador, e, visto que a distorção do campo varia com a carga, o campo magnético dos interpólos reduz os efeitos do campo ao redor dos enrolamentos do induzido, e diminui a distorção do campo.

Assim sendo, o interpólo tende a manter o plano neutro na mesma posição, independentemente da carga do gerador; portanto, a distorção do campo é reduzida pelos interpólos; e a eficiência, a saída e o tempo de duração das escovas são melhorados.

Capacidade do gerador

Um gerador é classificado pela sua potência de saída.

Como o gerador é projetado para operar uma voltagem especificada, a classificação geralmente é fornecida como sendo o número de ampères que o gerador pode fornecer na sua voltagem especificada ou nominal.

As especificações do gerador estão gravadas na placa de identificação fixada no mesmo. Quando um gerador for substituído, é importante optar por um com os valores apropriados.

A rotação dos geradores pode ser chamada de rotação horária ou anti-horária, observando-se a extremidade de acionamento. Geralmente o sentido da rotação acha-se gravado na placa de identificação.

Se a placa não indicar o sentido, a rotação pode ser marcada por uma seta na capa da placa do alojamento da escova. É importante que o gerador a ser usado possua o sentido da rotação correto; caso contrário, a voltagem será invertida.

A velocidade do motor da aeronave varia da RPM de marcha-lenta até a RPM de decolagem; entretanto, durante a maior parte de um vôo, ele está em velocidade de cruzeiro constante. A transmissão do gerador é geralmente acionada para girar o gerador entre 1 1/8 e 1 1/2 vezes a velocidade do eixo de manivelas do motor.

A maioria dos geradores de aeronave tem uma velocidade na qual começam a produzir sua voltagem normal. Conhecida como “COMING-IN”, esta velocidade é de 1.500 RPM.

Terminais do gerador

Na maioria dos geradores de 24 volts, as conexões elétricas são feitas nos terminais marcados com as letras “B”, “A” e “E” (ver a figura 9-22). O fio positivo do induzido do gerador liga no terminal “B”. O fio negativo do induzido liga no terminal “E”. A extremidade positiva do enrolamento do campo em paralelo liga no terminal “A”, e a extremidade oposta é ligada ao terminal negativo da escova.

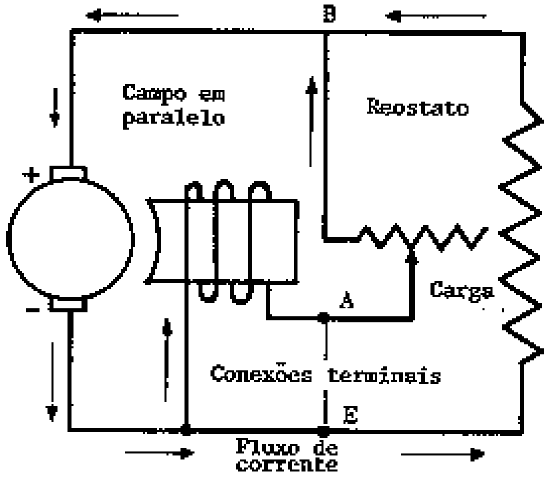


Figura 9-22 Regulagem da voltagem do gerador pelo reostato do campo.

O terminal “A” recebe corrente da escova negativa do gerador através do enrolamento do campo em paralelo.

Esta corrente passa através do regulador de voltagem, e retorna ao induzido através da escova positiva.

A corrente de carga, que sai do induzido através das escovas negativas, sai do fio “E” e passa através da carga antes de retornar ao induzido pelas escovas positivas.

REGULAGEM DA VOLTAGEM DO GERADOR

A operação eficiente do equipamento elétrico numa aeronave depende do fornecimento de voltagem constante do gerador. Entre os fatores que determinam a voltagem de saída de um gerador, apenas um, a intensidade da corrente do campo, pode ser convenientemente controlada. Para ilustrar este controle, é utilizado o diagrama da figura 9-22, que mostra um gerador simples com um reostato no circuito de campo.

Se o reostato for instalado para aumentar a resistência no circuito de campo, menos corrente fluirá através do enrolamento, e a intensidade do campo magnético na qual o induzido gira diminuirá. Consequentemente, a voltagem de saída do gerador diminuirá. Se a resistência no circuito de campo for diminuída com o reostato, mais corrente fluirá através dos enrolamentos do campo; o campo magnético se tornará mais forte e o gerador produzirá uma voltagem maior.

Com o gerador funcionando na velocidade normal, e o interruptor "K" aberto (figura 9-23), o reostato do campo é ajustado de modo que a voltagem de saída seja de aproximadamente 60% da normal. O solenóide "S" está inoperante e o contato "B" é mantido fechado pela mola. Quando o interruptor "K" estiver fechado, um curto-circuito estará formado através do reostato de campo. Esta ação faz com que a corrente do campo aumente e a voltagem de saída suba.

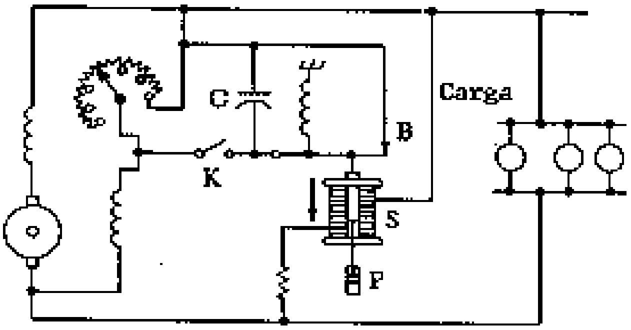


Figura 9-23Regulador de voltagem do tipo vibrador.

Quando a voltagem de saída exceder um determinado valor crítico, a atração do solenóide "S" excederá a tensão da mola, abrindo o contato "B", reinstalando o reostato no circuito de campo e reduzindo a corrente do campo e a voltagem de saída.

Quando a voltagem de saída estiver abaixo de uma voltagem crítica, o contato "B" do solenóide do induzido fechar-se-á novamente pela ação da mola, o reostato de campo neste momento será curto-circuitado, e a voltagem de saída começará a subir. O ciclo se repete como uma ação rápida e contínua. Sendo assim, é mantida uma voltagem média com ou sem variação na carga.

O pistão "P" provê uma operação mais suave, atuando como um amortecedor para evitar oscilação. O capacitor "C" em paralelo com o contato "B" elimina as centelhas. Uma carga adicional provoca um curto mais demorado no reostato do campo e, sendo assim, o solenóide do induzido vibra mais lentamente. Se a carga for reduzida e a voltagem de saída aumentar, o induzido vibrará mais rapidamente e o regulador manterá a voltagem de saída num valor constante para qualquer variação na carga, desde a carga nula até a carga máxima no gerador.

Os reguladores do tipo vibradores não podem ser usados com geradores que necessitam de alta corrente de campo, posto que os contatos furarão ou queimarão. Os sistemas de gerador de grande carga necessitam de um tipo diferente de regulador, semelhante ao regulador de pilha de carvão.

Regulador de voltagem à pilha de carvão

O regulador de voltagem à pilha de carvão depende da resistência de diversos discos de carvão sobrepostos.

A resistência da pilha de carvão varia inversamente com a pressão aplicada. Quando a pilha for comprimida sob considerável pressão, a resistência na pilha será menor. Quando a pressão for reduzida, a resistência da pilha de carvão aumentará, porque há mais espaço de ar entre os discos, e o ar tem alta resistência.

A pressão na pilha de carvão depende de duas forças opostas: uma mola e um eletroímã. A mola comprime a pilha de carvão, e o eletroímã exerce uma força que reduz a pressão. A bobina do eletroímã, como apresentada na figura 9-24, está ligada através do terminal "B" do gerador, através de um reostato (botão ajustável) e de um resistor (discos de carvão) para a terra (massa).

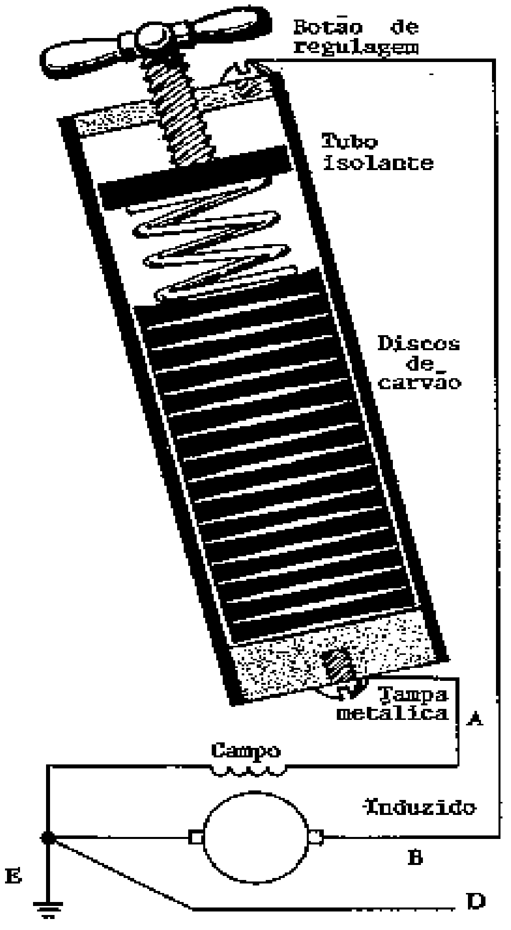

Botão de regulagem
Tubo isolante
Discos de carvão
Tampa metálica
A
Campo
Induzido
B
E
D

Figura 9-24 Ilustração do efeito controlador de um regulador de voltagem.

Quando a voltagem do gerador variar, a força do eletroímã variará.

Se a voltagem do gerador exceder um valor específico, a força do eletroímã aumentará, diminuindo a pressão exercida na pilha de carvão e aumentando sua resistência.Visto que esta resistência está em série com o campo, menos corrente fluirá através do enrolamento do campo, haverá uma redução correspondente na intensidade do campo, e a voltagem do gerador diminuirá.

Por outro lado, se a saída do gerador for inferior ao valor da voltagem especificada, a força do eletroímã é diminuída, e a pilha de carvão oferece uma resistência menor ao circuito de enrolamento do campo. Além disso, a intensidade do campo aumenta e a saída do gerador também.

Um reostato pequeno oferece meios de ajustagem do fluxo de corrente através da bobina do eletroímã.

A figura 9-25 mostra um regulador de voltagem típico de 24 volts com seus circuitos internos.

Regulador de três unidades

Muitas aeronaves de pequeno porte utilizam um regulador de três unidades em seus sistemas de gerador.

Este tipo de regulador consiste em um limitador e um interruptor de corrente reversa, além de um regulador de voltagem.

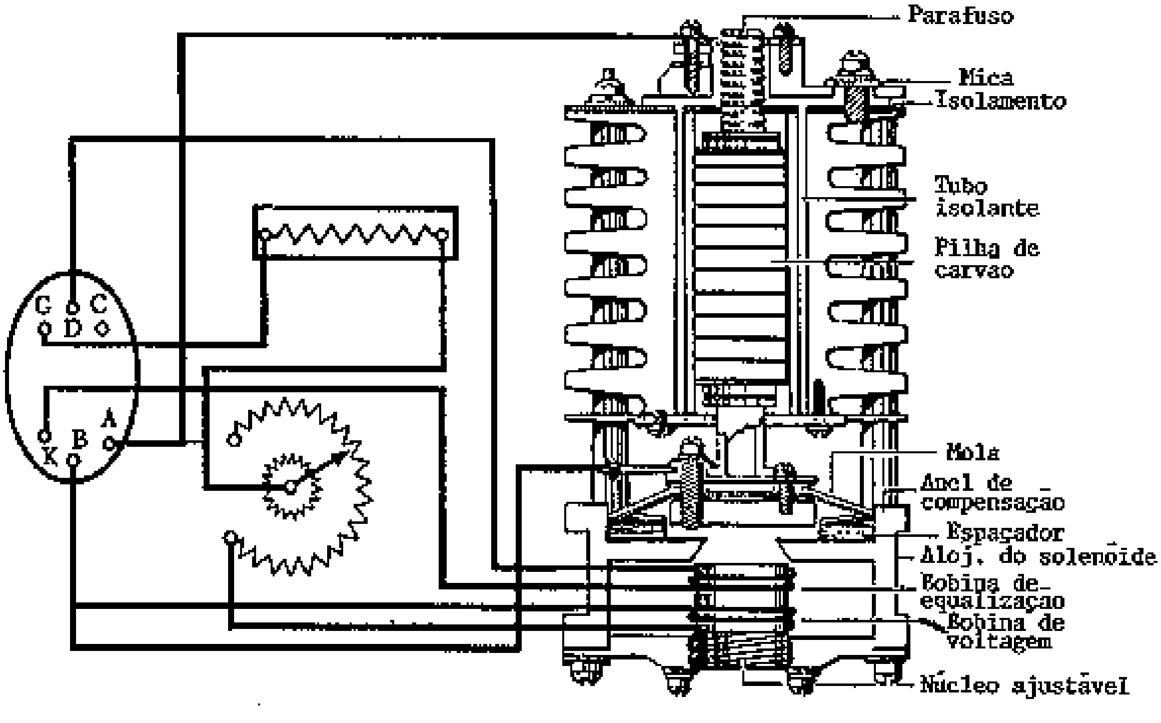

Parafuso
Mica
Isolamento
Tubo isolante
Pilha de carvao
Mola
Anel de compensação
Espaçador
Aloj. do solenóide
Bobina de equalização
Bobina de voltagem
Núcleo ajustável
G
D
C
A
B
K

Figura 9-25 Circuitos internos de um regulador de voltagem.

A ação da unidade reguladora de voltagem é similar ao regulador do tipo vibratório, descrito anteriormente.

A segunda das três unidades é um regulador de corrente para limitar a corrente de saída do gerador. A terceira unidade é um interruptor de corrente reversa, que desliga a bateria do gerador.

Se a bateria não for desligada, ela descarregar-se-á através do induzido do gerador quando a voltagem dele for inferior à voltagem da bateria, acionando o gerador como um motor.

Esta ação é denominada de "motorização" do gerador e, se ela não for evitada, descarregará a bateria num curto espaço de tempo.

A operação de um regulador de três unidades está descrita nos parágrafos seguintes (veja a figura 9-26).

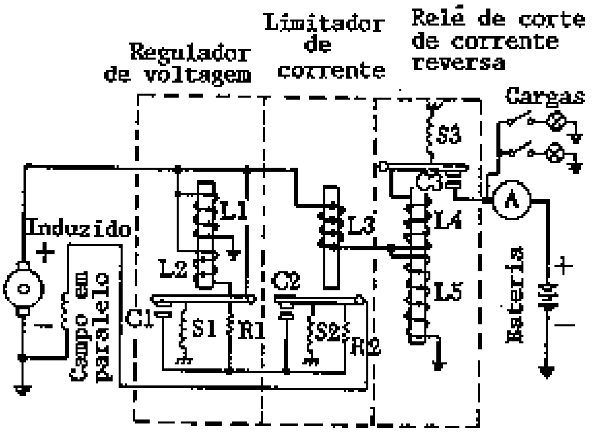


Figura 9-26 Regulador de três unidades para geradores de velocidade variável.

A ação de vibração do contato C1 na unidade reguladora de voltagem provoca um curto-circuito intermitente entre os pontos R1 e L2. Quando o gerador não estiver operando, a mola S1 manterá o contato C1 fechado; C2 também será fechado pela mola S2. O campo em paralelo está ligado diretamente ao induzido.

Quando o gerador for ligado, sua voltagem de saída aumentará à medida que a velocidade do gerador aumentar, e o induzido suprirá o campo com corrente através dos contatos C2 e C1 fechados.

À medida que a voltagem de saída aumenta, o fluxo de corrente através de L1 aumenta, e o núcleo de ferro torna-se mais fortemente magnetizado. Numa certa velocidade e voltagem, quando a atração magnética no braço móvel for suficientemente forte para sobrepujar a tensão da mola S1, os contatos C1 estarão separados. A corrente do campo agora flui através de R1 e L2. Visto que a resistência é adicionada ao circuito do campo, este é enfraquecido momentaneamente, e o aumento na voltagem de saída é paralisado. Além disso, estando o enrolamento L2 em oposição a L1, o esforço magnético de L1 sobre S1 é neutralizado parcialmente, e a mola S1 fecha o contato C1. Portanto, R1 e L2 estão novamente em curto, fora do circuito, e a corrente do campo aumenta mais uma vez; a voltagem de saída aumenta e C1 abre, comandado por L1. O ciclo é rápido e ocorre muitas vezes por segundo.

A voltagem de saída do gerador varia pouco, porém rapidamente acima ou abaixo de um valor médio determinado pela tensão da mola S1, que pode ser ajustada.

A finalidade do limitador de corrente tipo vibratório é limitar a corrente de saída do gerador, automaticamente no seu valor nominal, a fim de proteger o gerador.

Como mostra a figura 9-26, L3 está em série com a linha principal e a carga. Sendo assim, a quantidade de corrente que flui na linha determina quando C2 será aberto e quando R2 estará em série com o campo do gerador.

Ao contrário do regulador de voltagem, que é atuado pela voltagem da linha, o limitador de corrente é atuado pela corrente da linha. A mola S2 mantém o contato C2 fechado até que a corrente, através da linha principal e de L3, exceda um certo valor determinado pela tensão da mola S2, e provoque a abertura de C2.

A corrente aumenta quando a carga aumenta. Este fato introduz R2 no circuito do campo do gerador, e diminui sua corrente e a voltagem gerada.

Quando a voltagem gerada diminuir, a corrente do gerador também diminuirá. O núcleo de S3 é desmagnetizado parcialmente, e a mola fecha os contatos de C2. Isto provoca um aumento na voltagem e na corrente do gerador, até que a corrente atinja um valor suficiente para recomeçar o ciclo. Um determinado valor mínimo da corrente de carga é suficiente para provocar a vibração no limitador de corrente.

A finalidade do relé de corte da corrente reversa é desligar automaticamente a bateria do gerador, quando a voltagem do gerador for menor que a voltagem da bateria. Se este dispositivo não fosse usado no circuito do gerador, a bateria descarregar-se-ia através do gerador. Isto tenderia a fazer com que o gerador operasse como um motor. Estando, porém, o gerador acoplado ao motor da aeronave, não poderia operar com uma carga tão pesada. Nesta condição, os enrolamentos do gerador podem ser danificados seriamente pela corrente excessiva.

No núcleo de ferro doce há dois enrolamentos: L4 e L5. O primeiro é o enrolamento da corrente, consiste em poucas voltas de fio grosso, está em série com a linha, e conduz toda a sua corrente. O segundo é o enrolamento da voltagem, consiste em um grande número de voltas de fio fino e está em paralelo com os terminais do gerador.

Quando o gerador não está funcionando, os contatos C3 são mantidos abertos pela mola S3. À medida que a voltagem do gerador aumenta, o enrolamento L5 magnetiza o núcleo de ferro. Quando a corrente (resultante da voltagem gerada) produzir magnetismo suficiente no núcleo de ferro, o contato C3 é fechado. A bateria então recebe uma corrente de carga.

A mola da bobina S3 é ajustada, de modo que o enrolamento da voltagem não feche os contatos C3 até que a voltagem do gerador exceda a voltagem normal da bateria.

A corrente de carga através do enrolamento L4 auxilia a corrente de L5 para manter os contatos bem fechados.

O contato C3 se diferencia de C1 e C2 porque nele não há vibração.

Quando o gerador gira em marcha-lenta, ou por qualquer outro motivo, a voltagem do gerador diminui até um valor inferior ao da bateria, a corrente reverte através de L4, e as ampères-voltas de L4 se opõem às de L5.

Assim sendo, uma descarga de corrente momentânea da bateria reduz o magnetismo do núcleo, e C3 é aberto evitando o descarregamento da mesma e a motorização do gerador. C3 só fechará outra vez caso a voltagem de saída do gerador ultrapasse a voltagem da bateria de um valor pré-determinado.

INTERRUPTOR/RELÉ DIFERENCIAL

Os sistemas elétricos de aeronaves normalmente usam alguns tipos de interruptores/relés de corrente reversa, que atuam não somente como interruptor de corrente, como também interruptor de controle remoto, pelo qual o gerador pode ser desconectado do sistema elétrico a qualquer momento.

Um tipo de interruptor/relé de corrente reversa opera a nível da voltagem do gerador, mas o tipo mais comumente usado nas aeronaves de grande porte é interruptor/relé diferencial, cujo controle é feito pela diferença entre a voltagem da barra da bateria e o gerador.

O interruptor/relé diferencial liga o gerador à barra principal dos sistemas elétricos, quando a voltagem de saída do gerador excede a voltagem da barra de 0,35 a 0,56 volts. Ele desligará o gerador quando uma corrente reversa nominal fluir da barra para o gerador.

Os relés diferenciais em todos os geradores de aviões multimotores não fecham quando a carga elétrica é pequena. Por exemplo, num avião com uma carga de 50 ampères, somente dois ou três relés talvez fechem.

Se for aplicada uma carga maior, o circuito de equalização reduzirá a voltagem dos geradores já na barra e, ao mesmo tempo, aumentará a voltagem dos geradores restantes, permitindo que seus relés se fechem. Se os geradores estiverem devidamente em paralelo, todos os relés permanecerão fechados até que o interruptor de controle do gerador seja desligado, ou até que a velocidade do motor seja reduzida abaixo do mínimo necessário para manter a voltagem de saída do gerador.

O relé de controle diferencial do gerador mostrado na figura 9-27 é constituído de dois relés, e um contactor operado por bobina. Um dos relés é o de voltagem e o outro é o diferencial.

Ambos os relés são constituídos de ímãs permanentes, os quais são pivotados entre as peças polares dos ímãs temporários, enrolados com a bobina dos relés.

As voltagens de uma polaridade criam campos ao redor dos ímãs temporários, com polaridades que provocam o movimento do ímã permanente no sentido correto, para fechar os contatos do relé; as voltagens de polaridade oposta criam campos que induzem a abertura dos contatos do relé.

O relé diferencial possui duas bobinas enroladas sobre o mesmo núcleo. O contactor operado por bobina, chamado de contactor principal, consiste em contatos móveis que são operados por uma bobina com um núcleo de ferro móvel.

Fechando o interruptor do gerador no painel de controle, a saída do gerador é ligada à bobina do relé de voltagem.

Quando a voltagem do gerador atingir 22 volts, a corrente fluirá através da bobina, e fechará os contatos do relé de voltagem. Isto completa o circuito do gerador para a bateria através da bobina diferencial.

Quando a voltagem do gerador exceder a voltagem da barra de 0,35 volts, a corrente fluirá através da bobina diferencial, o contato do relé fechará e, sendo assim, completar-se-á o circuito da bobina do contactor principal. Os contatos do contactor principal fecham, ligando o gerador à barra. Quando a voltagem do gerador for inferior à voltagem da barra (ou da bateria) , uma
corrente reversa enfraquecerá o campo magnético ao redor do ímã temporário do relé diferencial

O campo enfraquecido permite que uma mola abra os contatos do relé diferencial, interrompendo o circuito com a bobina do relé do contactor principal, abrindo seus contatos e desligando o gerador da barra.

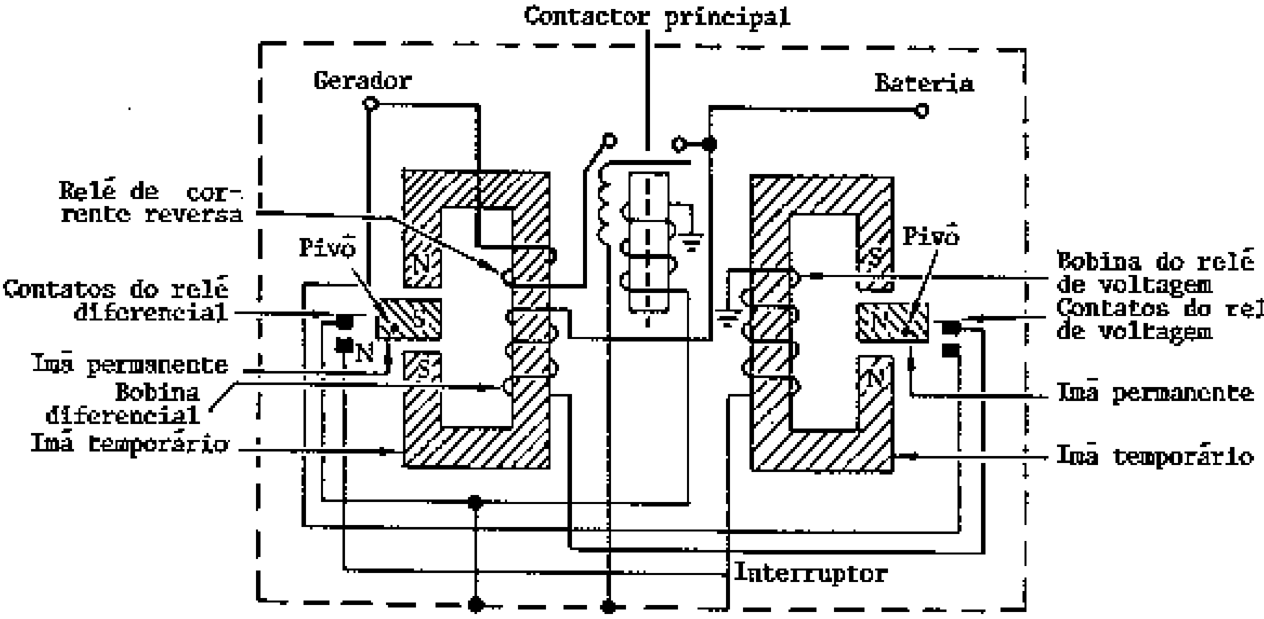

Contactor principal
Gerador
Bateria
Relé de corrente reversa
Pivô
Contatos do relé diferencial
N
S
N
S
Imã permanente
Bobina diferencial
Imã temporário
Pivô
S
N
N
Bobina do relé de voltagem
Contatos do relé de voltagem
Imã permanente
Imã temporário
Interruptor

Figura 9-27 Relé de controle diferencial do gerador.

O circuito gerador-bateria pode também ser cortado (desativado) abrindo-se o interruptor de controle na cabine de comando, o qual abrirá os contatos do relé de voltagem, provocando ainda a desenergização da bobina do relé diferencial.

Relés de controle de sobrevoltagem e do campo

Dois outros ítens usados com os circuitos de controle do gerador são os relés de controle de sobrevoltagem e o de controle do campo. Como seu nome diz, o controle de sobrevoltagem protege o sistema caso exista voltagem excessiva.

O relé de sobrevoltagem é fechado quando a saída do gerador atinge 32 volts, além de completar um circuito para desarmar a bobina do relé de controle do campo.

O fechamento do circuito de desarme do relé de controle abre o circuito do campo em paralelo, e o completa através de um resistor, provocando uma queda de voltagem no gerador; além disso, o circuito do interruptor do gerador e o circuito de equalização (avião multimotor) são abertos.

Um circuito de luz indicadora é completado, avisando que existe uma condição de sobrevoltagem. O interruptor da cabine de comando é usado na posição RESET para completar o rearme do circuito da bobina no relé de controle de campo, retornando o relé à sua posição normal.

GERADORES EM PARALELO

Quando dois ou mais geradores operam ao mesmo tempo com a finalidade de fornecer energia para uma carga, diz-se que eles estão em paralelo, isto é, cada gerador fornece uma parte proporcional da amperagem total de carga.

Desta forma, a operação com multigerador requer que a carga seja distribuída por igual para cada gerador, visto que, havendo um pequeno aumento na saída de voltagem de um gerador, este fornecerá a maior parte da energia utilizada pela carga.

A potência fornecida por um gerador geralmente é chamada de ampères-carga.

Embora a potência seja medida em WATTS, produto da voltagem e da corrente - o termo "ampère-carga" é aplicável porque a saída de voltagem de um gerador é considerada constante; portanto, a potência é diretamente proporcional à saída de ampères do gerador.

Paralelismo com ligação negativa

Para distribuir a carga igualmente entre os geradores operando em paralelo, uma bobina é enrolada no mesmo núcleo da bobina de voltagem do regulador. Isto é parte do sistema de equalização mostrado na figura 9-28. Um resistor calibrado está localizado na ligação do terminal negativo "E", do gerador para a massa. O valor desta resistência é tanto, que, quando o gerador está operando com saída máxima de corrente, há uma queda de 0,5 volt através do resistor. Este resistor pode ser de tipo especial, pode ser um fio-massa suficientemente comprido para possuir a resistência necessária, ou um enrolamento em série do gerador.

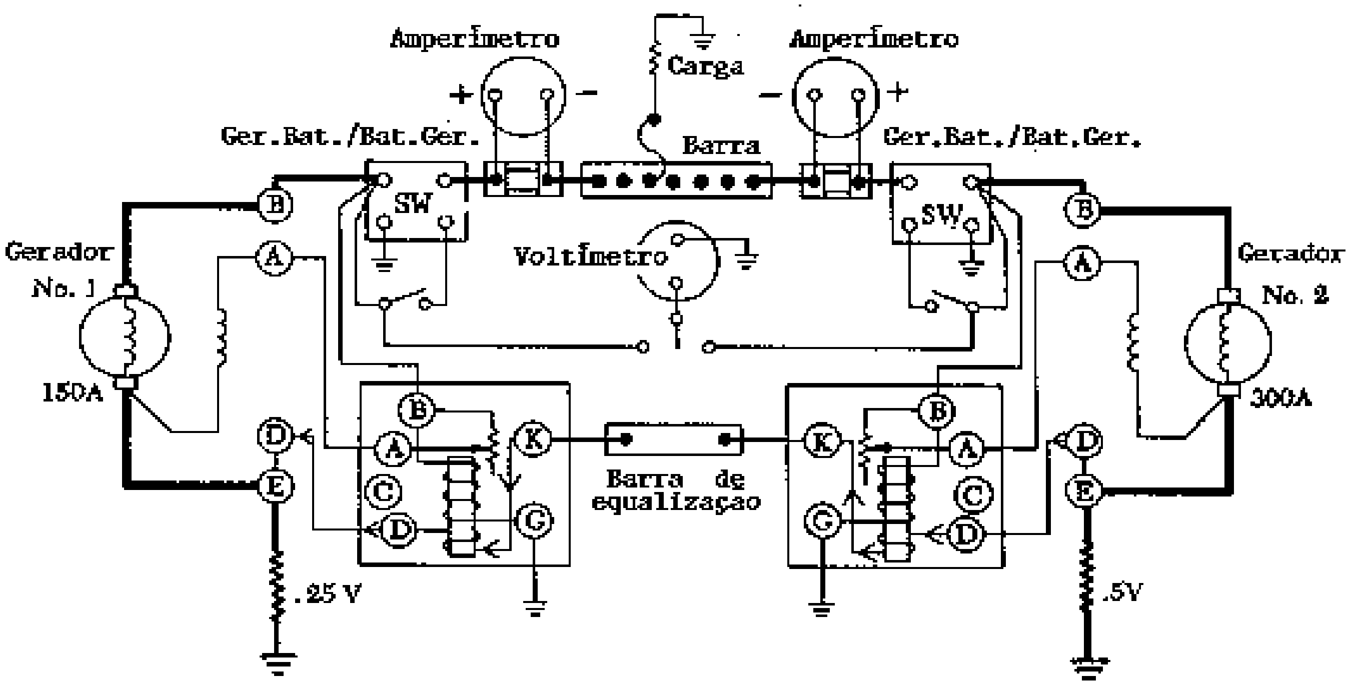


Figura 9-28 Circuitos de equalização de geradores.

O sistema de equalização depende da queda de voltagem nos resistores calibrados individualmente.

Se todos os geradores estiverem fornecendo a mesma corrente, a queda de voltagem em todas as ligações massa será a mesma. Se a corrente fornecida pelos geradores for diferente, haverá uma queda de voltagem maior na ligação do gerador que estiver fornecendo mais corrente. Sendo assim, quando o gerador 1 estiver fornecendo 150 ampères, e o gerador 2 estiver fornecendo 300 ampéres, a queda de voltagem na ligação negativa do gerador 1 será 0,25 volt; e na negativa do gerador 2 será de 0,5 volt.

Com isto o ponto "E" do gerador 1 possui uma voltagem menor do que o ponto "E" do gerador 2, e a corrente fluirá no circuito de equalização do ponto "E" do gerador 2 para o ponto "E" do gerador 1.

A bobina de equalização auxiliará a bobina de voltagem no regulador 2, e se oporá à bobina de voltagem no regulador 1. Desta maneira, a voltagem no gerador 2 será reduzida e a do gerador 1 será aumentada.

Paralelismo com ligação positiva

O diagrama na figura 9-29 mostra dois geradores fornecendo uma corrente total de 300 ampères. Se os geradores estivessem distribuindo esta carga igualmente, os amperímetros indicariam 150 ampères cada um.

Os geradores estariam em paralelo e nenhuma corrente fluiria nas bobinas de equalização entre os terminais "K" e "D" dos reguladores.

Observa-se, entretanto, que o amperímetro do gerador 1 indica somente 100 ampères, mas o amperímetro 2 indica 200 ampères. Com isto, há desequilíbrio da carga, provocando o fluxo da corrente através do circuito de equalização (linhas pontilhadas) no sentido indicado pelas setas.

O motivo é o seguinte: com 200 ampères de corrente fluindo através do resistor de equalização nº 2 (pela lei de 0hm, E = I x R), haverá uma queda de 0,5 volt através do resistor nº 2. Visto que há somente 100 ampères fluindo através do resistor de equalização nº 1, haverá uma queda de ¼ volt (0,25 volt) neste resistor, e uma diferença de 0,25 volt existirá entre os dois resistores.

Sabendo-se que a corrente flui de uma pressão (potencial) mais alta para uma pressão mais baixa e do negativo para o positivo, ela estará no sentido indicado pelas setas. Quando a carga for igual, não haverá diferença entre a voltagem nos dois resistores.

A corrente pode ser seguida pelo circuito de equalização e pelas bobinas do regulador de voltagem para mostrar os efeitos nos eletroímãs. Com a corrente no sentido mostrado, a bobina de equalização e a bobina de voltagem do regulador nº 1 criam campos magnéticos que se opõem entre si, enfraquecendo o eletroímã do regulador de voltagem nº 1.

Isto permite a compressão dos discos de carvão pela mola, diminuindo suas resistências, e permitindo ainda um fluxo de corrente maior no circuito de campo do gerador nº 1.

Consequentemente, a voltagem de saída do gerador aumenta, mas ao mesmo tempo a corrente pela bobina de equalização e pela bobina de voltagem do regulador de voltagem nº 2 criam campos magnéticos que se auxiliam mutuamente, aumentando a força do eletroímã. Com isto, há uma redução na pressão da mola nos discos de carvão, aumentando suas resistências e permitindo que menos corrente flua no circuito do campo do gerador nº 2.

Sendo assim, a voltagem de saída deste gerador diminuirá.

Com a voltagem de saída do gerador nº 1 aumentada, a queda de voltagem através do resistor de equalização nº 1 aumenta; e com uma redução na voltagem de saída do gerador nº 2, a queda de voltagem através do resistor de equalização nº 2 diminui. Quando a voltagem de saída dos dois geradores for igual, a queda de voltagem através dos resistores de equalização também será igual.

Nenhuma corrente fluirá no circuito de equalização, a carga estará equilibrada e a leitura nos amperímetros será aproximadamente a mesma. Os geradores, estão, portanto, em paralelo.

A finalidade do circuito de equalização é auxiliar os reguladores de voltagem automaticamente, reduzindo a voltagem do gerador com voltagem elevada, e aumentando a voltagem do gerador com baixa voltagem, de maneira que a carga total seja dividida igualmente pelos geradores.

MANUTENÇÃO DO GERADOR CC

Inspeção

A informação seguinte sobre a inspeção e manutenção dos sistemas de gerador CC é de caráter geral, devido ao grande número de diferentes sistemas de gerador de aeronave.

Esses procedimentos são apenas para familiarização. Segue-se sempre as instruções do fabricante para um determinado sistema de gerador.

Geralmente, a inspeção de um gerador, instalado em uma aeronave, deve conter os seguintes itens:

1) Montagem segura do gerador.
2) Condição das conexões elétricas.
3) Presença de sujeira e óleo no gerador. Se houver vestígio de óleo, verifica-se a vedação do motor. A sujeira deve ser retirada com ar comprimido.
4) Condição das escovas do gerador.
5) Operação do gerador.
6) Operação do regulador de voltagem.

Os itens 4, 5 e 6 são apresentados com maiores detalhes nos parágrafos seguintes.

Condições das escovas do gerador

O centelhamento reduz rapidamente a área efetiva da escova em contato com os coletores. O grau de centelhamento deve ser determinado; e o desgaste excessivo requer uma inspeção mais cuidadosa.

A informação seguinte se refere ao assentamento, pressão e desgaste da escova e a condição do isolamento das barras (mica-alta).

Os fabricantes geralmente recomendam os procedimentos seguintes para assentamento das escovas que não façam bom contato com os coletores:

A escova tem que ser suspensa o suficiente para permitir a introdução de uma lixa nº 000, ou mais fina, na parte inferior da escova, com o lado áspero para cima (figura 9-30).

Puxa-se a lixa no sentido da rotação do induzido, com o cuidado de manter as extremidades da lixa bem próximas da superfície do coletor a fim de evitar que as bordas da escova sejam arredondadas.

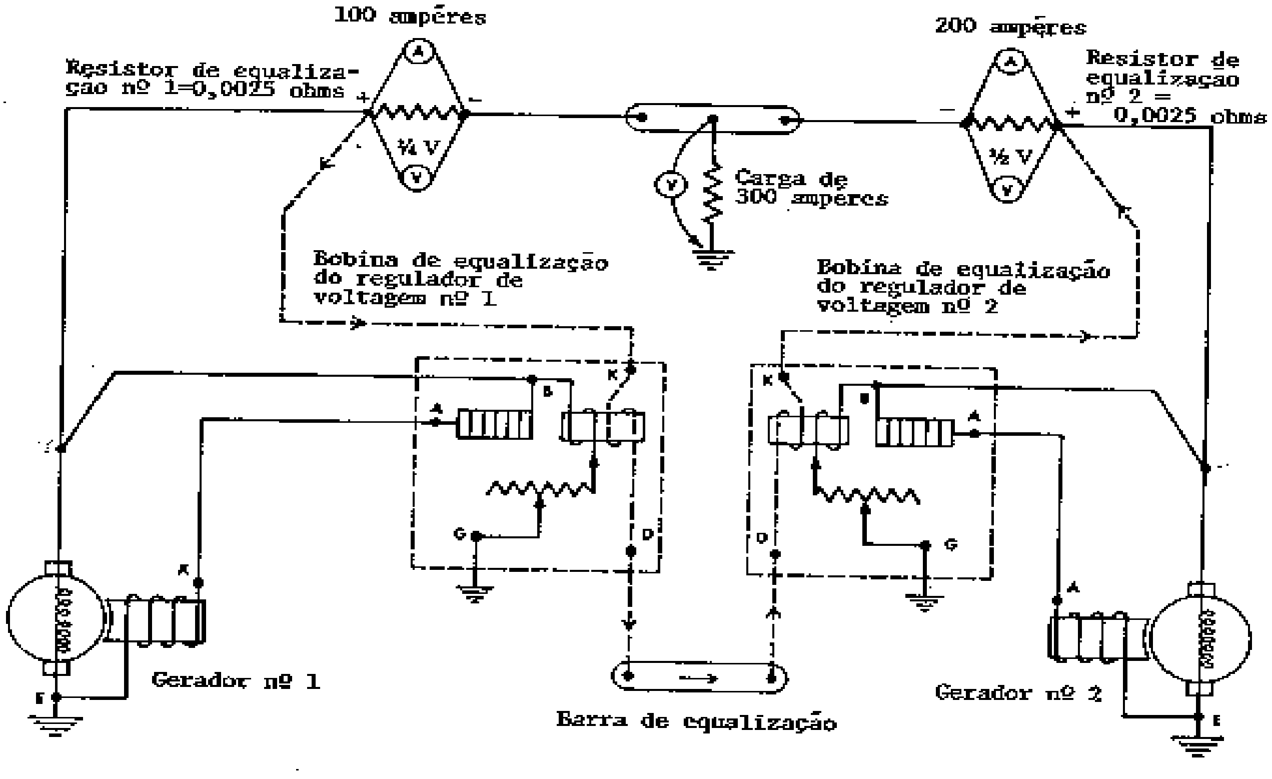

100 ampères
Resistor de equalização nº 1=0,0025 ohms
+
−
A
¼ V
V
Carga de 300 ampères
V
200 ampères
Resistor de equalização nº 2 = 0,0025 ohms
−
+
A
½ V
V
Bobina de equalização do regulador de voltagem nº 1
Bobina de equalização do regulador de voltagem nº 2
K
B
A
G
D
K
A
D
G
A
A
E
E
Gerador nº 1
Gerador nº 2
Barra de equalização

Figura 9-29 Geradores e circuitos de equalização.

Ao se puxar a lixa de volta ao ponto inicial, a escova deve ser levantada para não tocá-la. A escova somente deve ser lixada no sentido da rotação.

Após funcionar por pequeno período de tempo, as escovas do gerador devem ser inspecionadas, para assegurar que não há pedaços de lixa embutidos na escova, armazenando cobre.

Sob nenhuma circunstância devem ser usadas lixas de esmeril ou abrasivos similares para assentamento das escovas (ou alisamento de coletores), pois eles contêm materiais condutores que causarão centelhamento entre as escovas e as barras do coletor.

A pressão excessiva causará um rápido desgaste das escovas. Uma pressão muito pequena, entretanto, permitirá “oscilação”, resultando em superfícies queimadas e furadas.

Uma escova de carvão, grafite ou levemente metalizada deve exercer uma pressão de 1 ½ a 2 ½ psi no coletor.

A pressão recomendada pelo fabricante deve ser inspecionada com uma balança de mola calibrada em onças.

A tensão da mola da escova é geralmente ajustada entre 32 e 36 onças; entretanto, a tensão pode diferir levemente para cada tipo de gerador.

Quando for usada uma balança de mola, a pressão exercida no coletor pela escova é lida diretamente na balança.

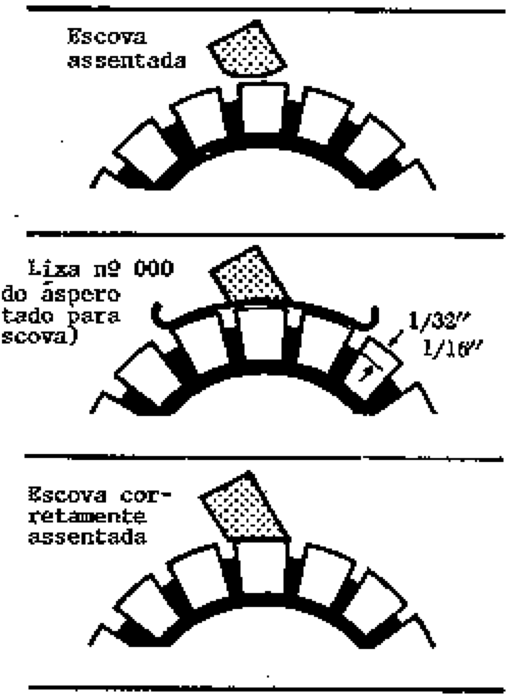

Escova assentada
Lixa nº 000 (lado áspero voltado para a escova)
1/32"
1/16"
Escova corretamente assentada

Figura 9-30 Assentamento de escovas com lixa de papel.

A balança é aplicada no ponto de contato entre o braço da mola e o topo da escova com esta instalada no guia. A escala é puxada para cima até que o braço suspenda ligeiramente a superfície da escova. Neste instante, deve ser lida a força sobre a balança.

Os rabichos flexíveis de baixa resistência são encontrados na maioria das escovas condutoras de corrente elevada, e suas ligações devem ser feitas seguramente, e inspecionadas em pequenos intervalos. Os rabichos flexíveis não devem alterar ou restringir o movimento livre das escovas.

A finalidade do rabicho flexível é conduzir corrente, deixando de submeter a mola da escova a correntes que alterariam a ação da mola por superaquecimento. Os rabichos flexíveis também eliminam qualquer faísca possível para o guia da escova, causado pelo movimento das escovas dentro do estojo, minimizando o desgaste lateral.

A poeira de carvão, resultante do lixamento da escova, deve ser completamente removida de todas as partes dos geradores depois da operação de lixamento. Essa poeira do carvão tem sido a causa de sérios danos no gerador.

A operação por tempo prolongado resulta freqüentemente no isolamento de mica, entre as barras do coletor, ficar acima da superfície. Essa condição é chamada de "mica-alta", e interfere com o contato das escovas com o coletor.

Toda vez que esta condição ocorrer, ou se o coletor tiver sido trabalhado num torno mecânico, o isolamento da mica é cortado cuidadosamente numa profundidade igual a sua largura, ou aproximadamente de 0,020 de polegadas.

Cada escova deve ter um comprimento especificado para operar adequadamente. Se a escova for muito curta, o contrato entre ela e o coletor será falho, podendo também reduzir a força da mola que mantém a escova no lugar.

A maioria dos fabricantes especifica o desgaste permitido a partir do comprimento de uma escova nova. Quando o desgaste da escova for o mínimo permitido, ela deverá ser substituída.

Algumas escovas especiais de gerador não devem ser substituídas devido a um entalhe na sua face.

Esses entalhes são normais, e aparecerão nas escovas dos geradores CA e CC que são instalados em alguns modelos de gerador de aeronave.

Essas escovas têm dois núcleos feitos de material mais duro, com uma razão de expansão maior do que o do material usado na carcaça principal da escova.

Normalmente, a carcaça principal da escova está faceando o coletor. Entretanto, em certas temperaturas, os núcleos se estendem e se desgastam através de alguma película do coletor.

Operação do gerador

Se não houver saída no gerador, segue-se os procedimentos de pesquisa sistemática de pane para localizar o mau funcionamento.

O método seguinte é um exemplo. Embora este método seja aceito para diversos sistemas de gerador CC de 28 volts bimotor, ou de quatro motores, usando reguladores de voltagem com pilha de carvão, os procedimentos indicados pelo fabricante devem ser seguidos em todos os casos.

Se o gerador não estiver produzindo voltagem, retira-se o regulador de voltagem e, com o motor operando em aproximadamente 1.800

RPM, deve haver um curto-circuito nos terminais "A" e "B", na base de montagem do regulador, como mostrado no diagrama da figura 9-31. Se este teste mostrar voltagem excessiva, o gerador não estará defeituoso, mas a pane deverá ser no regulador de voltagem.

Se o teste deixar de produzir voltagem, o campo do gerador poderá ter perdido magnetismo residual.

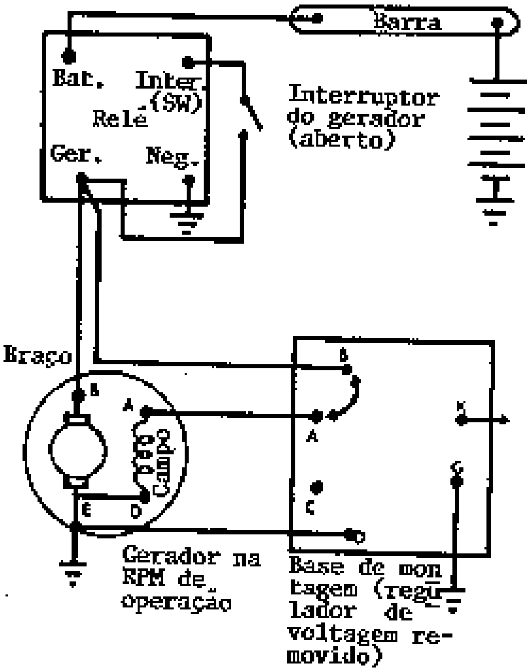

Barra
Bat.
Inter. (SW)
Relé
Ger.
Neg.
Interruptor do gerador (aberto)
Bateria
Braço
B
A
Campo
E
D
Gerador na RPM de operação
B
A
K
C
G
D
Base de montagem (regulador de voltagem removido)

Figura 9-31 Verificação do gerador colocando-se em curto os terminais "A" e "B".

Para recuperar o magnetismo residual, energiza-se o campo do gerador removendo o regulador, e ligando momentaneamente o terminal "A" da base do regulador de voltagem à bateria em uma caixa de junção ou em uma barra da bateria, como indicado pela linha pontilhada no diagrama da figura 9-32, enquanto o motor operar em RPM de cruzeiro. Se ainda não houver voltagem, verifica-se as ligações quanto a curtos e massa.

Se o gerador estiver instalado de modo que as escovas e o coletor possam ser inspecionados, verifica-se como descrito nos procedimentos apropriados do fabricante.

Se necessário, as escovas são substituídas, e o coletor limpo.

Se o gerador estiver instalado, de modo que ele não possa ser reparado na aeronave, ele é retirado, e a inspeção é feita.

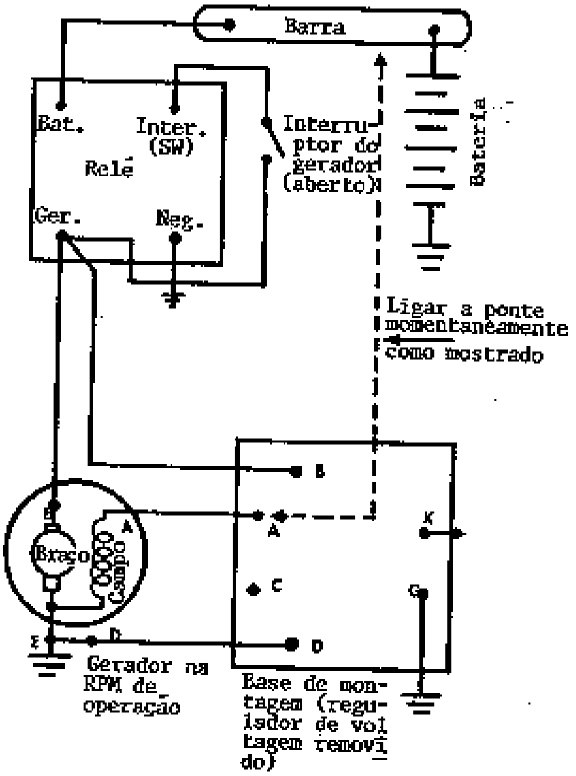

Barra
Bat.
Inter. (SW)
Relé
Ger.
Neg.
Interruptor do gerador (aberto)
Bateria
Ligar a ponte momentaneamente como mostrado
B
A
K
C
G
D
Braço
Campo
A
E
D
Gerador na RPM de operação
Base de montagem (regulador de voltagem removido)

Figura 9-32 Método para recuperar o magnetismo residual do campo do gerador.

OPERAÇÃO DO REGULADOR DE VOLTAGEM

Para inspecionar o regulador de voltagem, é preciso retirá-lo da base de montagem e limpar todos os terminais e superfícies de contato. A base ou o alojamento deve ser examinado quanto a rachaduras.

Verifica-se todas as ligações quanto à segurança. O regulador de voltagem é um instrumento de precisão, e não pode suportar um tratamento descuidado.

Para ajustar o regulador de voltagem é necessário um voltímetro portátil de precisão. Este também deve ser manejado cuidadosamente, visto que ele não mantém precisão sob condições de manuseio indevido, vibração ou choque.

Os procedimentos detalhados para ajustar os reguladores de voltagem são dados nas instruções fornecidas pelo fabricante.

Os procedimentos seguintes são orientações para ajustar o regulador de voltagem de pilha de carvão em um sistema elétrico multimotor de 28 volts CC:

1- Ligar e aquecer todos os motores que tenham geradores instalados.

2- Colocar todos os interruptores do gerador na posição OFF.

3- Ligar um voltímetro de precisão do terminal "B" de um regulador de voltagem a uma boa massa.

4- Aumentar a velocidade do motor do gerador que está sendo verificado, para a RPM de cruzeiro normal. Os outros motores permanecem em marcha-lenta.

5- Ajustar o regulador até que o voltímetro mostre exatamente 28 volts (a localização do botão de ajuste no regulador de voltagem de pilha de carvão é mostrada na figura 9-33.

6- Repetir este procedimento para ajustar todos os reguladores de voltagem.

7- Aumentar a velocidade de todos os motores para a RPM de cruzeiro normal.

8- Fechar todos os interruptores dos geradores.

9- Aplicar uma carga equivalente a metade do valor da carga total de um gerador, quando verificar um sistema de dois geradores, ou uma carga comparável à carga total de um gerador, quando verificar um sistema que tenha mais de dois geradores.

10-Observar os amperímetros ou medidores de carga. A diferença entre a corrente mais alta e a mais baixa do gerador não deve exceder o valor fixado nas instruções de manutenção do fabricante.

11-Se os geradores não estiverem distribuindo a carga igualmente (não paralelo), primeiro reduzir a velocidade do gerador mais alto, e depois aumentar levemente a voltagem do gerador mais baixo, ajustando os reguladores de voltagem correspondentes. Quando os geradores forem ajustados para distribuirem a carga igualmente, eles estarão em "paralelo"

12-Após todos os ajustes terem sido feitos, faça-se uma inspeção final da barra de voltagem para massa com um voltímetro de precisão. O voltímetro deverá indicar 28 volts (± 0,25 volt na maioria dos sistemas de 28 volts). Se a barra de voltagem não estiver dentro dos limites, reajusta-se todos os reostatos reguladores de voltagem, que devem ser rechecados.

Quando se inspeciona o interruptor relé do gerador, ele é examinado quanto à limpeza e segurança da montagem.

Todas as ligações elétricas devem estar firmemente apertadas. Verifica-se se há contatos queimados ou picotados

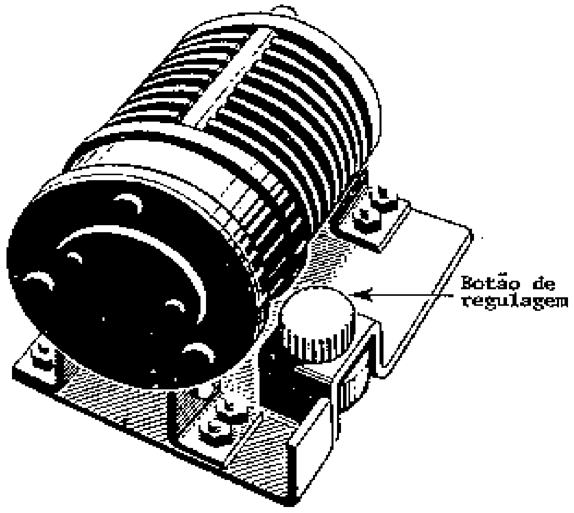


Figura 9-33 Botão de regulagem no regulador de voltagem à pilha de carvão.

Nunca se deve fechar o relé manualmente, pressionando os contatos; isto pode danificá-lo seriamente, ou provocar ferimento.

Nunca se ajusta o relé do tipo diferencial, pois ele fecha-se quando a voltagem do gerador excede de um valor especificado à voltagem do sistema, e não é ajustado para fechar em qualquer voltagem; entretanto, verifica-se o fechamento adequado pela observação da indicação do amperímetro com o interruptor de controle do gerador ligado enquanto o motor estiver funcionando.

Às vezes é necessário colocar uma pequena carga no sistema antes que o amperímetro mostre uma indicação positiva, quando o motor estiver operando na velocidade de cruzeiro. Se o amperímetro não indicar, provavelmente o relé estará defeituoso; portanto, retira-se o relé, substituindo-o por um relé novo. O relé de corrente reversa deve possuir um valor de abertura correto. Se o relé falhar e não fechar quando a velocidade do motor aumentar, ou deixar de desligar o gerador da barra, ele está defeituoso.

Pesquisa de pane

Se o sistema de um gerador estiver defeituoso, as causas prováveis serão: (1) o gerador pode estar em pane (queimado, danificado mecanicamente, etc.), ou (2) parte da fiação do circuito para ou procedente do gerador está com defeito.

O teste de continuidade se refere à verificação quanto à existência de um sistema elétrico completo entre dois pontos. Os três tipos de medidores de continuidade são:

1- O medidor portátil de pilha, equipado com uma cigarra ou uma lâmpada de 3 volts, para indicar que o circuito está completo, é usado para testar os circuitos com a força principal desligada.

2- Um bulbo de lâmpada comum (tipo 24 volts), com um fio do contato central da lâmpada, e um fio neutro ligado ao suporte, que pode ser usado para testar os circuitos com a força do circuito principal ligada.

3- Um voltímetro de precisão é usado para testar os circuitos com a força do circuito principal ligada, colocando-se o fio positivo no ponto do circuito positivo, e o fio negativo em qualquer massa conveniente.

Os testes devem ser feitos em cada terminal do circuito. Entre o último ponto onde a voltagem é indicada, e o ponto inicial onde a voltagem é nula, existe um circuito aberto ou uma queda de voltagem causada por operação de unidade ou um curto com a massa.

Se a mesma leitura de voltagem for obtida no terminal negativo de uma unidade, como foi obtida no terminal positivo, isto é indicação de massa aberta.

Se uma pequena voltagem for obtida no terminal negativo de uma unidade, como foi obtida no terminal positivo, isto é indicação de massa aberta.

Se uma pequena voltagem for obtida no terminal negativo da unidade, uma resistência alta estará indicada entre a unidade e a massa.

O item seguinte, concernente à pesquisa de pane, apresenta os defeitos mais comumente encontrados, além de uma lista de causas prováveis para isolá-los e uma ação corretiva a ser tomada.

Esta listagem é um guia geral para pesquisa de pane de um sistema de gerador CC de dois motores, que utilizam reguladores de voltagem à pilha de carvão.

PANE	PROCEDIMENTO DE ISOLAÇÃO	CORREÇÃO
Nenhuma indicação de voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar se o interruptor do gerador, ou o de campo, está com defeito.	Substituir o interruptor do gerador ou o do campo.
	Determinar se a polaridade do gerador está invertida.	Energizar momentaneamente o campo do gerador.
	Verificar se há fios abertos, em curto entre si ou com a massa.	Substituir a fiação com defeito.
	Verificar se o gerador está com defeito.	Substituir o gerador.
Baixa voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar o ajuste do regulador de voltagem.	Ajustar o regulador de voltagem.
	Verificar se o regulador de voltagem está com defeito.	Substituir o regulador de voltagem.
	Verificar se o gerador está com defeito.	Substituir o gerador.
Gerador desliga automaticamente.	Verificar se o relé de corte de corrente reversa está com defeito.	Substituir o relé de corte de corrente reversa.
	Verificar se o relé de sobrevoltagem está com defeito.	Substituir o relé de sobrevoltagem.
	Verificar se o relé de controle de campo está com defeito.	Substituir o relé de controle de campo.
	Verificar se o regulador de voltagem está com defeito.	Substituir o regulador de voltagem.

	Verificar se a fiação está defeituosa.	Substituir a fiação com defeito.
Voltagem instável em qualquer dos geradores.	Verificar se a fiação está com defeito. Verificar se o gerador está com defeito. Verificar o desgaste dos rolamentos do gerador.	Substituir a fiação com defeito. Substituir o gerador. Substituir o gerador.
Não há indicação de carga em qualquer dos geradores. A voltagem é normal.	Inspecionar o relé de corte de corrente reversa. Inspecionar se o interruptor do gerador está com defeito. Verificar se a fiação está com defeito.	Substituir o relé de corte de corrente reversa. Substituir o interruptor do gerador. Substituir a fiação defeituosa.
Baixa voltagem da Barra CC.	Verificar se o ajuste do regulador de voltagem está correto. Verificar se os relés de corrente reversa estão com defeito.	Ajustar o regulador de voltagem. Substituir os relés de corte de corrente reversa.
Alta voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar o ajuste incorreto do regulador de voltagem. Verificar se o regulador de voltagem está com defeito. Determinar se o fio “A” do campo do gerador está em curto com o fio positivo.	Ajustar o regulador de voltagem. Substituir o regulador de voltagem. Substituir a fiação em curto, ou reparar as ligações.
O gerador não fornece mais do que 2 volts aproximadamente.	Verificar o regulador de voltagem ou a base. Fazer uma medição com voltímetro de precisão entre o terminal “A” e a massa. Não havendo leitura de voltagem, isso indica que há pane no regulador ou na base. Uma leitura de quase 2 volts indica que o regulador e a base estão perfeitos. Verificar se o gerador está com defeito. Uma leitura baixa no ohmímetro indica que a corrente está boa e a pane é no interior do gerador.	Verificar os contatos do regulador onde eles se apoiam sobre a barra de contato de prata. Qualquer sinal de queimadura neste ponto justifica a troca do regulador. Desligar a tomada do gerador. Colocar um fio do ohmímetro no terminal “A” e o outro no terminal “E”. Uma leitura alta indica que o campo do gerador está aberto. Substituir o gerador
Leitura de voltagem excessiva do voltímetro do painel de instrumentos.	Verificar se há curto entre os terminais “A” e “B” do regulador de voltagem. Verificar o controle do regulador de voltagem.	Se estiver em curto, troque o regulador de voltagem. Substituir o regulador de voltagem.
Leitura de zero volt no voltímetro do painel de instrumentos.	Verificar se o circuito do voltímetro está defeituoso.	Colocar o fio positivo do voltímetro de teste no terminal positivo do voltímetro do painel de instrumentos, e o fio negativo à massa. A leitura deve ser de 27,5 volts. Se não for, o fio que liga o regulador ao instrumento está defeituoso. Deve-se substituir, ou consertar o fio. Colocar o fio positivo do voltímetro no terminal negativo do voltíme-

		tro do painel de instrumentos, e o fio negativo à massa. Se a leitura do voltímetro for zero, o voltímetro do painel de instrumentos está defeituoso. Substituir o voltímetro.
	Verificar se o fio "B" ou "E" estão partidos. Retirar o regulador de voltagem e fazer a leitura do ohmímetro entre o contato "B" da base e a massa do regulador. Uma leitura baixa indica que o circuito é satisfatório. Uma leitura alta indica que a pane é uma alta resistência.	A alta resistência é, provavelmente, causada por óleo, poeira, ou queimadura na tomada do conector ou coletor. O gerador deve ser substituído.
	Verificar a perda do magnetismo residual.	Colocar o interruptor "FLASHER" na posição ON, momentaneamente. Não o segure. NOTA: Se o interruptor for mantido na posição ON, em vez de colocado momentaneamente, as bobinas do campo do gerador serão danificadas.
A voltagem não é fornecida adequadamente. Após o campo ser energizado. (Operação anterior).	Verificar se o campo está aberto. Desligar o conector do gerador e fazer a leitura do ohmímetro entre os terminais "A" e "E" dos conectores do gerador. Uma leitura alta indica que o campo está aberto.	Verificar e reparar a fiação ou conectores.
	Verificar se o campo está em curto com a massa. Fazer a leitura com um ohmímetro entre o terminal "A" e a carcaça do gerador. Uma leitura baixa indica que o campo está em curto.	O isolamento no enrolamento do campo está imperfeito. Substituir o gerador.
	Verificar se o induzido está aberto. Retirar a tampa do gerador e inspecionar o coletor. Se a solda estiver derretida e espalhada, então o induzido está aberto (provocado pelo superaquecimento do gerador).	Substituir o gerador.

ALTERNADORES

Um gerador elétrico é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica através da indução eletromagnética.

Um gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA e, embora seja uma combinação das palavras "alternada" e "gerador", a palavra alternador possui ampla utilização.

Em algumas áreas, a palavra "alternador" é aplicada somente para geradores CA pequenos. Aqui são usados os dois termos como sinônimos para diferenciar os geradores CA e CC. A principal diferença entre um alternador e um gerador CC é o método usado na ligação com os circuitos externos; isto é, o alternador é ligado ao circuito externo por anéis coletores, ao passo que o gerador CC é ligado por segmentos coletores.

Tipos de alternadores

Os alternadores são classificados de diversas maneiras para diferenciar adequadamente os seus diversos tipos. Um meio de classificação é pelo tipo de sistema de excitação utilizado.

Nos alternadores usados em aeronaves a excitação pode ser efetuada por um dos seguintes métodos:

1- *Um gerador CC de acoplamento direto*. Este sistema consiste em um gerador CC fixado no mesmo eixo do gerador CA. Uma variação deste sistema é um tipo de alternador que usa CC da bateria para excitação, sendo o alternador auto-excitado posteriormente.

2- *Pela transformação e retificação do sistema CA*. Este método depende do magnetismo residual para a formação de voltagem CA inicial, após o qual o suprimento do campo é feito com voltagem retificada do gerador CA.

3- *Tipo integrado sem escova*. Esta combinação consiste em um gerador CC no mesmo eixo com um gerador CA. O circuito de excitação é completado por retificadores de silício, em vez de um coletor e escovas. Os retificadores estão montados sobre o eixo do gerador, e a sua saída é alimentada diretamente ao campo rotativo principal do gerador CA.

Um outro método de classificação é pelo número de fases da voltagem de saída.

Os geradores CA podem ser: monofásicos, bifásicos, trifásicos ou ainda de seis ou mais fases. Nos sistemas elétricos de aeronave, o alternador trifásico é o mais usado. Ainda um outro processo de classificação é pelo tipo de estator e rotor. Temos então dois tipos de alternadores utilizados: o tipo induzido rotativo e o tipo campo rotativo.

O alternador do tipo induzido rotativo é semelhante ao gerador CC, onde o induzido gira através de um campo magnético estacionário. Este alternador é encontrado somente nos alternadores de baixa potência e não é usado normalmente.

No gerador CC, a FEM gerada nos enrolamentos do induzido é convertida em uma voltagem unidirecional CC por meio de segmentos coletores e escovas. No alternador do tipo induzido rotativo, a voltagem CA gerada é aplicada sem modificação à carga, por meio de anéis coletores e escovas.

O alternador do tipo campo rotativo (figura 9-34) possui um enrolamento de induzido estacionário (estator) e um enrolamento de campo rotativo (rotor).

A vantagem de possuir um enrolamento de induzido estacionário é que o induzido pode ser ligado diretamente à carga sem contatos móveis no circuito de carga. Um induzido rotativo necessita de anéis coletores e escovas para conduzir a corrente da carga do induzido para o circuito externo. Os anéis coletores possuem uma duração menor, e o centelhamento é um perigo contínuo; portanto, os alternadores de alta voltagem são geralmente do tipo induzido estacionário e campo rotativo.

A voltagem e a corrente fornecidas ao campo rotativo são relativamente pequenas, e anéis coletores e escovas são adequados para este circuito.

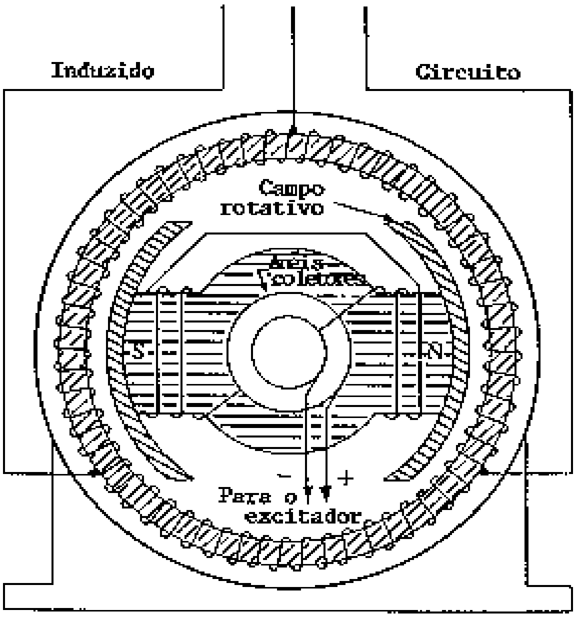


Figura 9-34 Alternador com induzido estacionário e campo rotativo.

A ligação direta com o circuito do induzido torna possível o uso de condutores de grande seção transversal, isolados devidamente para alta voltagem

Visto que o alternador de campo rotativo é usado quase universalmente nos sistemas de aeronave, este tipo será explicado com detalhe como alternador monofásico, bifásico e trifásico.

Alternador monofásico

Como a FEM induzida em um gerador é alternada, o mesmo tipo de enrolamento pode ser usado tanto em um alternador como em um gerador CC. Este tipo de alternador é conhecido como alternador monofásico, mas visto que a força fornecida por um circuito monofásico é pulsante, este tipo é inconveniente em muitas aplicações.

Um alternador monofásico possui um estator constituído de vários enrolamentos em série, formando um circuito único no qual é gerada uma voltagem de saída. A figura 9-35 mostra um diagrama esquemático de um alternador monofásico com quatro pólos.

O estator possui quatro peças polares espaçadas igualmente ao redor da carcaça do estator. O rotor possui quatro pólos, adjacentes de polaridade oposta. À medida que o rotor gira, as voltagens CA são induzidas nos enrolamentos do estator.

Como um pólo do rotor está na mesma posição relativa a um enrolamento do estator, como em qualquer outro pólo do rotor, todos os grupos polares do estator são cortados por números iguais de linhas de força magnéticas a qualquer tempo. Como consequência, as voltagens induzidas em todos os enrolamentos possuem a mesma amplitude, ou valor, a qualquer momento.

Os quatro enrolamentos do estator estão ligados entre si de modo que as voltagens CA estejam em fase, ou “adicionadas em série”. Suponha-se que o pólo 1 do rotor, um pólo sul, induza uma voltagem no sentido indicado pela seta no enrolamento do estator 1.

Sabendo-se que o rotor 2 é um pólo norte, ele induzirá uma voltagem no sentido oposto da bobina do estator 2, em relação à bobina do estator 1.

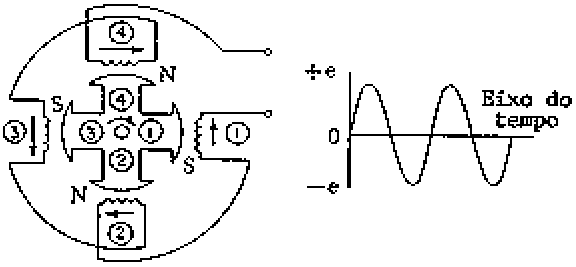


Figura 9-35 Alternador monofásico.

Para que as duas voltagens estejam somadas em série, as duas bobinas devem ser ligadas, como mostra o diagrama.

Aplicando-se o mesmo raciocínio, a voltagem induzida na bobina do estator 3 (rotação horária do campo) tem o mesmo sentido (anti-horário) que a voltagem induzida na bobina do estator 1.

Da mesma forma, o sentido da voltagem induzida na bobina do estator nº 4 é oposto ao sentido da voltagem induzida na bobina 1.

Todos os quatro grupos de bobina de estator são ligados em série, de modo que as voltagens induzidas em cada enrolamento sejam adicionadas para fornecer uma voltagem total, que é quatro vezes a voltagem em qualquer enrolamento.

Alternador bifásico

Os alternadores bifásicos possuem dois ou mais enrolamentos monofásicos, espaçados simetricamente ao redor do estator. Num alternador bifásico existem dois enrolamentos monofásicos espaçados fisicamente, de tal modo, que a voltagem CA induzida em um deles está defasada de 90º em relação à voltagem induzida no outro.

Os enrolamentos estão separados eletricamente um do outro. Quando um enrolamento está sendo cortado por um fluxo máximo, o outro não está sendo cortado por nenhum fluxo. Esta condição estabelece uma relação de 90º entre as duas fases.

Alternador trifásico

Um circuito trifásico ou polifásico é empregado na maioria dos alternadores de aeronave, ao invés de um alternador monofásico ou bifásico.

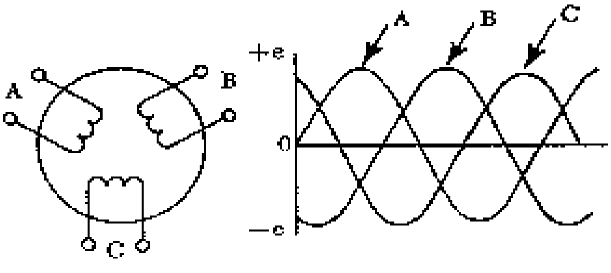


Figura 9-36 Diagrama esquemático simplificado de um alternador trifásico com a forma de onda das voltagens.

Um diagrama esquemático simplificado, mostrando cada uma das três fases, é ilustrado na figura 9-36. O rotor é omitido por simplicidade. As formas de onda das voltagens são mostradas à direita da figura.

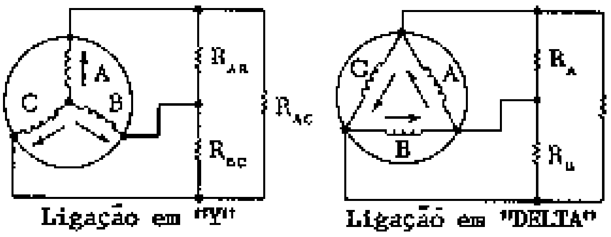
As três voltagens estão espaçadas de 120º, e são similares às voltagens que seriam geradas por três alternadores monofásicos, cujas voltagens estão defasadas de 120º. As três fases são independentes uma da outra.

Em vez do alternador trifásico possuir 6 fios, um dos fios de cada fase pode ser ligado para formar uma junção comum. O estator é então chamado de ligação em "Y" ou estrela. O fio comum pode ser procedente ou não do alternador. Se ele sair do alternador, será chamado de fio neutro.

O esquema simplificado ("A" da figura 9-37) mostra um estator ligado em "Y", sem um fio comum saindo do alternador. Cada carga é ligada através de duas fases em série.

Sendo assim, R_{AB} é ligada através das fases "A" e "B" em série: R_{AC} é ligada através das fases "A" e "C" em série e R_B é ligado através das fases "B" e "C" em série. Portanto, a voltagem através de cada carga é maior do que a voltagem através de uma fase única.

A voltagem total, ou voltagem de linha, através de qualquer das duas fases é a soma vetorial das voltagens de fase individual. Em condições equilibradas, a voltagem de linha é 1,73 vezes a voltagem de fase. O alternador trifásico possui três enrolamentos monofásicos espaçados, de modo que a voltagem induzida em cada enrolamento esteja 120º fora de fase com as voltagens dois enrolamentos. Um diagrama esquemático de um estator trifásico, mostrando todas as bobinas, torna-se complexo e difícil para constatar o que está acontecendo realmente.



Ligação em "Y"

Ligação em "DELTA"

A

B

Figura 9-37 Alternadores ligados em "Y" e em "DELTA".

Visto que existe somente um caminho de corrente no fio da linha, e à fase na qual ele está ligado, a corrente de linha é igual à corrente de fase.

Um estator trifásico pode ser ligado também de modo que as fases sejam ligadas de extremidades a extremidades, como mostrado em "B" da figura 9-37. Esta ligação é chamada de "delta".

Numa ligação "delta", as voltagens são iguais às voltagens de fase; as correntes da linha são iguais à soma vetorial das correntes de fase; e a corrente da linha é igual a 1,73 vezes a corrente de fase, quando as cargas estão equilibradas.

Para cargas iguais (igual Kw de saída), a ligação "delta" fornece corrente de linha maior em um valor de voltagem de linha igual à voltagem de fase; e a ligação "Y" fornece uma voltagem de linha maior em um valor de corrente de linha igual à corrente de fase.

Unidade alternadora-retificadora

Um tipo de alternador usado no sistema elétrico de muitos aviões com peso inferior a 12.500 libras é mostrado na figura 9-38. Este tipo de fonte de alimentação às vezes é chamado de gerador CC, visto que é usado nos sistemas CC. Embora sua saída seja CC, ela é uma unidade alternadora-retificadora.

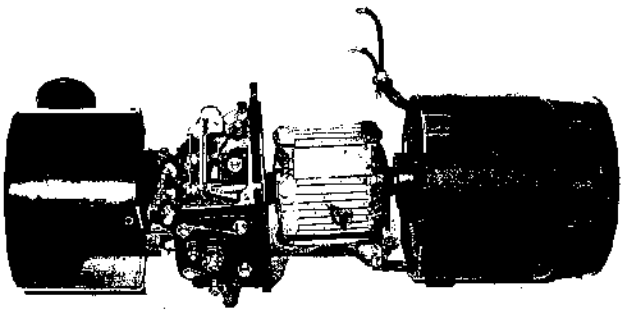


Figura 9-38 Vista explodida de uma unidade alternadora-retificadora.

Este tipo de alternador-retificador é uma unidade auto-excitada, mas não contém ímã permanente. A excitação para a partida é obtida da bateria e, imediatamente após a partida, a unidade é auto-excitada. O ar de refrigeração do alternador é conduzido para a unidade por uma tomada de injeção de ar, na tampa de entrada de ar (figura 9-38).

O alternador está acoplado diretamente ao motor do avião, por meio de um acoplamento de acionamento flexível. A voltagem de saída CC pode ser regulada por um regulador de voltagem, do tipo pilha de carvão. A saída da seção alternadora da unidade é uma corrente alternada trifásica, proveniente de um sistema trifásico, de ligação delta, incorporando um retificador trifásico de onda completa (figura 9-39).

Esta unidade opera com uma velocidade média de 2.100 a 9.000 RPM com voltagem de saída CC de 26 a 29 volts e 125 ampéres

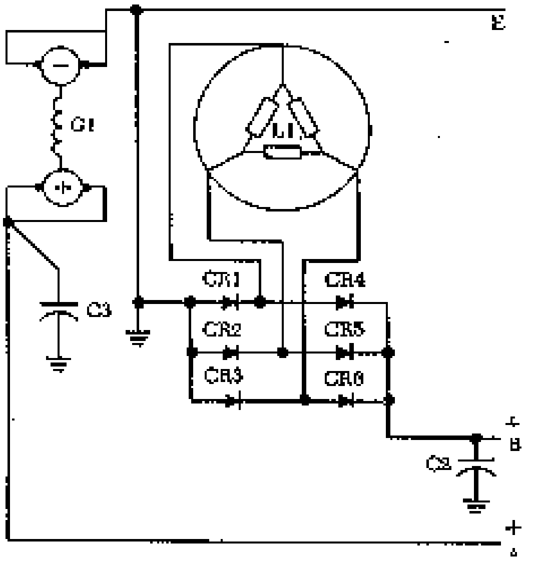


Figura 9-39 Diagrama de fiação de uma unidade alternadora-retificadora.

ALTERNADORES SEM ESCOVA

Introdução

A maioria das aeronaves modernas usa um tipo de alternador sem escova. Ele é mais eficiente porque não possui escovas para desgastar ou centelhar em altitudes elevadas.

A seguir, descreveremos alguns tipos de geradores sem escova utilizados em alguns aviões em uso no Brasil.

ALTERNADORES DE AVIÕES BOEING 737, 727 E 707

Cada alternador fornece 30 ou 40 KVA com fator de potência de 0,95 de adiantamento de fase para 0,75 de retardamento de fase, voltagem de 120 a 208 volts, corrente alternada de 380 a 420 Hz, com rotação de 5.700 a 6.300 RPM. Não há anéis coletores, comutadores nem escovas, quer no alternador ou no excitador.

Um campo eletromagnético rotativo produz a voltagem de saída, a ser induzida no induzido estacionário do alternador. Esse campo rotativo é excitado por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por retificadores localizados no eixo do rotor do alternador. Os alternadores acionados pelos motores são acoplados à unidade de transmissão à velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) na parte inferior dos motores.

A refrigeração do alternador é feita por ar sangrado do duto de descarga da ventoinha (FAN) do motor. Durante ambas as operações, no solo e em vôo, o ar que refrigera o alternador é conduzido para fora do avião através da saída de ar do motor.

O alternador completo é constituído por um circuito excitador de CA, um retificador rotativo e o alternador propriamente dito (figura 9-40).

O excitador de CA consiste em um campo CC de seis pólos estacionários e um induzido rotativo. O funcionamento dessas unidades é o seguinte:

O campo excitador é alimentado com CC proveniente do regulador de voltagem. Isto cria uma voltagem trifásica para ser aplicada no induzido do excitador. A corrente alternada é retificada para alimentar o campo rotativo do alternador.

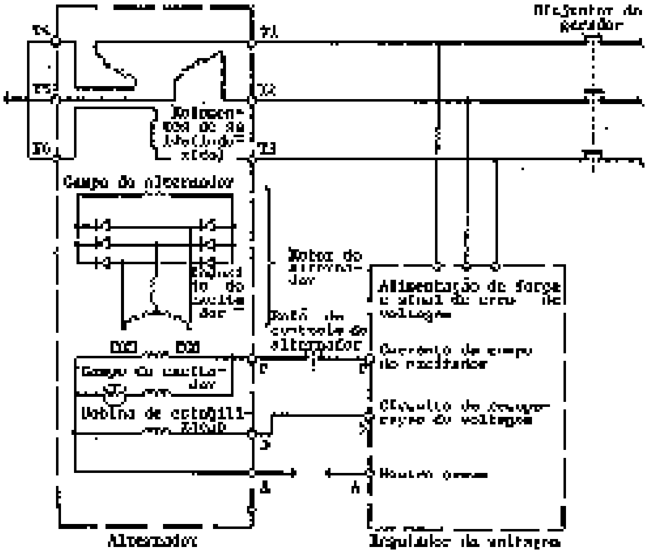


Figura 9-40 Circuito esquemático do alternador sem escova.

O estator do excitador tem duas bobinas: uma bobina de campo em paralelo, ligada entre os terminais “A” e “F”, e uma bobina de estabilização ligada entre os terminais “A” e “S”. A bobina de estabilização não é usada com o regulador de voltagem do tipo transistorizado.

A corrente fornecida pelo regulador de voltagem à bobina de campo em paralelo, proporciona excitação para o excitador do alternador. Desse modo, a corrente controla a saída do excitador do alternador. O enrolamento da bobina de campo em paralelo consiste em dois fios trançados, enrolados em seis bobinas em série, montadas sobre os seis pólos principais.

As bobinas têm suas polaridades alternadamente invertidas sobre os seis pólos, e ambas as extremidades dos fios isolados são ligadas ao terminal “F”. Numa das extremidades, um dos fios é ligado diretamente ao terminal “A”, enquanto o outro é ligado ao terminal “A” através de um termistor.

O termistor, montado no conjunto do excitador, tem característica inversa de resistência-temperatura.

Resistência elevada, com temperatura ambiente baixa ou normal, bloqueia o fluxo de corrente em um dos fios trançados (paralelo), fazendo com que a resistência do campo em paralelo seja aproximadamente igual à do fio remanescente.

Com temperatura elevada, resultante da operação normal, a resistência individual de cada fio aumenta, aproximadamente o dobro. Nesse mesmo tempo, a resistência do termistor cai a um valor desprezível, permitindo fluxo de corrente aproximadamente igual em cada fio.

A resistência combinada dos dois fios trançados (paralelo), em alta temperatura, é aproximadamente igual à de um único fio em baixa temperatura, proporcionando desse modo compensação de temperatura.

Seis ímãs permanentes estão montados na estrutura do excitador, entre os seis pólos do estator.

Esses ímãs têm suas polaridades alternadamente invertidas, produzindo aumento de voltagem residual, que elimina a necessidade da variação de campo ou dispositivo especial para excitação na partida.

Há uma bobina de estabilização enrolada diretamente sobre a bobina de excitação de campo. Entretanto, a bobina de estabilização só é usada nas aeronaves que usam regulador de voltagem do tipo amplificador magnético.

Nas aeronaves que usam regulador de voltagem transistorizado, a estabilização é feita pela realimentação no próprio regulador, que sente e amortece quaisquer flutuações da voltagem de saída, ou ainda, devido à rápida carga no momento de ligar, operação em paralelo ou falhas.

Combinação dos sistemas elétricos CA e CC

Muitas aeronaves, principalmente aquelas que pesam mais de 12.500 libras, utilizam tanto o sistema elétrico CA como o CC. Frequentemente o sistema CC é o sistema elétrico básico, e consiste em geradores CC em paralelo com uma saída de, por exemplo, 300 ampères cada.

O sistema CA, em tal aeronave, pode ser constituído tanto de um sistema de frequência fixa como um de frequência variável. O sistema de frequência fixa consiste em 3 ou 4 inversores e controles associados, componentes de proteção e de indicação para fornecer uma energia CA monofásica para o equipamento CA sensível à frequência.

O sistema de frequência variável pode consistir em dois ou mais alternadores acionados pelo motor, com componentes associados de controle, proteção e indicação para fornecer energia trifásica para tais finalidades como: aquecimento resistivo nas hélices, dutos do motor e pára-brisas.

A combinação de tais sistemas elétricos CA e CC, normalmente inclui uma fonte auxiliar de energia CC, como reserva do sistema principal. Este gerador é acionado freqüentemente por uma unidade, independente de força movida à gasolina ou turbina.

Classificação dos Alternadores

A corrente máxima que pode ser fornecida por um alternador depende da dissipação máxima do calor (I_2 R, queda de potência), que pode ser mantida no induzido, e a dissipação máxima do calor que pode ser mantida no campo.

A corrente do induzido do alternador varia com a carga. Esta ação é similar a dos geradores CC.

Nos geradores CA, entretanto, cargas que atrasam o fator de potência tendem a desmagnetizar o campo do alternador, e a voltagem de saída é mantida somente pelo aumento da corrente do campo CC. Por esta razão, os geradores de corrente alternada são geralmente classificados de acordo com o KVA, fator de potência, fases, voltagem e frequência.

Um gerador, por exemplo, pode ser classificado em 40 KVA, 208 volts, 400 ciclos, trifásico, e com um fator de potência de 75%. O KVA indica a potência aparente.

Esta é a saída em KVA, ou a relação entre a corrente e a voltagem, na qual o gerador deve operar.

O fator de potência é a expressão entre a potência aparente (volt-ampere) e a potência real ou efetiva (WATTS). O número de fases é o número de voltagens independentes geradas. Os geradores trifásicos geram três voltagens espaçadas 120º.

Frequência do alternador

A frequência de voltagem do alternador depende da velocidade do rotor e do número de pólos. Quanto maior for a velocidade, mais alta será a frequência; quanto menor for a velocidade, mais baixa será a frequência. Quanto mais pólos tiver o rotor, mais alta será a frequência numa certa velocidade. Quando um rotor gira num certo ângulo, de modo que os dois pólos adjacentes do rotor (um pólo norte e um pólo sul) passem por um enrolamento, o valor da voltagem induzida naquele enrolamento variará dentro de um ciclo completo.

Numa certa frequência, quanto maior for o número de pares de pólos menor será a velocidade de rotação. Um alternador com dois pólos gira o dobro da velocidade de um alternador de 4 pólos, para a mesma frequência da voltagem gerada. A frequência do alternador em c.p.s. está relacionada com o número de pólos e a velocidade, o que é expresso pela equação:

$$F = \frac{P}{2} X \frac{N}{60} = \frac{PN}{120}$$

onde “P” é o número de pólos e “N” é a velocidade em RPM. Por exemplo, um alternador com dois pólos e 3600 RPM tem uma frequência de 2 x 3600/120 = 60 c.p.s.; um alternador de 4 pólos e 1800 RPM tem a mesma frequência; um alternador de 6 pólos e 500 RPM tem um frequência de 6 x 500÷120 = 25 c.p.s.; e um alternador de 12 pólos, 4000 RPM tem uma frequência de 12 x 4000÷120 = 400 c.p.s.

Regulagem de voltagem dos alternadores

O problema da regulagem de voltagem no sistema CA não difere, basicamente, do sistema CC. Em cada caso a função do sistema regulador é controlar a voltagem, manter o equilíbrio da corrente que circula em todo o sistema, e eliminar as variações repentinas na voltagem (antioscilante) quando uma carga for aplicada ao sistema. Entretanto, há uma importante diferença entre o sistema regulador de geradores CC e alternadores, operados numa configuração paralela.

A carga suportada por qualquer gerador CC em um sistema de 2 ou 4 geradores, depende da sua voltagem quando comparada com a voltagem da barra, enquanto que, a divisão da carga entre os alternadores depende dos ajustes de seus reguladores de velocidade, os quais são controlados pela frequência.

Quando os geradores CA são operados em paralelo, a frequência e a voltagem devem ser iguais. Enquanto uma força de sincronização é necessária para equalizar somente a voltagem entre os geradores CC, forças de sincronização são requeridas para equalizar tanto a voltagem como a velocidade (frequência) entre os geradores CA.

Comparando-se, as forças de sincronização nos geradores CA são maiores do que nos geradores CC.

Quando os geradores CA são de tamanho considerável, e estão operando em frequência e voltagens de saída diferentes, sérios danos podem resultar se eles forem ligados entre si através de uma barra comum.

Para impedir que isto aconteça, os geradores devem ser sincronizados tão próximos quanto possível antes de serem colocados em paralelo.

A voltagem de saída de um alternador é melhor controlada pela regulagem da voltagem de saída do excitador CC, que fornece corrente ao campo do rotor do alternador. Isto é realizado, como mostra a figura 9-41, por um regulador de pilha de carvão de um sistema de 28 volts ligado ao circuito de campo do excitador.

O regulador de pilha de carvão controla a corrente de campo do excitador e, assim, regula a voltagem de saída do excitador aplicada ao campo do alternador.

A única diferença entre o sistema CC e o sistema CA é que a bobina de voltagem recebe sua voltagem da linha do alternador ao invés do gerador CC.

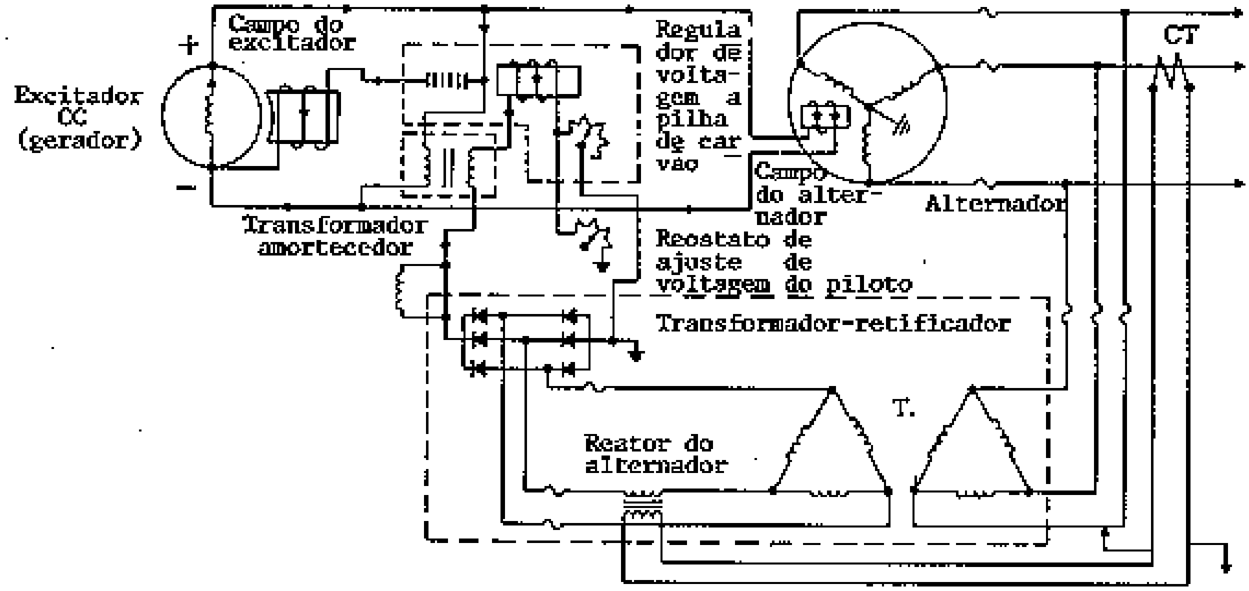

Campo do excitador
+
Excitador CC (gerador)
−
Regulador de voltagem a pilha de carvão
CT
Campo do alternador
Alternador
Transformador amortecedor
Reostato de ajuste de voltagem do piloto
Transformador-retificador
T.
Reator do alternador

Figura 9-41 Regulador à pilha de carvão para alternador.

Nesta ligação, um transformador trifásico redutor de voltagem, ligado à voltagem do alternador, fornece força para um retificador trifásico de onda completa. A saída CC de 28 volts do retificador é então aplicada à bobina de voltagem do regulador de pilha de carvão.

As variações na voltagem do alternador são transferidas por meio de uma unidade transformadora-retificadora para a linha de voltagem do regulador, e a pressão dos discos de carvão varia. Isto controla a corrente de campo do excitador e a voltagem de saída do excitador. O transformador antioscilante, ou amortecedor de voltagem do excitador é similar aos dos sistemas CC e realiza a mesma função.

O circuito de equalização do alternador é igual ao circuito do sistema CC no qual o regulador é afetado, quando a corrente circulante, fornecida por um dos alternadores, for diferente da fornecida pelos outros.

Reguladores transistorizados de alternador

Muitos sistemas de alternadores de aeronave usam um regulador de voltagem transistorizado para controlar a saída do alternador.

Antes de estudar este capítulo, será útil fazer uma revisão dos princípios dos transistores.

Um regulador de voltagem transistorizado (figura 9-42) consiste principalmente em transistores, diodos, resistores, capacitores e um termistor. Em operação, a corrente flui através de um diodo e um transistor para o campo do gerador.

Quando o nível de voltagem adequado for atingido, os componentes de regulagem fazem com que o transistor entre em corte para controlar a intensidade do campo do alternador.

A margem de operação do regulador é geralmente ajustável numa faixa estreita. O termistor fornece uma compensação de temperatura para o circuito. O regulador de voltagem transistorizado mostrado na figura 9-42 será mencionado após, na explicação sobre a operação desde tipo de regulador.

A saída do gerador CA é fornecida ao regulador de voltagem, onde é comparada com uma voltagem de referência, e a diferença é aplicada à seção amplificadora de controle do regulador. Se a saída for muito baixa, a intensidade do campo do gerador CA do excitador será aumentada pelo circuito do regulador. Se a saída for muito alta, a intensidade do campo será reduzida.

O suprimento de força para o circuito em ponte é CR1, o qual fornece retificação de onda completa da saída trifásica do transformador T1.

As voltagens de saída CC de CR1 são proporcionais à média das voltagens de fase. A energia é fornecida do terminal negativo da fonte de alimentação através do ponto “B”, R2, ponto “C”, diodo zener (CR5), ponto “D”, e para a ligação paralela V1 e R1.

A saída do ponto “C” da ponte está localizada entre o resistor R2 e o diodo zener. Na outra perna da ponte de referência, os resistores R9, R7 e o resistor compensador de temperatura RT1 são ligados em série com V1 e R1 através dos pontos “B”, “A” e “D”.

A saída desta perna da ponte é no cursor do potenciômetro R7.

Quando ocorrem variações na voltagem do gerador, por exemplo, se a voltagem diminuir, a voltagem através de R1 e V1 (uma vez que V2 começa a conduzir) permanecerá constante. A variação total da voltagem ocorrerá através do circuito em ponte.

Visto que a voltagem através do diodo zener permanece constante (uma vez que ele começa a conduzir), a mudança total da voltagem que ocorrer naquela perna da ponte será através do resistor R2.

Na outra perna da ponte, a variação da voltagem através dos resistores será proporcional aos valores de sua resistência.

Portanto, a variação da voltagem através de R2 será maior do que a variação da voltagem através de R9 para o cursor de R7. Se a voltagem de saída do gerador diminuir, o ponto “C” será negativo em relação ao cursor de R7.

Por outro lado, se a saída de voltagem aumentar, a polaridade na voltagem entre os dois pontos será invertida.

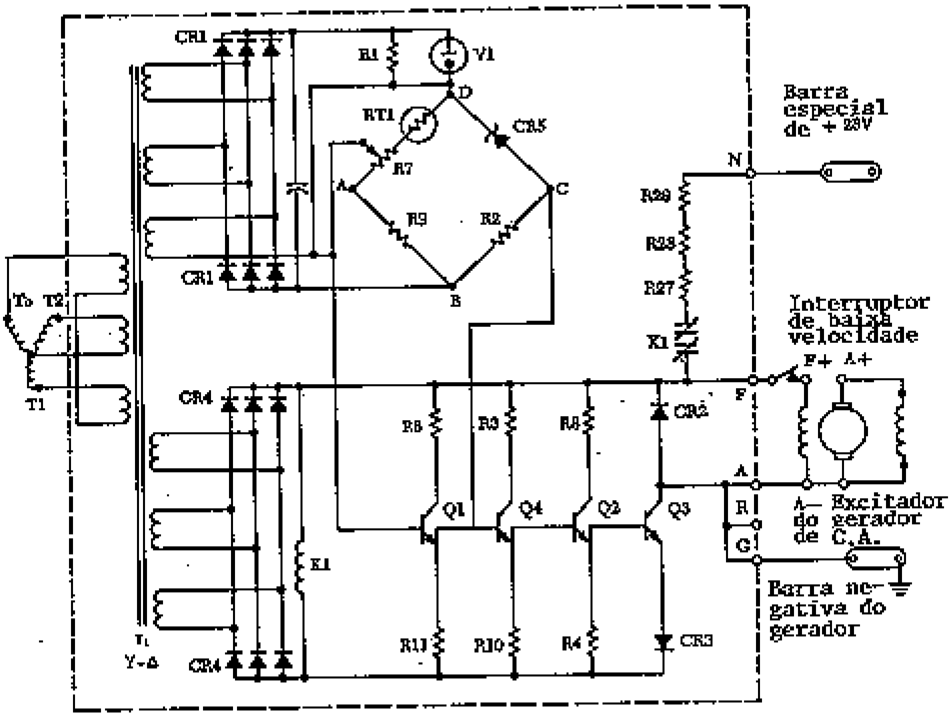


Figura 9-42 Regulador de voltagem transistorizado.

A saída da ponte, entre os pontos “C” e “A”, é ligada entre o emissor e a base do transistor Q1.

Com a voltagem de saída do gerador baixa, a voltagem da ponte será negativa para o emissor e positiva para a base. Isto é um sinal de polarização direta para o transistor, e a corrente do emissor para o coletor, portanto aumentará.

Com o aumento da corrente, a voltagem através do resistor do emissor R11 aumentará. Isto, por sua vez, aplicará um sinal positivo para a base do transistor Q4, aumentando sua corrente do emissor para o coletor, e aumentando a queda de voltagem através do resistor do emissor R10.

Isto oferecerá uma polarização positiva para a base de Q2, a qual aumentará sua corrente do emissor para o coletor, e aumentará a queda de voltagem através do resistor R4 de seu emissor. Este sinal positivo controlará o transistor de saída Q3. O sinal positivo na base de Q3 aumentará a corrente do emissor para o coletor.

O campo de controle do excitador está no circuito coletor. Aumentando a saída do gerador do excitador aumenta a intensidade do campo do gerador CA, o que aumentará a saída do gerador.

Para evitar a excitação do gerador quando a frequência estiver com um valor baixo, há um interruptor de baixa velocidade localizado próximo do terminal F+. Quando o gerador atingir uma frequência de operação adequada, o interruptor fechará, e permitirá que o gerador seja excitado.

Um outro item interessante é a linha contendo os resistores R27, R28 e R29, em série com os contatos de relé K1 normalmente fechados. A bobina de operação deste relé é encontrada na parte esquerda inferior do esquema.

O relé K1 é ligado em paralelo com a fonte de alimentação(CR4) para o amplificador transistorizado. Durante a partida do gerador, a energia elétrica é fornecida pela barra de 28 volts CC para o campo gerador do excitador, para a excitação inicial do campo.

Quando o campo do gerador excitador está energizado, o gerador CA começa a produzir voltagem e, à medida que ela aumenta, o relé K1 é energizado, abrindo o circuito de excitação do campo.

Regulador com amplificador magnético

Devido à ausência de partes móveis, este tipo de regulador é conhecido como regulador estático de voltagem.

Alguns reguladores estáticos usam válvulas eletrônicas ou transistores como amplificadores para atingir um alto ganho de energia, mas alguns reguladores estáticos utilizam um amplificador magnético.

O regulador de voltagem do tipo amplificador magnético é mais pesado, e maior do que o regulador de pilha de carvão da mesma capacidade.

Devido à ausência de partes móveis, os reguladores deste tipo não usam amortecedores de choque ou vibração.

Este tipo de regulador consiste em um circuito de voltagem de referência, um amplificador magnético de dois estágios e o transformador de força e retificador associados.

O circuito de referência consiste em um retificador trifásico, um potenciômetro (P1), e um circuito em ponte constituído de dois resistores fixos e duas válvulas reguladoras de tensão. Estas unidades são mostradas na figura 9-43.

O potenciômetro P1 é ajustado, de modo que, numa voltagem específica de barra, haja uma diferença de potencial zero entre os pontos “A” e “B” no circuito em ponte. Para qualquer outra voltagem de entrada, a queda de voltagem através das válvulas reguladoras faz com que haja um potencial entre os pontos “A”e “B”.

Por exemplo, se a voltagem do gerador for baixa, o fluxo de corrente através dos lados da ponte será reduzido.

A voltagem através de R4 será menor do que a voltagem fixa através de V1; consequentemente, o ponto “B” estará num potencial maior que o ponto “A”.

Isto fornece um sinal de erro usado como entrada para o primeiro estágio do amplificador magnético. Para altas voltagens de entrada a polaridade do sinal será invertida.

A segunda unidade no sistema é o amplificador magnético.

O circuito para o primeiro estágio de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético é mostrado na figura 9-46. Esta unidade consiste em dois reatores, transformadores de alimentação, retificadores e os seguintes enrolamentos: de referência, polarização CC, circuito de amortecimento, circuito da carga e circuito de realimentação.

O enrolamento de polarização CC fixa o nível de operação dos reatores, e é ajustado pelos potenciômetros P5 e P6.

O potenciômetro P6 regula a intensidade da voltagem de polarização, e o P5 regula a magnitude da corrente de polarização em cada reator, para compensar pequenas diferenças nos dois núcleos e retificadores associados.

Se a voltagem de polarização for adequadamente ajustada, e se existir uma entrada de sinal de erro no valor “zero”, a voltagem desenvolvida em R5 e R6 será igual e a saída será zero.

O circuito de amortecimento é ligado ao circuito, e é usado como enrolamento de estabilização.

Sua fonte de energia é o enrolamento de amortecimento do gerador, que é energizado através da ação de um transformador pela variação da corrente de excitação do gerador e é, portanto, proporcional à razão de variação da excitação.

Esta corrente é usada como sinal de realimentação no primeiro estágio do amplificador magnético, porque sua polaridade sempre se opõe à entrada de um sinal de erro. A intensidade da corrente de realimentação do amortecedor á ajustada com o potenciômetro P4.

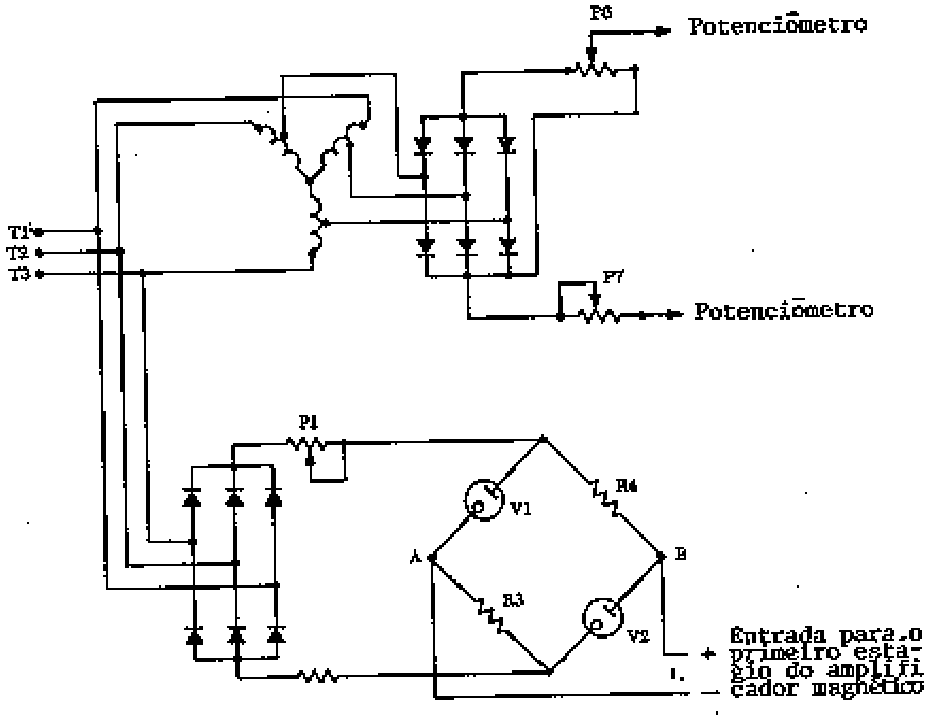

P6
Potenciômetro
T1
T2
T3
P7
Potenciômetro
P1
V1
R4
A
B
R3
V2
+
Entrada para o primeiro estágio do amplificador magnético
−

Figura 9-43 Circuitos de voltagem de referência de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético.

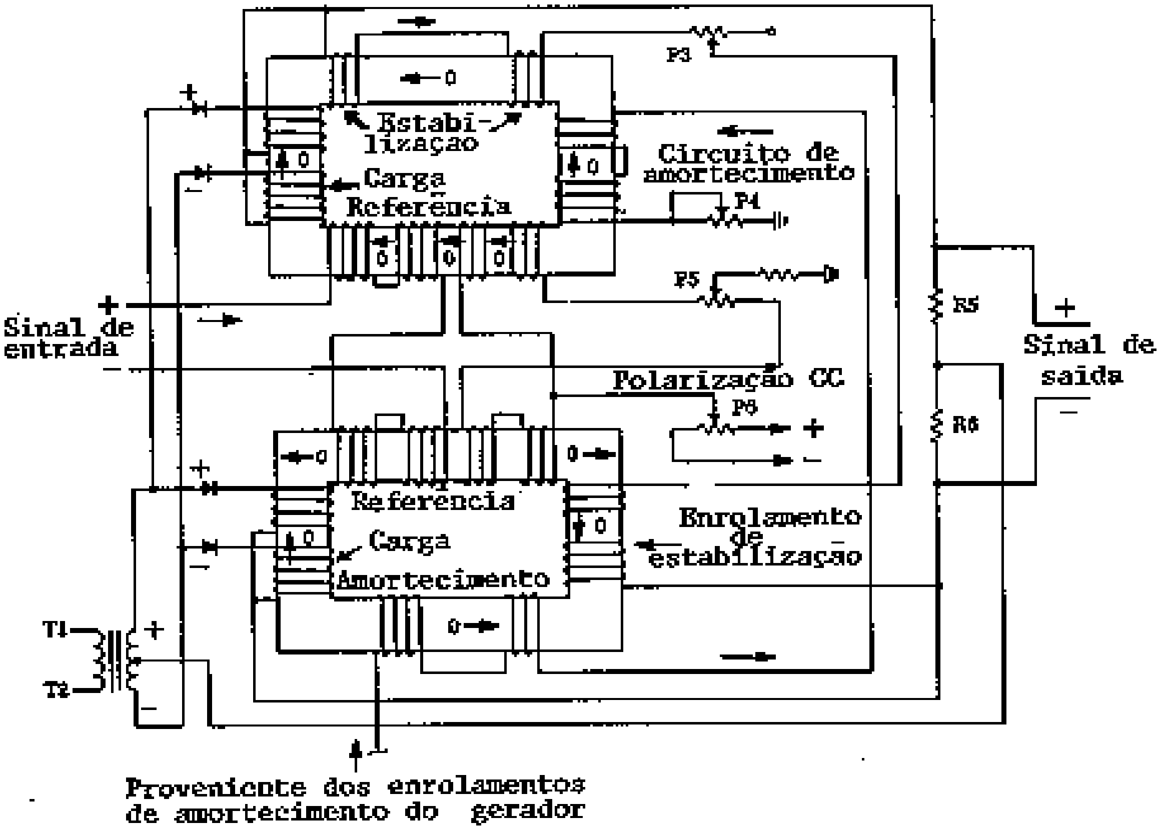

Estabilização
Carga
Referência
0
Circuito de amortecimento
P3
P4
P5
+
Sinal de entrada
−
Polarização CC
P6
+
−
R5
R6
+
Sinal de saída
−
Referência
Carga
Amortecimento
Enrolamento de estabilização
T1
T2
+
−
Proveniente dos enrolamentos de amortecimento do gerador

Figura 9-44 Primeiro estágio de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético.

Suas funções são estabelecer o tempo de recuperação do regulador e manter uma operação estável. O potenciômetro deve ser ajustado para prover rápida recuperação da voltagem durante a operação estável, sob condições de carga normal.

A seguir, o enrolamento de realimentação recebe uma voltagem que é proporcional à voltagem de saída: isto proporciona estabilidade durante as condições de carga constante. Uma olhada no circuito revelará que o enrolamento da carga recebe a sua energia pelos terminais T1 e T2 do transformador-retificador.

O fluxo de corrente através destes enrolamentos e dos resistores de carga R5 e R6 é regulado pelo grau de magnetização dos núcleos do reator, estabilizado pelo fluxo de corrente nos diversos enrolamentos de controle.

A figura 9-44 também mostra que, quando o sinal de entrada for diferente de zero, as correntes através de R5 e R6 serão diferentes. As correntes diferentes nestes resistores fornecem uma diferença de potencial, que é o sinal de saída para este estágio, cuja polaridade depende da polaridade da entrada do sinal de erro.

Todas as unidades do regulador foram apresentadas, exceto o estágio de saída, o qual é denominado como segundo estágio do regulador. Este é um amplificador magnético trifásico, de onda completa, como mostra a figura 9-45.

A saída do primeiro estágio, que acabamos de apresentar, é aplicada ao enrolamento de controle do segundo estágio. A saída deste estágio é a voltagem do excitador-regulador do campo do gerador. A intensidade desta voltagem é estabilizada pela intensidade e polaridade do sinal de entrada, pela corrente polarizada que é ajustada por P7, e também pela corrente de realimentação que é proporcional à saída.

Este tipo de regulador tem uma vantagem nítida sobre os outros tipos, visto que ele funcionará com uma variação de voltagem muito pequena.

Devido às características de operação deste tipo de regulador, as variações na voltagem de saída serão da ordem de 1%.

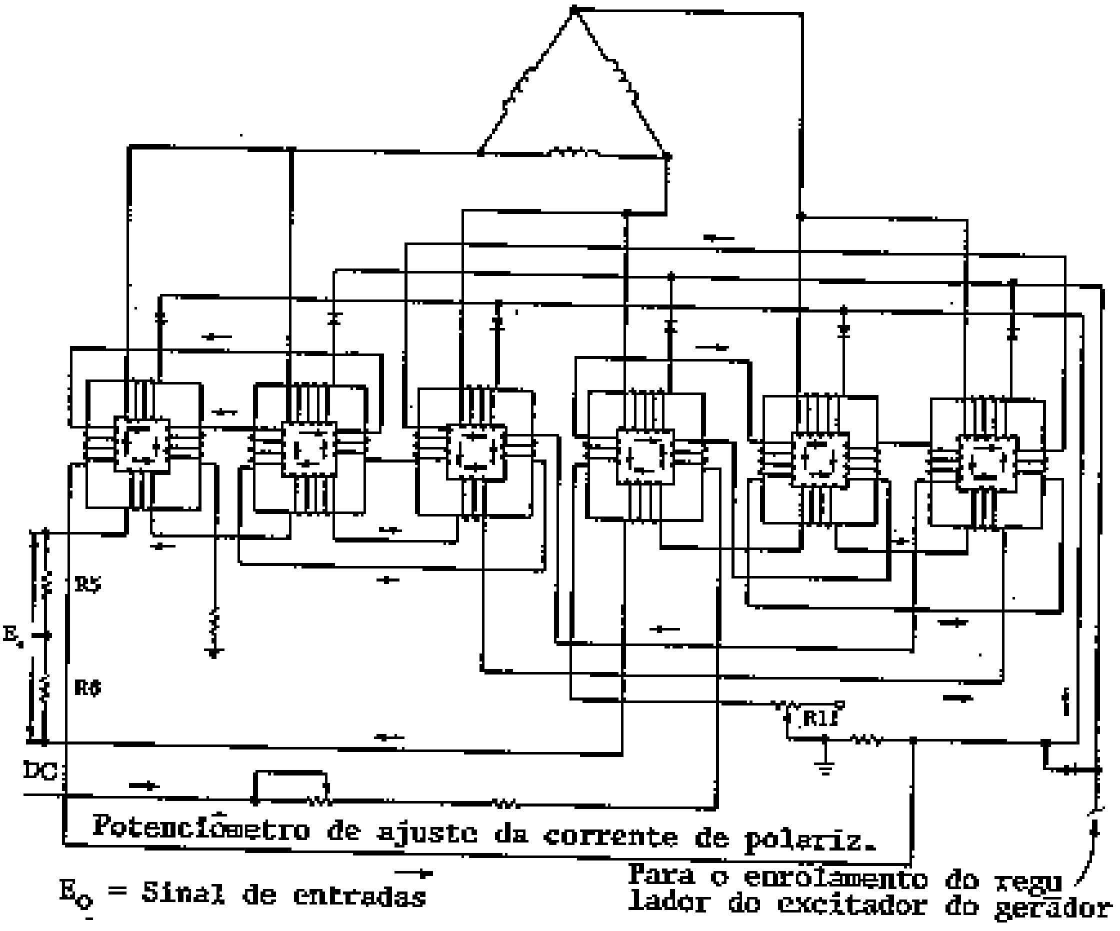

R5
E₀
R6
DC
R11
Potenciômetro de ajuste da corrente de polariz.
E₀ = Sinal de entradas
Para o enrolamento do regu
lador do excitador do gerador

Figura 9-45 Segundo estágio de um regulador de voltagem com amplificador magnético.

Foram apresentados os diversos ajustes na unidade, com exceção daqueles em P1. Os ajustes em P1 são realizados somente na bancada, quando o regulador estiver sendo calibrado. O potenciômetro P1 está localizado na face fronteira central do regulador adjacente às tomadas do voltímetro. O potenciômetro pode ser ajustado, enquanto o regulador estiver instalado na aeronave, para ajustar a voltagem da barra no valor desejado.

O regulador de voltagem divide-se em três partes principais: o detector de erro de voltagem, o pré-amplificador e o amplificador de potência. Estas três unidades operam em conjunto num circuito fechado com o enrolamento do regulador-excitador, para manter a voltagem quase constante nos terminais de saída do gerador.

A função do detector de erro é detectar a voltagem gerada, compará-la com o padrão estabelecido e enviar o erro ao pré-amplificador. O detector constitui-se de um retificador trifásico, um resistor variável para ajuste de voltagem e uma ponte, que consiste em duas válvulas referenciais de voltagem e dois resistores.

Em operação, se a voltagem do gerador estiver acima ou abaixo do seu valor normal, uma corrente fluirá num ou noutro sentido, dependendo da polaridade desenvolvida no circuito em ponte.

O pré-amplificador recebe um sinal de erro do detector de erro de voltagem. Com a utilização dos amplificadores magnéticos, ele eleva o sinal a um nível suficiente, a fim de acionar o amplificador de potência para saída máxima, com a finalidade de obter uma excitação adequada.

O amplificador de potência fornece um sinal para o enrolamento regulador do excitador; sua intensidade depende do sinal do pré-amplificador. Isto aumentará ou reduzirá a voltagem do enrolamento do regulador excitador que, por seu turno, aumentará ou reduzirá a voltagem de saída do gerador.

Transmissão de velocidade constante (CSD) do alternador

Os alternadores nem sempre são ligados diretamente ao motor do avião como os geradores CC. Visto que diversos aparelhos elétricos que operam com corrente alternada fornecida pelos alternadores são projetados para operar numa certa voltagem e numa frequência específica, a velocidade dos alternadores deve ser constante; entretanto, a velocidade de um motor de avião varia.

Portanto, alguns alternadores são acionados pelo motor através de uma transmissão de velocidade constante (CSD), instalada entre o motor e o alternador.

A descrição a seguir é a de uma transmissão de velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) usada nos aviões BOEING 727. Os CSD's usados nos outros aviões podem ser diferentes, porém o princípio básico de funcionamento é o mesmo.

Cada alternador é suportado e acionado à velocidade constante, através de uma transmissão de relação variável (CSD), acoplada ao motor do avião por meio de um dispositivo de rápida remoção/instalação que substitui os estojos de fixação (ver a figura 9-46).

O alternador é fixado ao CSD através de 12 estojos.

Para remover o alternador, basta soltar suas porcas de fixação. A figura 9-46 mostra uma instalação típica de alternador e sua transmissão.

Cada transmissão (CSD) consiste essencialmente em duas unidades hidráulicas, tipo pistão de deslocamento axial, de cilindrada positiva, e um diferencial mecânico que efetua a função somatória de velocidades.

As unidades hidráulicas apresentam as mesmas dimensões físicas, tendo uma delas uma placa de controle com inclinação variável, e a outra possui uma placa de controle com inclinação fixa e, consequentemente, apresenta cilindrada fixa.

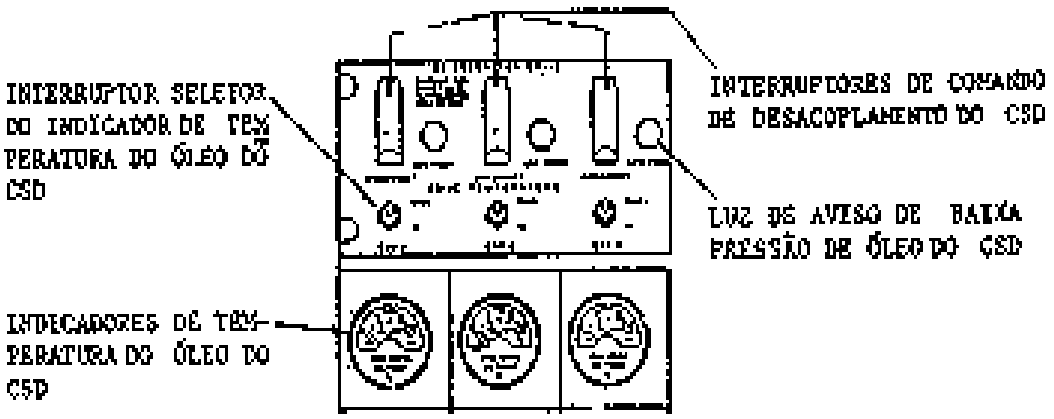
As unidades hidráulicas giram independentemente e são montadas de encontro às faces opostas de uma placa fixa comum, que as interliga através de orifícios (ver a figura 9-47).

A unidade hidráulica de cilindrada variável gira numa razão fixa em relação à velocidade de entrada da transmissão.

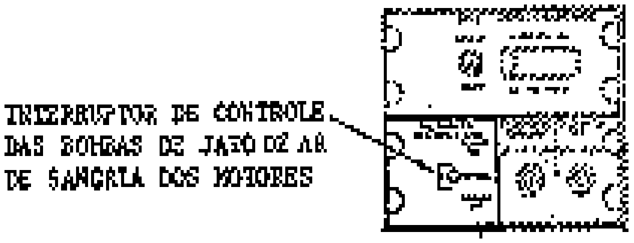
Como o ângulo de sua placa de controle é continuamente variável nos dois sentidos (do ângulo máximo positivo a zero e de zero ao ângulo máximo negativo), sua cilindrada é continuamente variável de zero ao máximo nos dois sentidos.

A unidade hidráulica de cilindrada fixa é acionada pelo óleo descarregado pela unidade de cilindrada variável.

Consequentemente, a unidade de cilindrada fixa girará em qualquer velocidade, desde zero ao valor máximo em qualquer sentido. A pressão de trabalho entre as duas unidades hidráulicas é proporcional ao torque transmitido ao alternador.


INTERRUPTOR SELETOR DO INDICADOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DO CSD
INTERRUPTORES DE COMANDO DE DESACOPLAMENTO DO CSD
LUZ DE AVISO DE BAIXA PRESSÃO DE ÓLEO DO CSD
INDICADORES DE TEMPERATURA DO ÓLEO DO CSD

CANTO SUPERIOR ESQUERDO DO PAINEL SUPERIOR DO MECÂNICO DE VÔO


INTERRUPTOR DE CONTROLE DAS BOMBAS DE JATO DE AR DE SANGRIA DOS MOTORES

CANTO INFERIOR DIREITO DO PAINEL INFERIOR DO MECÂNICO DE VÔO

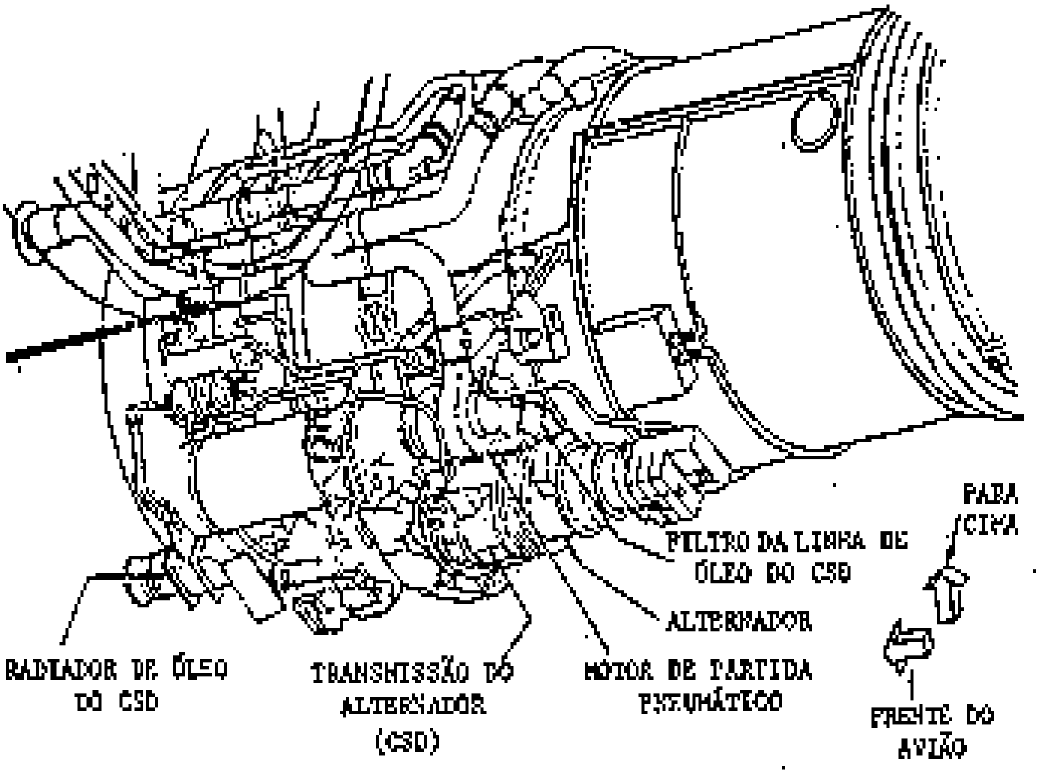
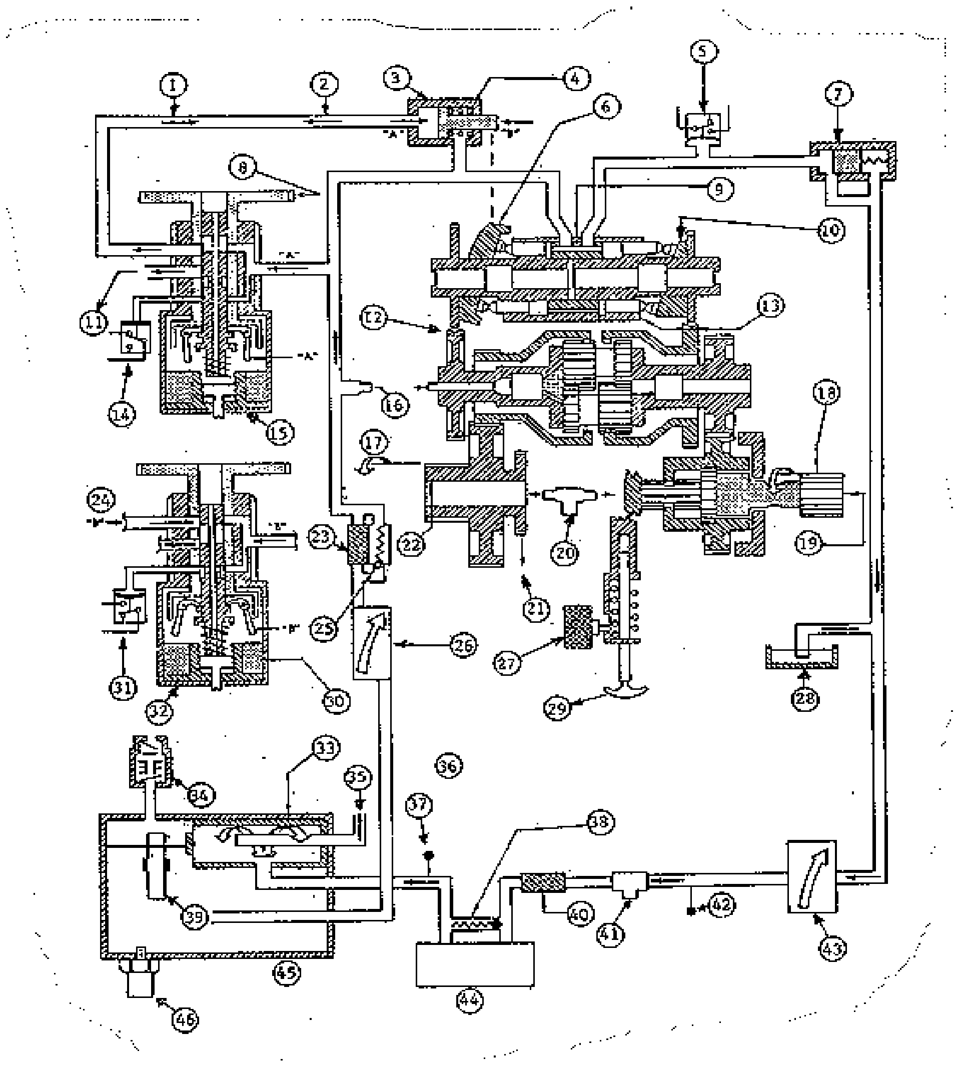

FILTRO DA LINHA DE ÓLEO DO CSD
ALTERNADOR
PARA CIMA
RADIADOR DE ÓLEO DO CSD
TRANSMISSÃO DO ALTERNADOR (CSD)
MOTOR DE PARTIDA PNEUMÁTICO
FRENTE DO AVIÃO

Figura 9-46 Localização do equipamento da transmissão do alternador (CSD) no motor e na cabine de comando.



1) CONDIÇÃO "A"
2) CONDIÇÃO "B"
3) CILINDRO DE CONTROLE
4) MOLA
5) INTERRUPTOR DA LUZ DE AVISO DE PRESSÃO DE CARGA
6) UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA VARIÁVEL
7) VÁLVULA DE SEGURANÇA
8) ACIONAMENTO PELO EIXO DE SAÍDA
9) PLACA ESTACIONÁRIA
10) UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA FIXA
11) PARA DRENO (SOMENTE ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO)
12) DIFERENCIAL MECÂNICO
13) BLOCO DE PISTÕES
14) INTERRUPTOR DE VELOCIDADE ABAIXO DA NORMAL (DESARME DO DISJUNTOR DO ALTERNADOR)
15) VISTA 1 - GOVERNADOR
16) LINHA DE ÓLEO PARA LUBRIFICAÇÃO
17) EIXO DE SAÍDA
18) ESTRIAS LUBRIFICADAS COM ÓLEO
19) EIXO DE ENTRADA
20) LINHA DE LUBRIFICAÇÃO DOS EIXOS
21) ACIONAMENTO DAS BOMBAS E DO GOVERNADOR
22) ESTRIAS LUBRIFICADAS COM GRAXA
23) FILTRO DA LINHA DE CARGA
24) PARA DRENO
25) VÁLVULA DE DERIVAÇÃO
26) BOMBA DE CARGA
27) BOBINA DE DESACOPLAMENTO
28) DECANTADOR
29) MANETE DE REARME DO ACOPLAMENTO DO CSD
30) BOBINA ELETROMAGNÉTICA
31) INTERRUPTOR DE VELOCIDADE ABAIXO DA NORMAL
32) VISTA 2 - GOVERNADOR
33) CÂMARA DE REVIRAMENTO
34) VÁLVULA DE RESPIRO E SEGURANÇA DE VÁCUO
35) AR
36) CONDIÇÕES DE CONTROLE
37) BULBO DE TEMPERATURA
38) VÁLVULA DE DERIVAÇÃO COM TESMOSTATO
39) INDICADOR VISUAL DE NÍVEL
40) FILTRO DA LINHA DE RECUPERAÇÃO
41) ORIFÍCIO DE ABASTECIMENTO
42) BULBO DE TEMPERATURA (SAÍDA)
43) BOMBA DE RECUPERAÇÃO
44) RADIADOR DE ÓLEO
45) RESERVATÓRIO
46) INTERRUPTOR TÉRMICO

Figura 9-47 Diagrama esquemático da transmissão do alternador.

Com baixa velocidade de entrada, a unidade de cilindrada variável atua como bomba hidráulica para fornecer fluxo à unidade de cilindrada fixa, que atua como motor, cuja velocidade é somada à velocidade de entrada através do diferencial.

Em velocidade de transmissão direta, o torque é transmitido diretamente através do diferencial mecânico, e a unidade de cilindrada fixa não gira. A placa de controle da unidade de cilindrada variável ficará ligeiramente afastada do ângulo zero, a fim compensar perdas por vazamento.

Com velocidades acima da de transmissão direta, a placa de controle da unidade de cilindrada variável é ajustada para proporcionar cilindrada negativa. Neste caso, a pressão de trabalho é manobrada, de modo a permitir que a unidade de cilindrada fixa seja acionada pelo diferencial, e assim sua velocidade subtrai-se à velocidade de entrada.

A unidade de cilindrada variável atua, então, como motor. Nesse tipo de transmissão, as unidades hidráulicas manobram apenas uma parte da potência transmitida e, portanto, seu tamanho é reduzido. Como as perdas de potência nos diferenciais mecânicos são menores que nas unidades hidráulicas, a absorção de calor é baixa, o que resulta em eficiência elevada.

Diferencial mecânico e unidades hidráulicas

O diferencial é do tipo de engrenagens planetárias no centro, e engrenagens anulares de entrada e saída (coroas) nas extremidades, completando o conjunto.

As engrenagens planetárias giram em torno de seus próprios eixos, e também ao redor da linha de centro do seu suporte.

O suporte das engrenagens planetárias é acionado pela engrenagem de entrada da transmissão, assim como a unidade hidráulica de cilindrada variável.

A unidade hidráulica de cilindrada fixa é acoplada hidraulicamente à unidade de cilindrada variável e é conectada ao diferencial mecânico através da coroa de entrada. A coroa de saída do diferencial é acoplada à engrenagem de saída da transmissão. A velocidade constante da coroa de saída é mantida, acrescentando-se ou subtraindo-se velocidade às engrenagens planetárias, mediante o controle da velocidade e do sentido de rotação da coroa de entrada da transmissão.

O governador e as bombas são acionados pelo trem de velocidade constante. As figuras 9-48 e 9-49 mostram esquematicamente o trem de engrenagens epicíclicas, e a relação entre o diferencial e o restante do conjunto de força.

Diferencial mecânico

O diferencial consiste em: um eixo portador, duas engrenagens planetárias e duas coroas (uma de entrada e outra de saída). A razão de velocidade entre as coroas e o eixo portador é de 2:1. Em qualquer condição de rotação e carga, uma carga de torque é aplicada à coroa de saída pela engrenagem de saída da transmissão. O torque de entrada é fornecido pela engrenagem de entrada, fazendo girar o eixo portador. Ver figuras 9-48 e 9-49.

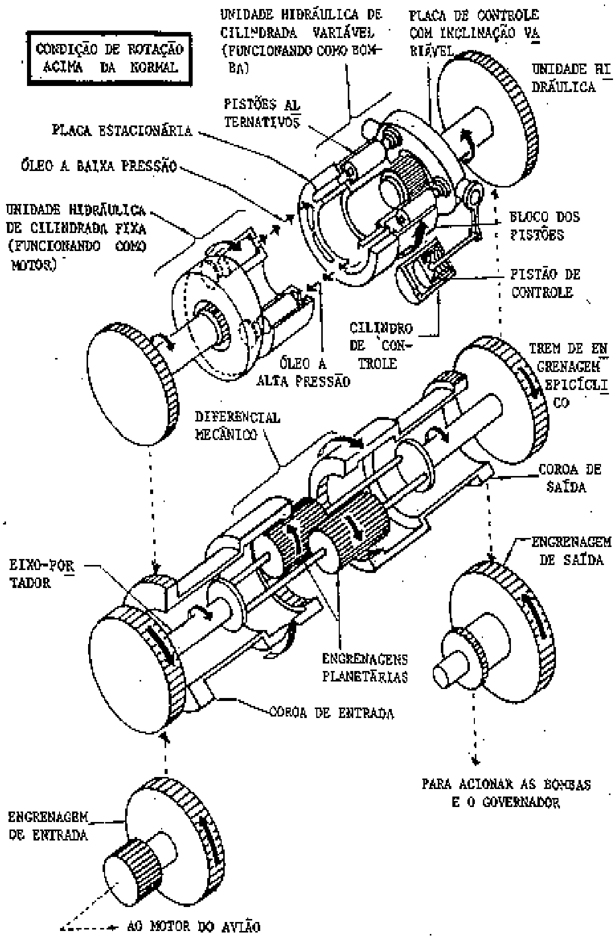

CONDIÇÃO DE ROTAÇÃO ACIMA DA NORMAL
UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA VARIÁVEL (FUNCIONANDO COMO BOMBA)
PLACA DE CONTROLE COM INCLINAÇÃO VARIÁVEL
UNIDADE HIDRÁULICA
PISTÕES ALTERNATIVOS
PLACA ESTACIONÁRIA
ÓLEO A BAIXA PRESSÃO
UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA FIXA (FUNCIONANDO COMO MOTOR)
BLOCO DOS PISTÕES
PISTÃO DE CONTROLE
CILINDRO DE CONTROLE
ÓLEO A ALTA PRESSÃO
TREM DE ENGRENAGEM EPICÍCLICO
DIFERENCIAL MECÂNICO
COROA DE SAÍDA
ENGRENAGEM DE SAÍDA
EIXO-PORTADOR
ENGRENAGENS PLANETÁRIAS
COROA DE ENTRADA
PARA ACIONAR AS BOMBAS E O GOVERNADOR
ENGRENAGEM DE ENTRADA
AO MOTOR DO AVIÃO

Figura 9-48 Diagrama esquemático das unidades hidráulicas e do diferencial mecânico da transmissão do alternador (CSD).

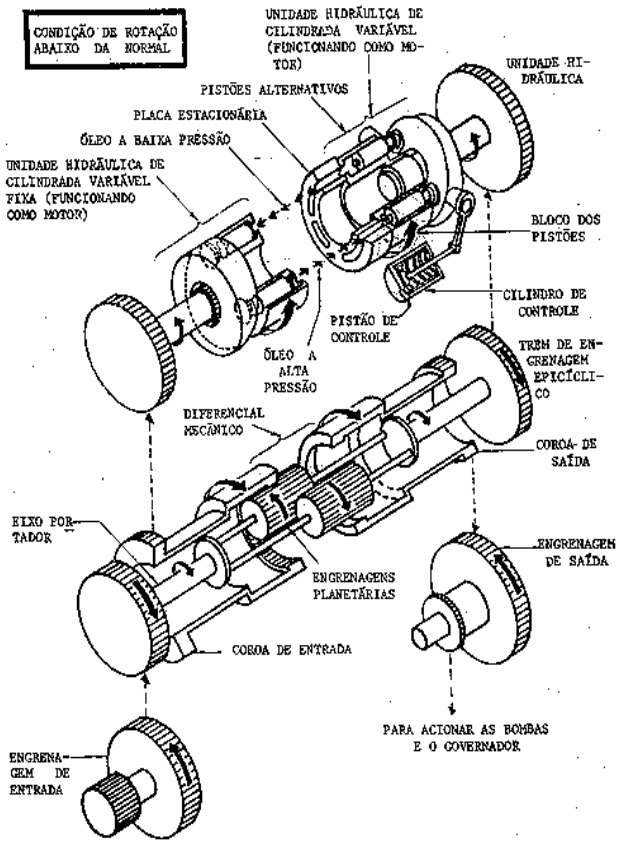

CONDIÇÃO DE ROTAÇÃO ABAIXO DA NORMAL
UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA VARIÁVEL (FUNCIONANDO COMO MOTOR)
UNIDADE HIDRÁULICA
PISTÕES ALTERNATIVOS
PLACA ESTACIONÁRIA
ÓLEO A BAIXA PRESSÃO
UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA VARIÁVEL FIXA (FUNCIONANDO COMO MOTOR)
BLOCO DOS PISTÕES
CILINDRO DE CONTROLE
PISTÃO DE CONTROLE
ÓLEO A ALTA PRESSÃO
TREM DE ENGRENAGEM EPICÍCLICO
DIFERENCIAL MECÂNICO
COROA DE SAÍDA
EIXO PORTADOR
ENGRENAGEM DE SAÍDA
ENGRENAGENS PLANETÁRIAS
COROA DE ENTRADA
PARA ACIONAR AS BOMBAS E O GOVERNADOR
ENGRENAGEM DE ENTRADA

Figura 9-49 Diagrama esquemático das unidades hidráulicas e do diferencial mecânico da transmissão do alternador (CSD).

Se não houvesse aplicação de torque sobre a coroa de entrada, ela giraria livremente, deixando parada a coroa de saída. Como a relação de velocidade do eixo-portador para a coroa é de 2:1, a velocidade da coroa de entrada, nesta condição, seria o dobro da do eixo-portador. Como é desejada uma dada velocidade de saída, a coroa de entrada deverá ter sua velocidade controlada.

Se a coroa de entrada tiver sua velocidade reduzida a zero, a coroa de saída girará com o dobro da rotação do eixo-portador. Se a coroa de entrada for obrigada a girar no sentido oposto ao do eixo-portador, a coroa de saída girará com velocidade superior ao dobro da do eixo-portador.

Se a coroa de entrada for impelida a girar no mesmo sentido do eixo-portador, a coroa de saída girará com velocidade inferior ao dobro da do eixo-portador.

Desse modo, o diferencial constitui um dispositivo somatório, controlado através da coroa de entrada, para somar ou subtrair à velocidade da caixa de transmissão do motor, a fim de se obter a velocidade desejada de saída.

Unidade hidráulica de cilindrada variável

A unidade hidráulica de cilindrada variável consiste em um tambor, pistões alternativos, uma placa de controle de inclinação variável, um cilindro e um pistão de controle.

A unidade está acoplada diretamente ao motor do avião; consequentemente, a velocidade de rotação do bloco dos pistões é sempre proporcional à velocidade de entrada, e o sentido de rotação é sempre o mesmo.

Quando a transmissão estiver operando na condição de rotação acima do normal, a unidade hidráulica funcionará como bomba hidráulica (ver figura 9-48).

Para que isso se realize, o governador dirige óleo ao pistão de controle, que posiciona a placa, de modo que a unidade possa comprimir óleo pelo bloco rotativo dos pistões. Este óleo sob alta pressão (pressão de trabalho) é dirigido para a unidade hidráulica de cilindrada fixa.

À medida que a velocidade de entrada aumenta e a necessidade de aceleração diminui, o governador dirigirá menor quantidade de óleo para o cilindro de controle, até que a placa de controle fique em posição aproximadamente perpendicular em relação aos pistões.

Quando isso acontecer, nenhum óleo será bombeado ou recebido pela unidade de cilindrada variável (exceto o necessário para compensar perdas devido a vazamento). Nessa condição, a transmissão estará operando em acionamento direto.

Quando a transmissão estiver operando em condições de rotação abaixo da normal, a unidade de cilindrada variável funcionará como motor.

Para isso, o governador retira óleo do cilindro de controle, posicionando a placa de controle, de modo a acomodar maior volume de óleo no lado de alta pressão do alojamento dos pistões; em consequência, o óleo flui da unidade de cilindrada fixa para a de cilindrada variável.

Unidade hidráulica de cilindrada fixa

A unidade hidráulica de cilindrada fixa consiste em um tambor, pistões alternativos e uma placa de controle de inclinação fixa.

O sentido de rotação e a velocidade de rotação da unidade de cilindrada fixa são determinados pelo volume de óleo bombeado, ou recebido pela unidade de cilindrada variável. Este volume de óleo é determinado pela posição angular da placa de controle e pela velocidade de rotação do bloco de pistões. Ver o ítem anterior "Unidade hidráulica de cilindrada variável".

Quando a transmissão está operando em rotação acima do normal, a unidade de cilindrada fixa funciona como motor hidráulico. O óleo sob alta pressão bombeado pela unidade de cilindrada variável atua sobre os pistões da unidade de cilindrada fixa, fazendo girar o bloco.

A rotação do bloco força a coroa de entrada a girar no sentido oposto ao eixo-portador, e soma-se à velocidade da caixa de transmissão do motor através do diferencial, mantendo, constante a velocidade de saída. Ver o item anterior, "Diferencial mecânico".

Na medida em que a velocidade de entrada aumenta, e a necessidade de somar velocidade à saída diminui, a unidade de cilindrada variável passa a bombear menos óleo para a unidade de cilindrada fixa, até que finalmente seu bloco de pistões pára de girar. Quando isto acontecer, a transmissão estará operando na condição "transmissão direta".

Quando a transmissão estiver operando em rotação abaixo da normal, a unidade de cilindrada fixa funcionará como bomba. A placa de controle da unidade de cilindrada variável será posicionada, de modo que a unidade possa receber óleo da unidade de cilindrada fixa.

A unidade de cilindrada fixa passa a bombear óleo sob alta pressão para a de cilindrada variável, com seu bloco de pistões girando num sentido, que permita à coroa de entrada, girar no mesmo sentido do eixo-portador, e subtrair rotação da caixa de transmissão do motor, mantendo constante a velocidade de saída.

Sistema de controle de rotação

O governador é uma válvula de controle hidráulico, atuada por mola, e operada por contrapesos. Sua finalidade é controlar o envio do óleo de carga da transmissão para o cilindro de controle (ver figura 9-47).

A luva rotativa do governador é acionada pela engrenagem de saída, e por isso é sensível à velocidade de saída da transmissão. Os contrapesos pivotados nesta luva movimentam uma válvula localizada por dentro, carregada por tensão de mola. Durante a operação estabilizada, a pressão de alimentação é reduzida pela válvula do governador ao valor desejado de controle. Dependendo da posição do carretel da válvula, o óleo de carga é dirigido para o pistão de controle, ou o óleo de controle é drenado para a cabeça da CSD.

O governador básico possui um dispositivo magnético de regulagem, destinado a aplicar os sinais de correção provenientes do controlador de carga. Este dispositivo consiste em contrapesos de ímã permanente, e um eletroímã localizado acima dos contrapesos. A passagem de corrente contínua, de valor controlado através da bobina do eletroímã, estabelece um campo magnético radial entre as peças polares anulares e concêntricas. O sentido do campo magnético é ditado pela polaridade da corrente contínua. Os contrapesos de ímã permanente têm seu eixo magnético orientado essencialmente em ângulos retos, com o campo magnético produzido pelo eletroímã. Os dois campos intersectam-se produzindo um torque controlável em torno do eixo geométrico dos contrapesos.

Este torque produzido magneticamente associa-se ao torque centrífugo para aplicar uma reação sobre a haste da válvula. O regulador magnético permite introduzir sinais elétricos de correção à transmissão, sem peças adicionais, além das já existentes no governador (ver a figura 9-50).

Durante a operação normal, o governador recebe óleo sob pressão, que é dirigido pela válvula atuada pelos contrapesos a um interruptor de pressão, mantendo abertos seus contatos elétricos (ver a figura 9-47). A válvula permite ainda, que a pressão do óleo de carga vá atuar no cilindro de controle da placa da unidade de cilindrada variável.

Se a velocidade de saída da transmissão cair abaixo do limite prescrito, a tensão da mola torna-se maior que a força centrífuga dos contrapesos, deslocando a válvula no sentido de drenar óleo do interruptor de pressão, através da carcaça do governador, para o decantador. A redução de pressão sobre o interruptor permite completar o circuito elétrico, que desliga o disjuntor do alternador.

O governador efetua três funções, das quais duas são protetoras do sistema, e a terceira é de regulação normal.

A primeira ação protetora destina-se à condição de rotação abaixo da normal. Quando a rotação cai, a mola da válvula do governador coloca a luva da válvula na posição correspondente à velocidade abaixo da normal, e fecha os contatos do interruptor de pressão, o qual completa um circuito para o painel de controle do alternador. Ver figura 9-50.

Isso acarreta o desligamento do disjuntor do alternador. O interruptor de pressão também desliga o disjuntor do alternador no caso de corte normal do sistema.

A segunda função protege o sistema no caso de parada do governador, devido a falha mecânica entre este e o eixo de saída da transmissão. Essa função é efetuada pela mola de segurança, no caso de falha do mecanismo de acionamento do governador. Quando isso acontece, e o governador pára de girar, a mola de segurança empurra a luva da válvula contra um batente que, para o governador, corresponde à máxima posição de rotação abaixo do normal, proporcionando a reação desejada.

Sistema hidráulico

O sistema hidráulico consiste em bomba de carga, bomba de recuperação e válvula de segurança de carga.

A bomba de carga está localizada no circuito hidráulico entre o reservatório e a transmissão. A bomba de carga alimenta os blocos de pistões das unidades hidráulicas, o governador, o cilindro de controle e o sistema de lubrificação.

A bomba de recuperação está localizada no circuito hidráulico entre o decantador da transmissão e o radiador externo de óleo. A bomba de recuperação devolve ao reservatório, através do radiador, o óleo de lubrificação e o óleo proveniente de vazamentos internos.

A válvula de segurança regula a pressão de operação do sistema de carga (ver figura 9-47). A válvula executa essa função dosando a descarga do óleo do sistema de carga, para manter a pressão no valor pré-ajustado.

A bomba de carga retira óleo do reservatório e alimenta com volume constante a válvula de segurança, cujo pistão desloca-se para trás, forçado pela pressão do óleo, comprimindo a mola. Ocorre, então, a sangria de óleo para o sistema de recuperação, determinada pela pressão da mola, contrariando a pressão de carga que atua sobre o pistão. O óleo sob pressão de carga alimenta o governador e a válvula de controle, e repõe o óleo na operação das unidades hidráulicas.

Reservatório e separador de ar

O reservatório executa as seguintes funções:

(1) Remove o ar do sistema de óleo.

(2) Proporciona alimentação de óleo isento de ar, para a transmissão numa extensa faixa de cargas de aceleração e atitudes do avião. O reservatório não possui partes móveis e executa suas funções automaticamente, utilizando a energia do óleo de recuperação da transmissão.

O óleo de recuperação bombeado através do radiador retorna ao reservatório da transmissão pela câmara de reviramento. Este óleo, fortemente emulsionado com ar, entra na câmara de reviramento em alta velocidade através de uma entrada tangencial, produzindo uma ação de reviramento que cria um turbilhonamento no interior da câmara.

Como o ar aprisionado no óleo tem densidade inferior à do óleo, ele se desloca para o centro do turbilhonamento e escapa para a carcaça. O óleo isento de ar, escorre pela parede da câmara de reviramento e entra no reservatório (ver figura 9-47).

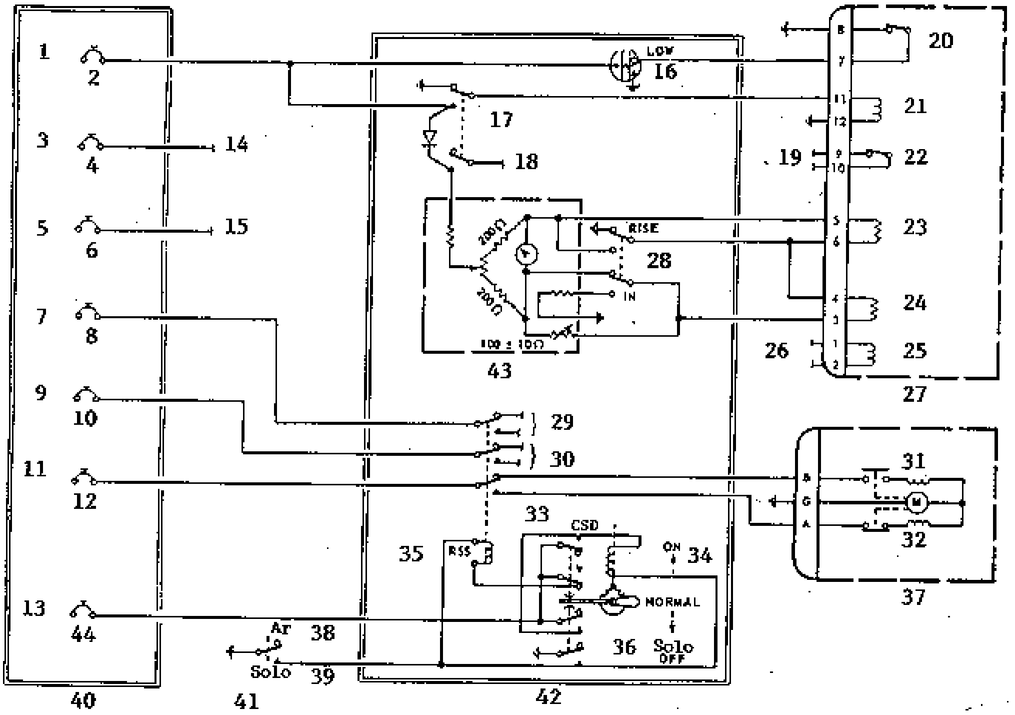
De acordo com a descrição acima, o óleo de retorno é sempre desaerado e conduzido ao reservatório, independentemente da atitude da transmissão. O orifício de sucção fica localizado aproximadamente no centro da altura do reservatório, e o volume de óleo armazenado é tal, que o orifício ficará sempre mergulhado no óleo, qualquer que seja a atitude da transmissão. Ver figura 9-47. A pressão estática no interior do reservatório é aproximadamente a mesma da carcaça.

Filtro da linha de carga e válvula de derivação

O filtro possui uma válvula de derivação que permite ao óleo fluir livremente, no caso do elemento filtrante ficar completamente entupido.

Possui também um indicador mecânico de entupimento. O indicador consiste em um ímã permanente, carregado por mola, que faz saltar um botão para fora da carcaça se ocorrer queda elevada de pressão através do filtro.

O dispositivo contém uma trava de baixa temperatura que impede a operação do indicador, no caso de ocorrer queda elevada de pressão produzida por óleo muito frio durante a partida do motor.



1) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
2) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 1
3) BARRA Nº 2 DE 28 VOLTS CC
4) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 2
5) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
6) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 3
7) BARRA Nº 3 DE 115 VOLTS CA
8) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 3
9) BARRA Nº 2 DE 115 VOLTS CA
10) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 2
11) BARRA Nº 1 DE 115 VOLTS CA
12) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNATIVO Nº 1
13) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
14) CIRCUITO DA LUZ DE AVISO E DO INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD DO ALTERNADOR Nº 2
15) CIRCUITO DA LUZ DE AVISO E DO INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD DO ALTERNADOR Nº 3
16) LUZ DE AVISO DE BAIXA PRESSÃO DE CARGA
17)INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD
18)PARA A BOBINA DE DESLIGAMENTO DO DISJUNTOR DO ALTERNADOR
19) AO PAINEL DE CONTROLE DO ALTERNADOR
20) INTERRUPTOR DA LUZ DE AVISO DE BAIXA PRESSÃO DE CARGA
21) BOBINA DE DESACOPLAMENTO
22) INTERRUPTOR DE PRESSÃO (PROTEÇÃO DE ROTAÇÃO ANORMALMENTE BAIXA)
23) SENSOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DE SAÍDA DO CSD
24) SENSOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DE ENTRADA DO CSD
25) BOBINA DO REGULADOR MAGNÉTICO DO GOVERNADOR
26) AO CONTROLADOR DE CARGA
27) TRANSMISSÃO (CSD)
28) INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD (DUAS POSIÇÕES: RISE - DIFERENÇA DE TEMPERATURA, IN - TEMPERATURA DE ENTRADA)
29) PARA A VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 3
30) PARA A VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 2
31) FECHAR
32) ABRIR
33) RADIADOR DE ÓLEO
34) LIGADO EM VÔO
35) RELÉ DA VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR
36) DESLIGADO NO SOLO
37) VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 1
38) POSIÇÃO VÔO
39) POSIÇÃO SOLO
40) CENTRO PRINCIPAL DE FORÇA ELÉTRICA P6
41) RELÉ DE SEGURANÇA R91 (PAINEL P5)
42) PAINEL P4 DO MECÂNICO DE VÔO
43) INDICADOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DO CSD

Figura 9-50 Circuitos elétricos da transmissão do alternador (CSD).

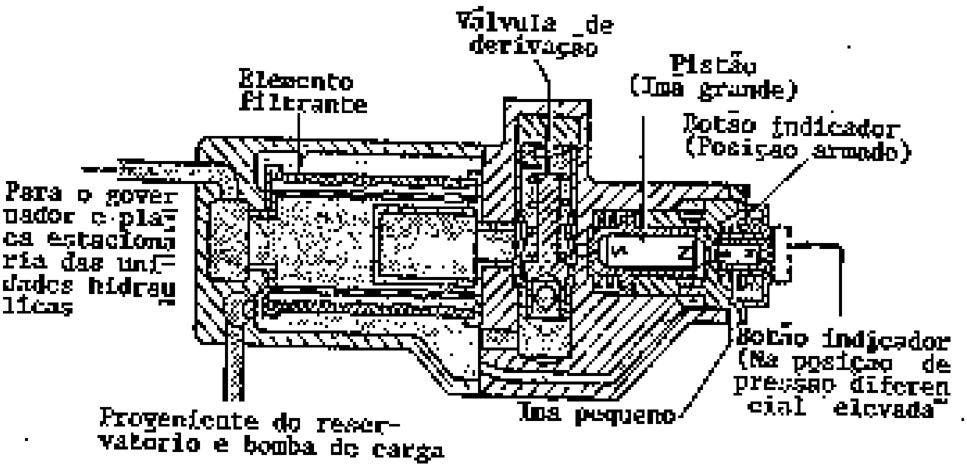

Válvula de derivação
Elemento filtrante
Pistão (Imã grande)
Botão indicador (Posição armado)
Para o governador c-placa estacionária das unidades hidráulicas
Botão indicador (Na posição de pressão diferencial elevada)
Imã pequeno
Proveniente do reservatório e bomba de carga

Figura 9-51 Diagrama esquemático do filtro de óleo da linha de carga e seu indicador de pressão diferencial.

Tanto o pistão de pressão diferencial, como o botão indicador, são carregados por mola no sentido do exterior da carcaça do filtro. Quando a queda de pressão através do filtro for baixa, a mola manterá imobilizado o pistão de pressão diferencial, e o ímã mantém o botão embutido na carcaça, contrariando a ação de sua mola. Uma oscilação súbita da pressão forçará o pistão para dentro, contrariando a mola, aumentando a folga de ar existente entre os dois imãs.

Quando a folga tornar-se suficientemente grande, a força magnética não mais sobrepujará a mola do botão indicador, e este soltará. Com isso, a folga de ar ficará ainda maior e, mesmo que o pistão de pressão diferencial retorne à posição de pressão diferencial zero, o pistão conseguirá atrair de volta o botão. Esta característica é necessária porque o motor pode e, provavelmente, deve estar cortado quando o indicador for verificado visualmente.

Os dois ímãs permanentes estão instalados no mecanismo com seus pólos norte orientados para fora ou para dentro da carcaça do filtro. No caso de desmontagem do indicador, deve-se ter o cuidado de reinstalar os ímãs nesta mesma posição. Ver figura 9-51.

Quando a temperatura do óleo estiver abaixo de 80º F, uma trava de baixa temperatura impede a operação do indicador, independentemente da queda de pressão. Isso se torna necessário porque o óleo limpo, quando frio, acarreta queda de pressão elevada através do filtro, do que resultariam indicações falsas. A trava consiste em uma tira bimetálica que, quando fria, engata na sede da mola do botão indicador, e impede seu movimento independentemente do movimento do pistão.

Mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador

O mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador é um dispositivo atuado eletricamente, que desacopla o eixo de entrada da transmissão no caso de mau funcionamento desta.

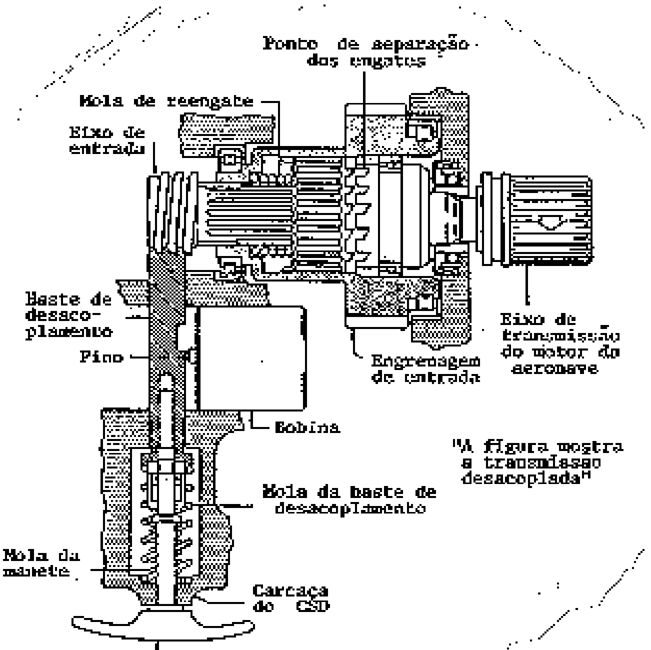

Ponto de separação dos engates
Mola de reengate
Eixo de entrada
Baste de desacoplamento
Pino
Engrenagem de entrada
Eixo de transmissão do motor do aeronave
Bobina
"A figura mostra a transmissão desacoplada"
Mola da baste de desacoplamento
Mola da manete
Carcaça do CSD
Manete de rearme

Figura 9-52 Mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador.

Quando a bobina de desacoplamento é energizada pelo comando do interruptor DISCONNECT, localizado no painel do mecânico de vôo (ver figura 9-50), uma haste carregada por mola encaixa na rosca existente no eixo de entrada (ver figura 9-52).

O eixo de entrada atua como um parafuso num furo roscado; sua rotação movimenta-o no sentido de afastar-se, desacoplando-se do eixo de transmissão do motor.

Separados os engates, o eixo de transmissão do motor passa a girar livremente sem acionar a transmissão do alternador.

O reengate somente pode ser efetuado no solo, com o motor parado, puxando-se a alavanca de rearme até que o pino da bobina de desacoplamento encaixe no rebaixo da haste.

Refrigeração da transmissão do alternador

O calor produzido pela transmissão (CSD) do alternador é absorvida pelo fluido hidráulico contido na mesma, e dissipado num radiador localizado na parte inferior dianteira do motor. O óleo quente passa primeiro através de um filtro e depois segue para o radiador.

Em vôo, o ar de refrigeração é captado por uma entrada existente na parte inferior da carenagem da capota do nariz do motor. No solo, com os motores funcionando em marcha-lenta, o ar é forçado a passar pelo radiador por meio de bombas de jato de ar de sangria dos motores. Se for necessário, um interruptor de emergência permite o uso das bombas de jato em vôo (ver figura 9-50).

A elevação normal da temperatura do óleo ao passar pela transmissão é de cerca de 10º C com carga total em regime contínuo, com temperatura de entrada de aproximadamente 120º C nas velocidades normais de rotação. Na CSD o óleo serve como lubrificante, refrigerante e fluido hidráulico.

Na CSD, a temperatura do óleo é regulada por um conjunto radiador-válvula de derivação. A válvula de derivação contém elementos sensíveis a temperatura, pressão e canais de derivação para regular a temperatura mínima e a pressão máxima do óleo, que passa através da colméia do radiador. O radiador e a válvula proporcionam um fluxo de óleo de 66 libras por minuto com queda de pressão igual ou inferior a 25 lb/pol^2, e temperatura de 85º C. O fluxo nominal de ar da colméia do radiador é de 40 libras por minuto.

A válvula fica completamente aberta quando a temperatura do óleo for igual ou inferior a 81º C, e totalmente fechada quando a temperatura for igual ou superior a 85º C. Com temperatura igual ou superior a 85º C, a válvula de segurança começa a abrir com pressão diferencial não inferior a 50 lb/pol^2, e ficará completamente aberta com pressão diferencial não superior a 100 lb/pol^2, entre a entrada e a saída da válvula. (O alojamento da válvula é construído de maneira a facilitar a remoção e a instalação do elemento sensível).

O sistema de indicação de temperatura mede e indica a diferença (delta T) entre a temperatura da entrada e da saída do óleo da CSD e, mediante o comando de um interruptor, a temperatura real do óleo de entrada.

O sistema de cada CSD compreende dois bulbos de temperatura, um indicador e um interruptor seletor. O sistema opera com corrente contínua de 28 volts (ver a figura 9-50) e normalmente está ligado para indicar a diferença entre a temperatura de entrada e a de saída do óleo. A temperatura de entrada do óleo somente pode ser lida no indicador quando se coloca na posição INLET o interruptor localizado no painel do mecânico de vôo. O indicador possui duas escalas: uma indica elevação (diferença) de temperatura (RISE) e a outra a temperatura do óleo de entrada (IN). Ver a figura 9-46.

SINCRONISMO DOS ALTERNADORES

Dois ou mais alternadores podem ser operados em paralelo, com cada alternador conduzindo a mesma carga.

Entretanto, certos cuidados devem ser tomados, e diversas condições satisfeitas antes de ligar um alternador a uma barra com outro alternador.

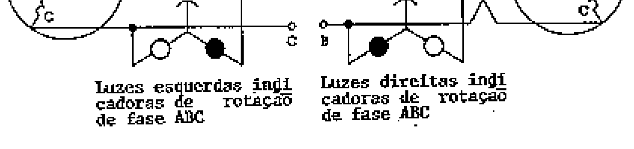

A
B
C
A
B
C
A
C
B
A
B
C
Luzes esquerdas indicadoras de rotação de fase ABC
Luzes direitas indicadoras de rotação de fase ABC

Figura 9-53 Indicador de sequência de fase.

A sincronização, ou paralelismo dos alternadores é semelhante a dos geradores CC em paralelo, embora existam mais problemas com relação aos alternadores.

A fim de sincronizar (por em paralelo) dois ou mais alternadores à mesma barra, eles devem apresentar a mesma seqüência de fase, bem como voltagens e freqüências iguais.

Os itens que se seguem constituem um guia geral para sincronizar um alternador, e ligá-lo a um sistema de barra no qual um ou mais alternadores já estejam operando.

1- Cheque de seqüência de fase - A seqüência de fase padrão para circuito força trifásica CA é “A”, “B” e “C”. A seqüência de fase pode ser determinada observando-se duas lâmpadas indicadoras pequenas ligadas, como mostra a figura 9-53. Se uma lâmpada acender, a sequência de fase é “A”, “B”, “C”. Se a luz indicar a sequência de fase errada, deve ser feita a inversão dos dois fios do gerador que estiver entrando na barra.

Pôr em pararelo, ou sincronizar dois alternadores, com a sequência de fase errada, seria o mesmo que curto-circuitar dois fios criando correntes circulantes perigosas e distúrbios magnéticos dentro do sistema alternador, o que poderia superaquecer os condutores e afrouxar os enrolamentos da bobina.

2- Cheque de Voltagem - A voltagem do alternador a ser ligado à barra deve ser igual à voltagem da barra. Ela é ajustada por um reostato de controle localizado no painel. Este reostato controla a corrente da bobina do regulador de voltagem fazendo com que o campo magnético do alternador diminua ou aumente, controlando desta forma a voltagem do alternador.

3- Cheque de Frequência - A frequência de um alternador é diretamente proporcional à sua velocidade. Isto quer dizer que a velocidade do alternador que está sendo conectado à barra deve ser igual a velocidade dos alternadores já conectados.

Observando-se o medidor de frequência, e ajustando-se o reostato no painel, a frequência do gerador a ser sincronizado pode ser conduzida a um valor correto. Observando-se a lâmpada de sincronização, mostrada na figura 9-54, e pelo ajuste fino do reostato de controle de velocidade, as freqüências podem ser conduzidas para uma sincronização quase exata. A lâmpada de sincronização piscará quando as duas frequências se aproximarem do mesmo valor; quando elas estiverem muito semelhantes, a lâmpada piscará lentamente.

Quando o pisca-pisca for da ordem de um ou menos por segundo, fecha-se o interruptor do circuito enquanto a lâmpada estiver apagada e liga-se o alternador nº 2 `a barra. A lâmpada apagada indica que não há voltagem entre a fase “A” da barra e a fase “A” do alternador a ser ligado à barra.

Fechar o interruptor quando a lâmpada de sincronização estiver acesa seria o mesmo que curto-circuitar dois fios e causar sérios distúrbios magnéticos de voltagem dentro dos alternadores.

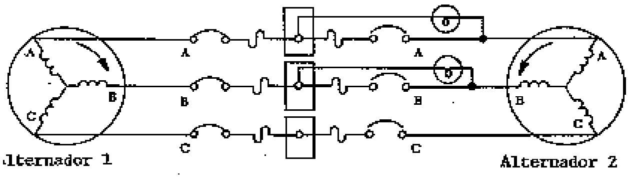


Figura 9-54 Circuito de luzes de sincronização.

Circuito de proteção dos alternadores

É importante que os alternadores em operação sejam desligados do sistema quando ocorrerem falhas elétricas. Para que um alternador seja retirado da barra quando houver pane no circuito, os disjuntores devem abrir rápida e automaticamente; caso contrário, o alternador poderia queimar. Para guarnecer de relés os disjuntores há diversos relés protetores no circuito.

A maioria desses relés é energizado por corrente contínua, visto que um equipamento CA similar geralmente é mais pesado e menos eficiente. A figura 9-55 mostra o circuito de controle e proteção do alternador. Incluído nele está um alternador, um contactor, um relé protetor de sobrecarga e um relé de proteção da corrente diferencial.

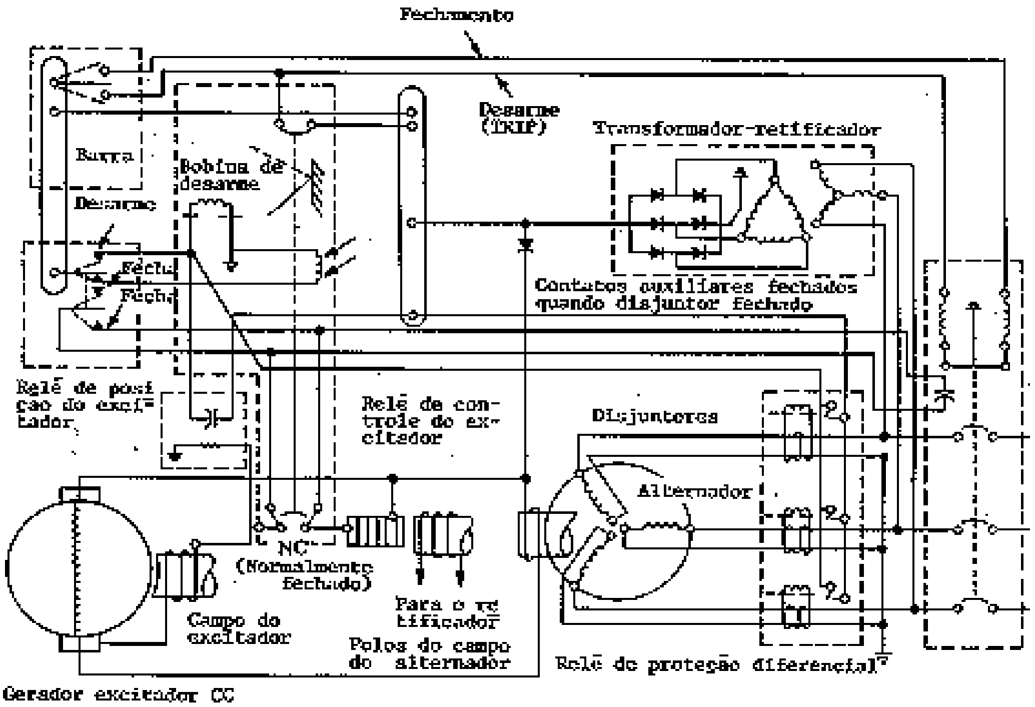

Fechamento
Desarme (TRIP)
Transformador-retificador
Barra
Bobina de desarme
Desarme
Fecha
Fecha
Contatos auxiliares fechados quando disjuntor fechado
Relé de posição do excitador
Relé de controle do excitador
Disjuntores
Alternador
NC (Normalmente fechado)
Para o retificador
Campo do excitador
Polos do campo do alternador
Relé de proteção diferencial
Gerador excitador CC

Figura 9-55 Circuito de controle e proteção dos alternadores.

No sistema de controle do alternador de aeronaves, encontramos: (1) o relé de controle do excitador, cuja finalidade é abrir ou fechar os circuitos de campo do excitador; e (2) o contactor da linha principal, que liga ou desliga o alternador da barra , e também abre ou fecha a corrente do campo do excitador.

O contactor da linha principal é fechado por um eletroímã de corrente contínua, chamado de bobina de fechamento (CLOSE). Esta bobina fecha os contatos. Eles são liberados por um segundo eletroímã, conhecido como bobina de desarme, ou "TRIP", a qual abre o circuito,. Somente o contato momentâneo dos circuitos de fechamento (CLOSE) e desarme (TRIP) são necessários para a operação.

Quando fechados, uma trava mecânica mantém os contatos fechados até que a trava seja liberada pela bobina de desarme (TRIP). Os contatos são feitos de ligas especiais capazes de interromper correntes de milhares de ampères, sem causar danos aos contatos.

Este contactor de 3 pólos na linha principal tem um contato auxiliar que fecha o circuito do campo do excitador sempre que os contatos principais se fecham. Isto é desejado, pois, o alternador pode estar fornecendo corrente de carga quando os contatos abrirem; neste caso, a excitação do campo deve ser reduzida ou removida. Por outro lado, o circuito de campo do excitador é mantido fechado até que os contatos principais abram, caso o relé de controle do excitador seja aberto previamente.

O relé de proteção do excitador mostrado no diagrama do circuito protetor da figura 9-57 é um relé operado termicamente. Ele opera toda vez que a corrente do campo do excitador aumentar o suficiente para causar danos ao funcionamento do alternador.

Se a qualquer momento, o alternador fornecer uma carga excessiva, tanto por um curto-circuito na linha ou pelo alternador que se torna inoperante, a voltagem do excitador aumenta para fornecer a carga maior do alternador, e o relé térmico fecha os contatos entre a barra de corrente e a bobina de desarme (TRIP). Isto abre o campo do excitador e, ao mesmo tempo, desliga o alternador da linha.

O relé de proteção de corrente diferencial é muito mais simples em operação do que o seu nome indica. Ele tem a finalidade de proteger o alternador de curtos internos, entre as fases ou a massa.

Enquanto existir a mesma intensidade de corrente em cada fase, entrando e saindo no alternador, o relé diferencial não opera, sem se importar quão intensas ou fracas sejam estas correntes.

Entretanto, se um curto ocorrer no interior do alternador em qualquer uma das fases, há uma diferença através das linhas; o relé opera, fechando o circuito pela bobina de desarme

(TRIP) do excitador, o qual, por sua vez, fecha o circuito da bobina de desarme (TRIP) do contactor da linha principal. A localização dos componentes num relé diferencial típico é mostrado na figura 9-56.

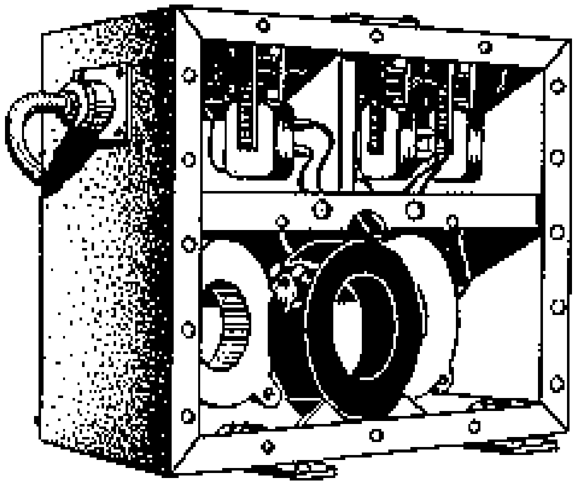


Figura 9-56 Relé de proteção de corrente diferencial.

Os dois fios de cada fase do alternador são passados através das aberturas circulares nos relés, e atuam como primários dos transformadores de corrente. À medida que a corrente flui em sentido oposto nos dois fios, através de cada abertura, seus campos magnéticos são cancelados e nenhuma corrente flui no secundário do transformador de corrente.

O relé não opera até que ocorra uma falha que desequilibre as correntes nestes dois condutores, e faça com que a corrente flua no secundário do transformador. A falha do relé de corrente diferencial seria coberta pelo relé de proteção do excitador.

A correção rápida das falhas internas diminui o perigo de incêndio e, também danos no sistema, quando os alternadores são ligados em paralelo de maneira inadequada. Uma ação de retardamento no relé de proteção do excitador permite a superexcitação por pequenos intervalos, para fornecer voltagem CC para a correção de falhas e para rápidas demandas de corrente além da capacidade do alternador. Ele também abre o contactor principal, e desliga a excitação do alternador quando os outros dispositivos protetores falharem.

MANUTENÇÃO DO ALTERNADOR

A manutenção e inspeção dos sistemas do alternador são semelhantes às dos sistemas CC. Verifica-se as escovas do excitador quanto a desgaste e estado das superfícies.

Nas aeronaves de grande porte, com dois ou quatro sistemas de alternador, cada painel de força tem três luzes de sinalização, cada uma ligada à fase de barra de força, de modo que a lâmpada acenda toda vez que o painel de força estiver ligado.

As barras individuais podem ser checadas pela operação do equipamento ligado à barra. As instruções do fabricante devem ser consultadas quanto à operação do equipamento e método de testagem de cada barra.

Testes de bancada são usados para testar os alternadores e transmissores de velocidade constante nas oficinas de reparo. Eles são capazes de fornecer energia para as unidades do transmissor (CSD) nas velocidades de entrada que variam de 2400 a 9000 RPM.

Um motor de bancada usa 220/440 volts, 60 ciclos trifásicos. Os ventiladores, radiadores de óleo, os instrumentos necessários e os interruptores fazem parte da bancada de teste. Os circuitos de teste são fornecidos por um banco (simulador) de carga. Um motor-gerador CA instalado para teste de bancada é mostrado na figura 9-57.

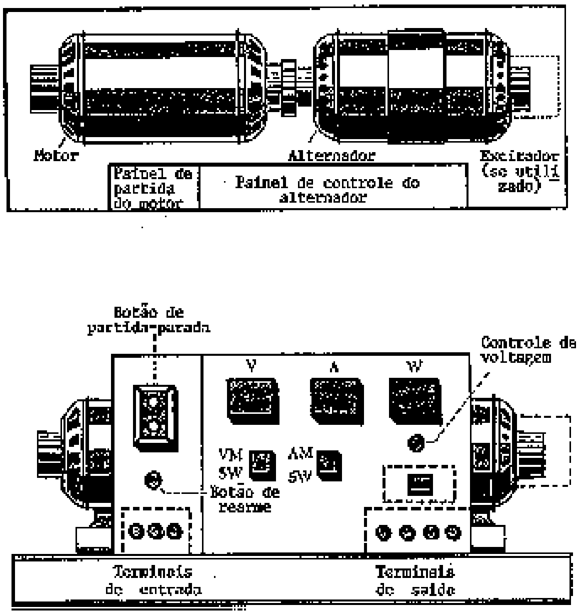


Figura 9-57 Conjunto Motor-gerador C.A. para teste no solo.

Um teste típico, portátil de sistema elétrico AC, é um analisador que possui um ohmímetro de multi-escala; uma combinação de multi-escala do voltímetro CA-CC; um amperímetro com um transformador de corrente do tipo “CLIP ON” fixado a um medidor de frequência do tipo lâmina vibratória; e uma luz de continuidade não instalada.

Uma unidade de banco de teste portátil fornece uma carga igual àquela usada na aeronave para testar os alternadores, seja montado nesta ou na oficina. Uma unidade completa consiste em cargas positivas e reativas, controladas por interruptores seletores e instrumentos instalados no painel de controle. Essa unidade de carga é compacta e conveniente, eliminando a dificuldade de operar grandes cargas no avião, enquanto estiver testando e ajustando os alternadores e equipamentos de controle.

Para uma manutenção adequada num alternador é necessário que a unidade seja mantida limpa, e que todas as ligações elétricas estejam firmes e em bom estado.

Se o alternador deixa de fornecer a voltagem especificada nas instruções técnicas do fabricante, primeiro testamos o voltímetro, verificamos as voltagens dos outros alternadores, ou a voltagem no alternador suspeito com outro voltímetro, comparando os resultados. Se o voltímetro estiver em bom estado, verificamos a fiação, as escovas e a unidade de transmissão. Se esta inspeção não identificar a pane, o excitador pode ter perdido o seu magnetismo residual. O magnetismo residual é recuperado através da excitação do campo.

Seguem-se as instruções do fabricante quando excitar o campo. Se, após a excitação do campo, não existir indicação de voltagem o alternador é substituído, pois ele provavelmente está com defeito. Limpamos a parte externa do alternador com o fluido adequado; lixamos suavemente a parte áspera ou picotada do comutador do excitador ou do anel do coletor com a lixa 000; limpamos e lustramos com um pano limpo e seco. As escovas são verificadas periodicamente, inspecionando o comprimento e a condição geral. Consultamos as instruções fornecidas pelo fabricante sobre o alternador específico, a fim de obter informações sobre as escovas corretas.

Pesquisa de panes

Para auxiliar a localizar, avaliar e corrigir as panes do alternador, utilizamos o seguinte quadro:

PANE	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO
Nenhum registro de voltagem.	Voltímetro com defeito. Regulador do voltímetro com defeito.	Retiar e substituir o voltímetro. Substituir o regulador. Substituir o alternador.
Baixa voltagem.	Ajuste inadequado do regulador.	Ajustar regulador de voltagem.
Indicação errônea do medidor.	Ligações frouxas. Medidor com defeito.	Apertar as ligações. Retirar e substituir o medidor.
A voltagem cai depois de um período de operação.	Regulador de voltagem não aquecido antes do ajuste.	Reajustar regulador de voltagem.

INVERSORES

O inversor é usado em alguns sistemas do avião com a finalidade de transformar uma parte da força CC em CA.

Esta CA é usada principalmente nos instrumentos, rádios, radar, iluminação e outros acessórios. Os inversores são construídos para fornecer uma corrente de 400 Hz, mas alguns são projetados para fornecer mais do que uma voltagem, por exemplo, 26 volts CA num enrolamento e 115 volts num outro.

Há dois tipos básicos de inversores: o rotativo e o estático. Qualquer tipo pode ser monofásico ou polifásico. O inversor polifásico é mais leve para a mesma potência nominal que o monofásico, mas existem complicações na distribuição da potência polifásica em manter as cargas equilibradas.

Inversores rotativos

Há diversos tamanhos, tipos e configurações de inversores rotativos. Esses inversores são essencialmente geradores CA e motores CC numa única carcaça. O campo do gerador, ou induzido, e o campo do motor, ou induzido, são montados num mesmo eixo que irá girar dentro da carcaça. Um tipo comum de inversor rotativo é o de ímã permanente.

Inversor rotativo de ímã permanente

O inversor de ímã permanente é composto de um conjunto motor CC e um gerador CA de ímã permanente.

Cada um possui um estator separado instalado dentro da mesma carcaça. O induzido do motor está montado sobre um rotor e ligado ao suprimento CC através de um conjunto coletor e escova.

Os enrolamentos do campo do motor estão montados na carcaça e ligados diretamente ao suprimento CC.

Um rotor de ímã permanente está montado na extremidade oposta do mesmo eixo, como o induzido do motor e os enrolamentos do estator estão montados na carcaça, permitindo que a corrente alternada seja obtida do inversor sem usar escovas.

A figura 9-58 mostra um diagrama da fiação interna para este tipo de inversor rotativo.

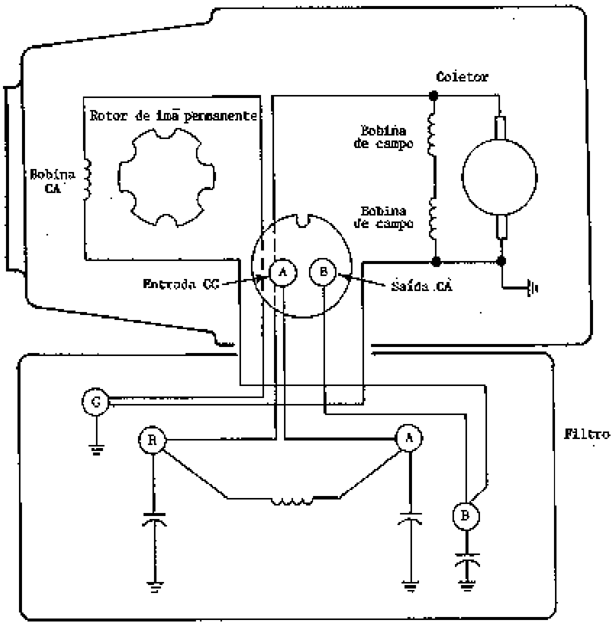


Figura 9-58 Diagrama da fiação interna de um inversor rotativo de imã permanente.

O rotor do gerador possui 6 pólos, magnetizados com a finalidade de fornecer pólos alternados norte e sul ao redor de sua circunferência.

Quando os campos do motor e do induzido são excitados, o rotor começa a girar. À medida que o rotor girar, o ímã permanece girará dentro das bobinas do estator CA, e o fluxo magnético desenvolvido será cortado pelos condutores nas bobinas do estator CA. Uma voltagem CA será produzida nos enrolamentos cuja polaridade variará à medida que cada pólo passar pelos enrolamentos.

Esse tipo de inversor pode ser construído multifásico, instalando-se mais bobinas do estator CA na carcaça, a fim de variar a fase adequadamente em cada bobina.

Conforme o nome indica o inversor rotativo tem um induzido móvel na seção do gerador CA.

A figura 9-59 mostra o diagrama de um inversor trifásico de induzido rotativo.

O motor CC neste inversor é um motor de enrolamento misto ou COMPOUND de quatro pólos.

As quatro bobinas de campo consistem em muitas espiras de fio fino e poucas espiras de fio grosso colocadas na parte superior.

O fio fino é o campo em paralelo, ligado à fonte CC através de um filtro, e à massa através de um governador centrífugo. O fio grosso é o campo em série, o qual é ligado em série com o induzido do motor.

O governador centrífugo controla a velocidade pela derivação(SHUNT) de um resistor que está em série com o campo em paralelo, quando o motor atingir uma certa velocidade.

O alternador é um gerador CA, trifásico, de quatro pólos e ligado em estrela.

A entrada de corrente contínua é fornecida às bobinas do campo do gerador, e ligadas à massa por um regulador de voltagem de pilha de carvão.

A saída é tirada pelo induzido por três anéis coletores para fornecer força trifásica.

O inversor seria um inversor monofásico se ele tivesse um enrolamento de induzido e um anel coletor. A frequência desta unidade é determinada pela velocidade do motor e pelo número de pólos do gerador.

Inversor rotativo do tipo indutor

Os inversores do tipo indutor usam um rotor feito de laminações de ferro doce com estrias laterais, através da superfície, e para fornecer pólos que correspondam ao número de pólos do estator como mostrado na figura 9-60.

As bobinas de campo são enroladas em um conjunto de pólos estacionários, e as bobinas do induzido CA sobre o outro conjunto de pólos estacionários.

Quando a corrente contínua for aplicada às bobinas de campo, será produzido um campo magnético.

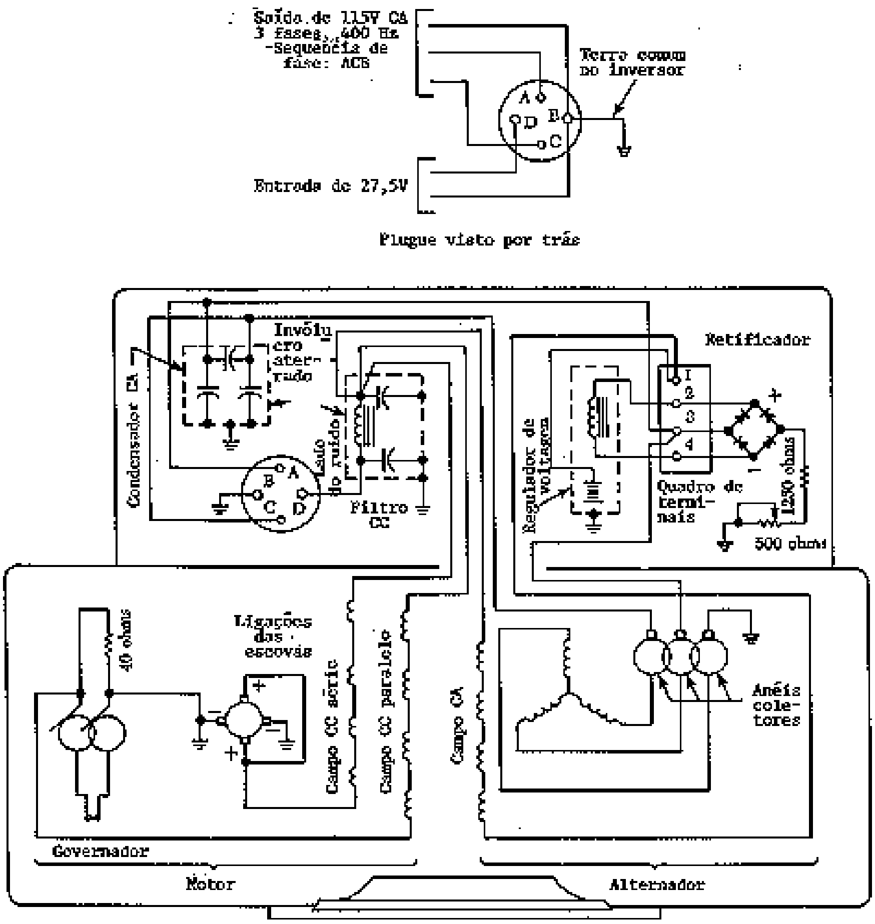

Saída de 115V CA
3 fases, 400 Hz
-Sequência de fase: ACB
Terra comum no inversor
A
B
C
D
Entrada de 27,5V
Plugue visto por trás
Invólucro aterrado
Condensador CA
Lado do ruído
Filtro CC
Retificador
Regulador de voltagem
1
2
3
4
Quadro de terminais
1250 ohms
500 ohms
40 ohms
Ligações das escovas
Campo CC série
Campo CC paralelo
Campo CA
Anéis coletores
Governador
Motor
Alternador

Figura 9-59 Diagrama da fiação interna de um inversor trifásico de induzido rotativo.

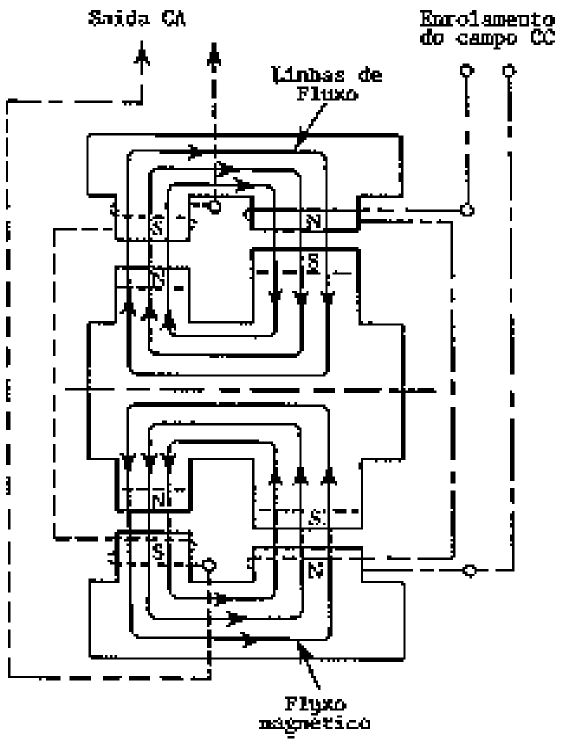

Saída CA
Enrolamento do campo CC
Linhas de Fluxo
S
N
S
N
N
S
S
N
Fluxo magnético

Figura 9-60 Diagrama de um inversor básico do tipo indutor.

O rotor gira dentro das bobinas de campo e, à medida que os pólos do rotor se alinham com os pólos estacionários, um caminho de baixa relutância do fluxo é estabelecido pelo pólo do campo, através dos pólos do rotor para o pólo do induzido CA, e através da carcaça para o pólo do campo. Neste caso, haverá uma grande intensidade de fluxo magnético envolvendo as bobinas CA.

Quando os pólos do motor estiverem entre os pólos estacionários, haverá um caminho de alta relutância para o fluxo, consistindo principalmente em ar; então, haverá uma pequena intensidade de fluxo magnético envolvendo as bobinas CA.Este aumento e redução na densidade do fluxo no estator induzem uma corrente alternada nas bobinas CA.

A frequência neste inversor é determinada pelo número de pólos e pela velocidade do motor. A voltagem é controlada pela corrente do campo do estator.

Um corte transversal de um inversor rotativo tipo indutor é visto na figura 9-61.

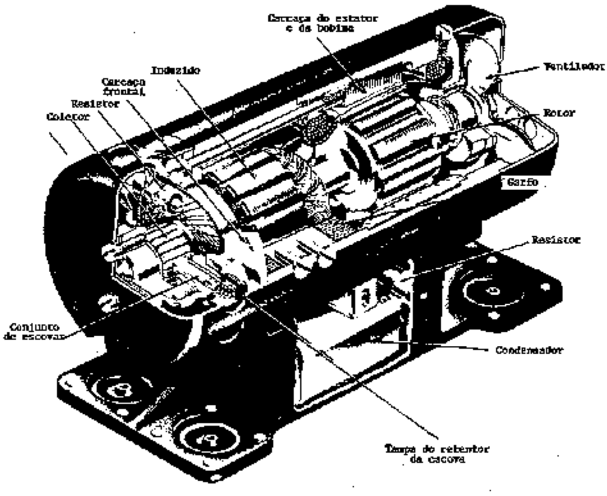

Carcaça do estator e da bobina
Induzido
Carcaça frontal
Resistor
Coletor
Ventilador
Rotor
Garfo
Resistor
Conjunto de escovas
Condensador
Tampa do retentor da escova

Figura 9-61 Vista em corte de um inversor rotativo do tipo indutor.

A figura 9-62 é um diagrama simplificado de um sistema típico de distribuição de força CA de avião, utilizando um sistema de inversor rotativo principal e um auxiliar.

Inversores estáticos

Em diversas aplicações onde uma voltagem CC deve ser transformada em voltagem CA, os inversores estáticos são usados em lugar dos inversores rotativos ou do conjunto motor-gerador.

O rápido progresso alcançado pela indústria de semicondutores está aumentando a área de aplicações deste equipamento em valores de voltagem e potência, que teriam sido impraticáveis alguns anos atrás. Algumas dessas aplicações são fontes de alimentação para equipamento CA comercial e militar sensíveis à frequência, sistema CA de emergência de avião e conversão de força de extensa gama de frequência de precisão.

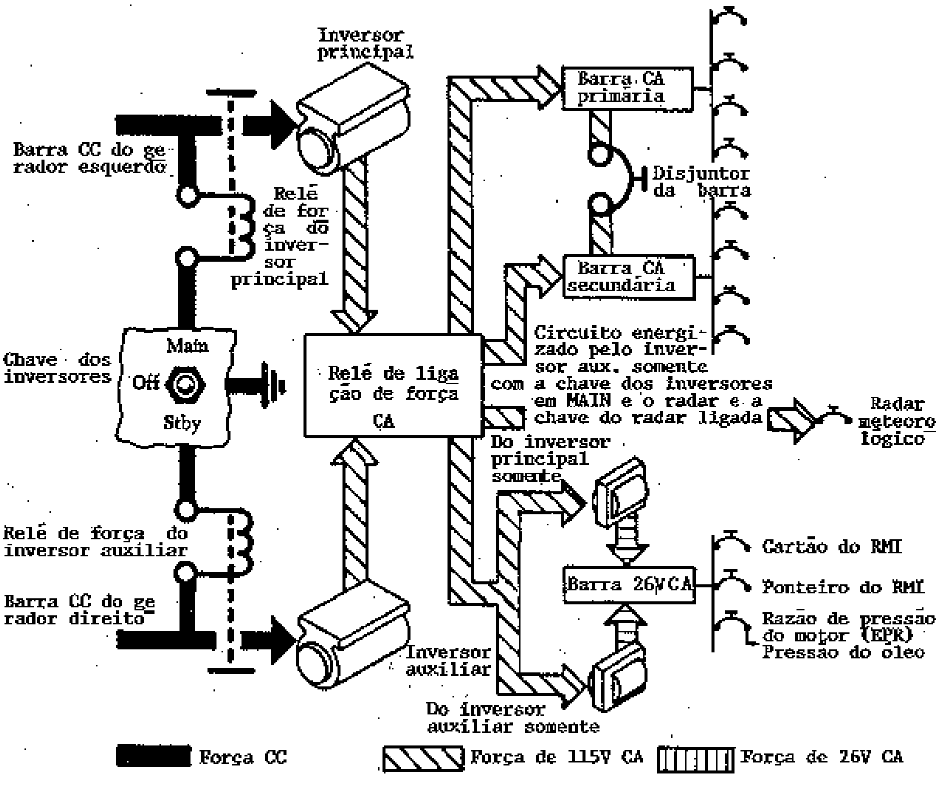

Inversor principal
Barra CC do gerador esquerdo
Relé de força do inversor principal
Chave dos inversores
Main
Off
Stby
Relé de ligação de força CA
Relé de força do inversor auxiliar
Barra CC do gerador direito
Inversor auxiliar
Do inversor auxiliar somente
Barra CA primária
Disjuntor da barra
Barra CA secundária
Circuito energizado pelo inversor aux. somente com a chave dos inversores em MAIN e o radar e a chave do radar ligada
Radar meteorológico
Do inversor principal somente
Barra 26V CA
Cartão do RMI
Ponteiro do RMI
Razão de pressão do motor (EPR)
Pressão do óleo
Força CC
Força de 115V CA
Força de 26V CA

Figura 9-62 Sistema típico de distribuição de força CA de aeronave com inversores principal e auxiliar.

O uso dos inversores estáticos em aviões pequenos também tem aumentado rapidamente nos últimos anos, e a tecnologia desenvolveu-se de tal forma que os inversores estáticos acham-se disponíveis para qualquer utilização do inversor rotativo.

Por exemplo, as alimentações CA de emergência de 250 VA operados pelas baterias de aeronaves em produção, bem como as alimentações principais CA de 2500 VA operadas por uma fonte geradora de frequência variável.

Este tipo de equipamento possui uma certa vantagem para as aplicações nas aeronaves, particularmente pela ausência de partes móveis e a adaptação para arrefecimento por condução.

Os inversores estáticos, conhecidos como inversores do estado sólido, são fabricados em grande variedade de tipos e modelos, o quais podem ser classificados pela forma de onda de saída CA e pelas capacidades de potência.

Um dos inversores estáticos mais usados produz uma saída de onda senoidal controlada. Um diagrama em bloco do inversor estático de onda regulada é mostrada na figura 9-63.

Esse inversor transforma a baixa voltagem CC em alta voltagem CA.

A voltagem de saída CA é mantida numa tolerância de voltagem muito pequena, uma variação típica menor do que 1%, mesmo com modificação total na carga.

Derivações de saída são normalmente fornecidas para permitir a seleção de várias voltagens; por exemplo, as derivações podem ser fornecidas para saídas CA de 105, 110 e 125 volts.

A regulagem de frequência está tipicamente dentro do limite de um ciclo para mudança de carga de 0 a 100%.

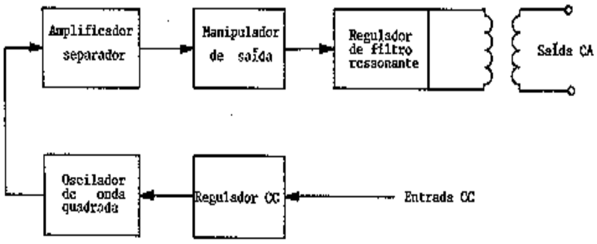

Amplificador separador
Manipulador de saída
Regulador de filtro ressonante
Saída CA
Oscilador de onda quadrada
Regulador CC
Entrada CC

Figura 9-63 Inversor estático de onda senoidal regulada.

Variações deste tipo de inversor estático estão disponíveis, muitas fornecem uma saída de onda quadrada.

Visto que os inversores estáticos usam componentes no estado sólido, eles são consideravelmente menores, mais compactos e muito mais leves que os inversores rotativos.

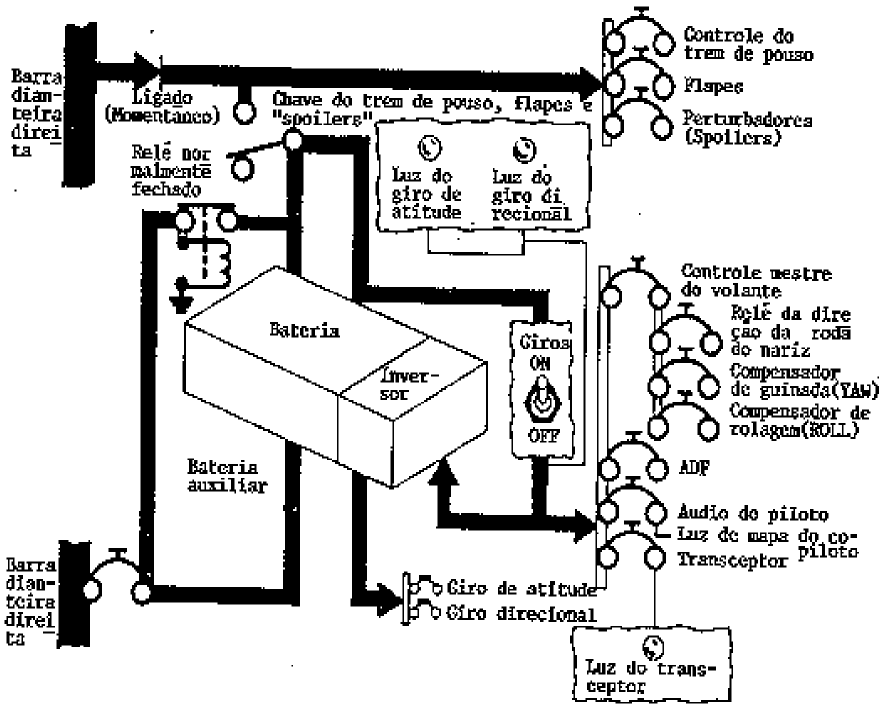

Barra dianteira direita
Ligado (Momentâneo)
Chave do trem de pouso, flapes e "spoilers"
Relé normalmente fechado
Luz do giro de atitude
Luz do giro direcional
Controle do trem de pouso
Flapes
Perturbadores (Spoilers)
Controle mestre do volante
Relé da direção da roda do nariz
Compensador de guinada(YAW)
Compensador de rolagem(ROLL)
ADF
Audio do piloto
Luz de mapa do co-piloto
Transceptor
Bateria
Inversor
Giros
ON
OFF
Bateria auxiliar
Barra dianteira direita
Giro de atitude
Giro direcional
Luz do transceptor

Figura 9-64 Sistema de bateria auxiliar com inversor estático

Dependendo da potência nominal de saída requerida, os inversores estáticos, que não são maiores do que um indicador típico de velocidade, podem ser usados em sistemas aviônicos. Algumas das características dos inversores estáticos são:

1- Alta eficiência;

2- Pouca manutenção, maior duração;

3- Nenhum período de aquecimento necessário;

4- Capaz de começar a operar sob carga;

5- Operação extremamente silenciosa; e

6- Reação rápida à mudança de carga.

Os inversores estáticos são comumente usados para fornecer energia para os instrumentos sensíveis à frequência, como giroscópio de atitude e o giroscópio direcional. Eles também fornecem energia para os indicadores e os transmissores AUTOSYN e MAGNESYN, giroscópio de razão, radar e outras aplicações a bordo. A figura 9-64 é um esquema de um sistema de bateria auxiliar de um pequeno avião a jato. Ela mostra a bateria como entrada para o inversor, e os circuitos de saída do inversor para vários subsistemas.

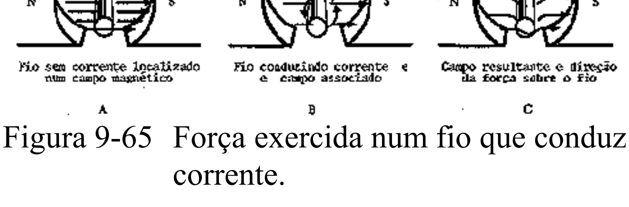
MOTORES ELÉTRICOS CC

A maioria dos aparelhos de uma aeronave, desde o motor de partida (STARTER) até o piloto automático, depende da energia mecânica fornecida pelos motores CC.

Um motor CC é uma máquina rotativa que transforma a energia elétrica CC em energia mecânica. Ele consiste em duas partes principais: o conjunto de campo e o conjunto rotor. O rotor é a parte móvel, na qual os fios condutores de corrente são atuados pelo campo magnético.

Sempre que um fio condutor de corrente é colocado no campo de um ímã, uma força atua sobre o fio. Esta força não é de atração nem de repulsão; entretanto, ela forma ângulos retos com o fio, e também com o campo magnético criado pelo ímã.

A ação da força sobre um fio conduzindo corrente colocado num campo magnético é mostrada na figura 9-65. Um fio está colocado entre dois ímãs permanentes. As linhas de força do campo magnético estendem-se desde o pólo norte até o pólo sul.



Fio sem corrente localizado num campo magnético
A

Fio conduzindo corrente e e campo associado
B

Campo resultante e direção da força sobre o fio
C

Figura 9-65 Força exercida num fio que conduz corrente.

Quando não há fluxo de corrente, como no diagrama "A", nenhuma força é exercida no fio, mas quando a corrente flui através dele, um campo magnético é criado ao redor, como mostrado no diagrama "B".

O sentido do campo depende do sentido do fluxo de corrente.

A corrente num sentido cria um campo horário ao redor do fio, e no sentido oposto, um campo anti-horário.

Visto que o fio condutor produz um campo magnético, uma reação ocorre entre o campo ao redor do fio e o campo magnético entre os ímãs.

Quando a corrente flui num sentido para criar um campo magnético anti-horário ao redor do fio, este campo e o campo entre os ímãs se somam ou reforçam na base do fio, porque as linhas de força estão no mesmo sentido.

Na extremidade superior do fio, eles se subtraem ou neutralizam, pois, as linhas de força nos dois campos estão em sentidos opostos. Assim sendo, o campo resultante na base é forte e na extremidade superior fraco.

Consequentemente, o fio é empurrado para cima, como mostra o diagrama "C" da figura 9-65. O fio é sempre afastado do lado onde o campo é mais forte.

Se o fluxo de corrente através do fio invertesse o sentido, os dois campos aumentariam na extremidade e diminuiriam na base. Como o fio é sempre afastado do lado mais forte, o fio seria empurrado para baixo.

Força entre condutores paralelos

Dois fios conduzindo corrente, próximos um do outro, exercem uma força entre si devido a seus campos magnéticos.

As extremidades dos dois condutores são vistas na figura 9-66.

Em "A", o fluxo de elétrons nos dois condutores está no sentido do leitor, e os campos magnéticos estão no sentido horário ao redor dos condutores.

Entre os fios, os campos se anulam porque eles se opõem entre si. Os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, um no sentido do outro.

Esta força é denominada atração.

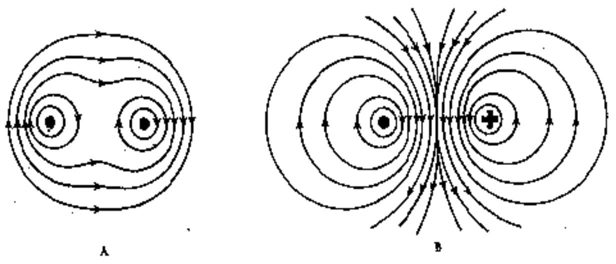


Figura 9-66 Campos que circundam condutores paralelos.

Em “B” da figura 9-66, o fluxo de elétrons nos dois fios está em sentido oposto. Os campos magnéticos estão, portanto, um no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, como pode ser observado. Os campos reforçam-se entre os fios, e os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, oposto um ao outro. Esta força é denominada repulsão.

Resumindo: Os condutores de corrente no mesmo sentido tendem a ser atrair; os condutores de corrente no sentido oposto tendem a se repelir.

Desenvolvimento de torque

Se uma bobina na qual está fluindo corrente é colocada num campo magnético, uma força é produzida e faz com que a bobina gire.

Na bobina mostrada na figura 9-67, a corrente flui para dentro no lado “A” e para fora no lado “B”.

O campo magnético ao redor de “B” está no sentido horário, e ao redor de “A”, no sentido anti-horário.

Como explicado anteriormente, será desenvolvida uma força que forçará o lado “B” para baixo.

Ao mesmo tempo, o campo dos ímãs e o campo ao redor de “A”, cuja corrente está “para dentro”, aumentará na base e diminuirá na extremidade superior. Portanto, “A” movimentar-se-á para cima.

A bobina, dessa forma, girará até que seu plano esteja perpendicular às linhas magnéticas entre os pólos norte e sul do ímã, como indicado na figura 9-67 pela bobina branca, em ângulos retos com a bobina preta.

A tendência de uma força a produzir rotação é denominada torque. Quando o volante de direção de um carro é acionado, o torque é aplicado.

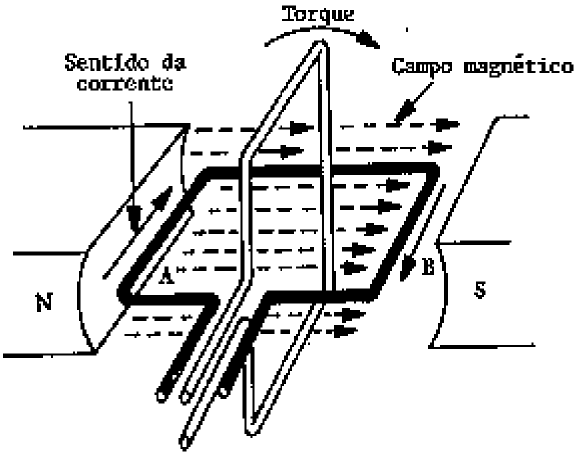


Figura 9-67 Desenvolvimento do torque.

O motor de avião proporciona torque à hélice. O torque é desenvolvido ainda pela reação dos campos magnéticos ao redor da bobina condutora de corrente acima descrita. Este é o torque que faz com que a bobina gire.

A regra da mão direita do motor pode ser usada para determinar o sentido no qual um fio condutor de corrente movimentar-se-á num campo magnético.

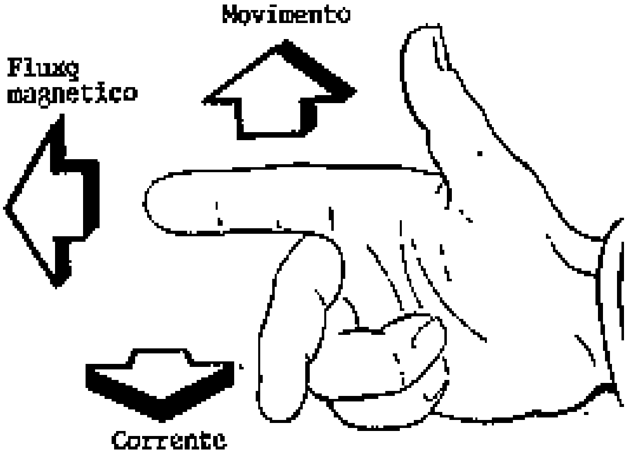


Figura 9-68 Regra da mão direita do motor.

Como ilustrado na figura 9-68, se o dedo indicador da mão direita estiver apontado no sentido do campo magnético, e o dedo médio no sentido do fluxo da corrente; o polegar indicará o sentido em que o fio condutor de corrente mover-se-á.

A intensidade de torque desenvolvido numa bobina depende de vários fatores: a força do campo magnético, o número de espiras na bobina e a posição desta no campo. Os ímãs são feitos de aço especial que produz um campo forte.

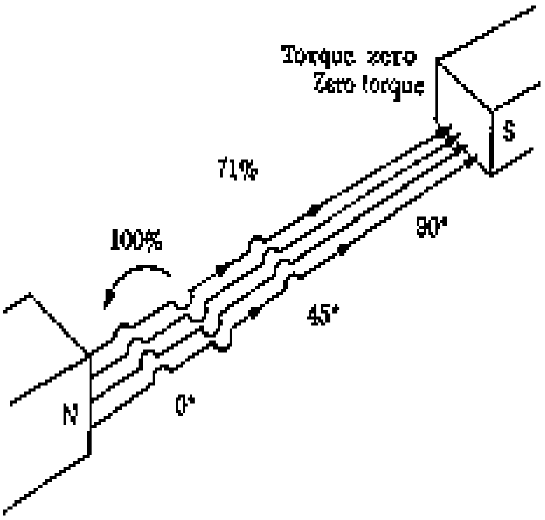


Figura 9-69 Torque numa bobina em diversos ângulos de rotação.

Visto que existe um torque atuando em cada espira, quanto maior for o número de espiras na bobina maior será o torque.

Numa bobina condutora de corrente contínua localizada num campo magnético uniforme, o torque variará em posições sucessivas de rotação, como mostra a figura 9-69.

Quando o plano da bobina estiver em paralelo com as linhas de força, o torque será zero.

Quando o plano cortar as linhas de força em ângulo reto, o torque será de 100%. Nas posições intermediárias, o torque variará de zero a 100%.

Motor CC básico

Uma bobina de fio, através da qual a corrente flui, girará quando colocada num campo magnético. Esta é a base técnica que regula a construção de um motor CC. A figura 9-70 mostra uma bobina instalada num campo magnético onde ela pode girar.

Entretanto, se a ligação dos fios da bateria fosse fixada permanentemente aos terminais da bobina, e se houvesse fluxo de corrente; a bobina giraria somente até que ela estivesse alinhada com o campo magnético.

Então ela pararia, porque o torque naquele ponto seria zero. Um motor, naturalmente, deve continuar a girar.

É necessário, portanto, projetar um dispositivo que inverterá a corrente na bobina exatamente na hora em que a bobina ficar paralela às linhas de força.

Isto criará um novo torque e provocará a rotação da bobina.

Se o dispositivo inversor da corrente for instalado para inverter a corrente toda vez que a bobina estiver quase parando, a bobina poderá continuar girando enquanto for desejado.

Um método de fazer isto é ligar o circuito, de modo que, à medida que a bobina girar, cada contato deixe o terminal ao qual está ligado e passe ao terminal de polaridade oposta. Em outras palavras, os contatos das bobinas trocam de terminais continuamente enquanto a bobina gira, preservando o torque e mantendo a bobina girando.

Na figura 9-70, os segmentos dos terminais da bobina são marcados com as letras “A” e “B”.

À medida que a bobina gira, os segmentos se deslocam, passando sobre e fora dos terminais fixos ou escovas.

Com este mecanismo, o sentido da corrente no lado da bobina, próximo ao pólo norte procurado, flui na direção do leitor, e a força atuante naquele lado da bobina faz com que ela gire para baixo.

A parte do motor que transfere a corrente de um fio para o outro é denominado coletor.

Quando a bobina estiver posicionada como mostrado em “A” da figura 9-70, a corrente fluirá do terminal negativo da bateria para a escova negativa (-), para o segmento “B” do coletor, através da espira, para o segmento “A” do coletor para a escova positiva (+), e então, retorna ao terminal positivo da bateria.

Pela utilização da regra da mão direita do motor, observa-se que a bobina girará no sentido anti-horário.

O torque nesta posição da bobina é máximo, visto que o maior número de linhas de força está sendo cortado pela bobina.

Quando a bobina tiver girado 90º para a posição mostrada em “B” da figura 9-70, os segmentos “A” e “B” do coletor não farão contato com o circuito da bateria, e nenhuma corrente poderá fluir através da bobina.

Nesta posição, o torque alcança um valor mínimo, visto que um número mínimo de linhas de força está sendo cortado.

Entretanto, a energia cinética da bobina a conduz além desta posição, até que os segmentos entrem novamente em contato com as escovas, e a corrente novamente entra na bobina; neste momento, entretanto, ela entra no segmento "A", e sai pelo segmento "B".

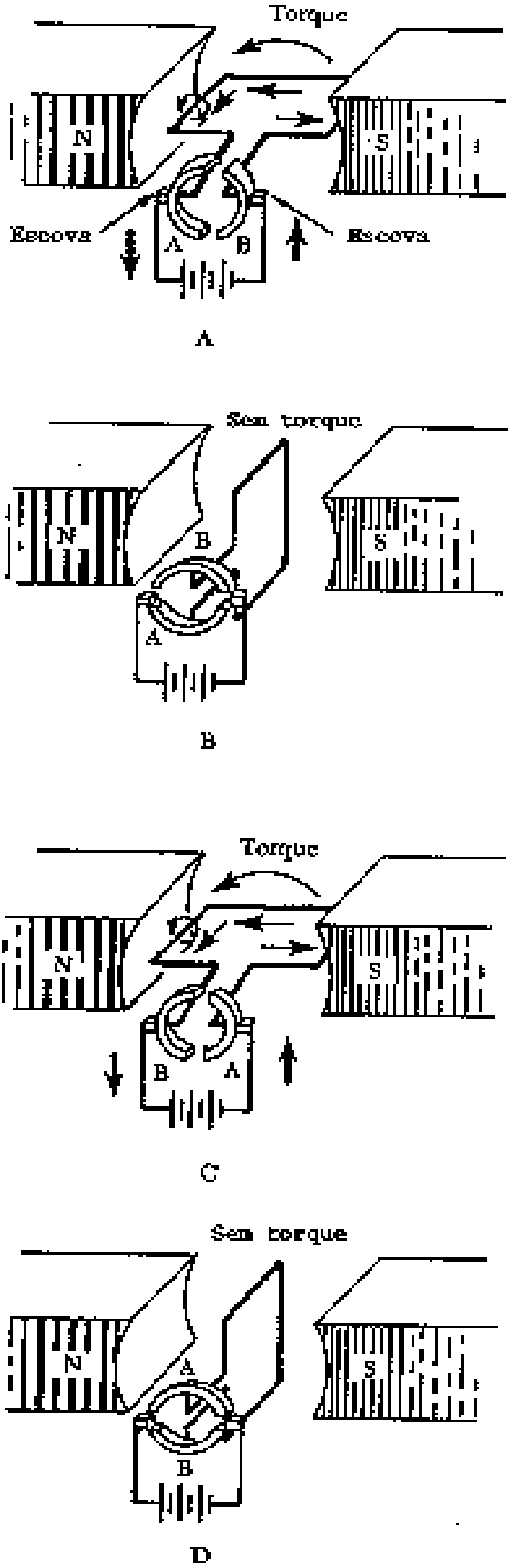


Figura 9-70 Funcionamento do motor CC básico.

Assim sendo, como as posições dos segmentos "A" e "B" também estão invertidas, o efeito da corrente é como antes, o torque atua no mesmo sentido e a bobina continua sua rotação no sentido anti-horário.

Passando pela posição mostrada em "C" da figura 9-70, o torque novamente atinge o valor máximo.

A rotação contínua leva a bobina novamente para uma posição de torque mínimo, como em "D" da figura 9-70.

Nesta posição, as escovas não conduzem corrente, mas outra vez a energia cinética faz com que a bobina gire para um ponto onde a corrente entra pelo segmento "B" e sai pelo segmento "A".

Uma rotação adicional conduz a bobina ao ponto de partida e, sendo assim, uma rotação é completada.

A transferência dos terminais da bobina da escova positiva para a escova negativa ocorrer duas vezes em cada rotação da bobina.

O torque num motor que contém somente uma bobina não é contínuo nem muito eficiente, porquanto há duas posições onde o torque é nulo.

Para corrigir isto, um motor CC prático contém um grande número de bobinas enroladas sobre o rotor.

Essas bobinas estão espaçadas de modo que, em qualquer posição do rotor, haverá bobinas próximas aos pólos do ímã. Isto torna o torque contínuo e forte.

O coletor, da mesma forma, contém grande número de segmentos ao invés de somente dois.

O rotor de um motor DC prático não é instalado entre os pólos de um ímã permanente, mas sim entre os pólos de um eletroímã, visto que um campo magnético mais forte pode ser obtido.

O núcleo é geralmente feito de ferro doce ou recozido, que pode ser magnetizado fortemente pela indução. A corrente magnetizadora do eletroímã é da mesma fonte que fornece corrente para o rotor.

Construção do motor CC

As partes principais de um motor prático são: o conjunto do campo, o conjunto da escova e a extremidade da carcaça. Ver figura 9-71.

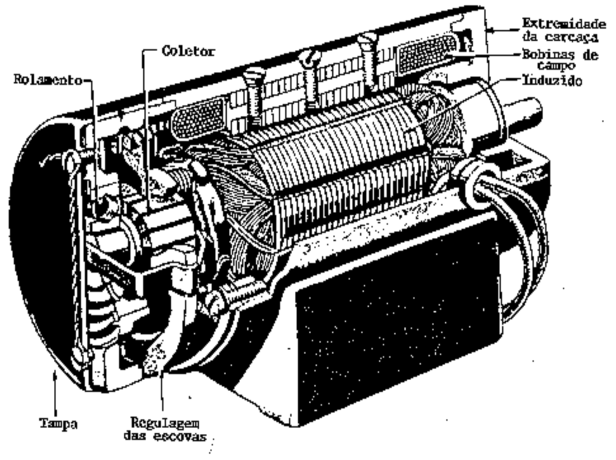


Figura 9-71 Vista em corte de um motor CC prático.

Conjunto do rotor

O conjunto do rotor contém um núcleo de ferro doce laminado, bobinas e um coletor, todos instalados em um eixo rotativo de aço.

As laminações feitas de chapas de ferro doce, isoladas uma das outras, formam o núcleo do rotor.

O ferro maciço não é usado, visto que o núcleo de ferro maciço rotativo no campo magnético se aqueceria e dissiparia uma energia desnecessária.

Os enrolamentos do motor são fios de cobre isolados que estão inseridos nas fendas isoladas por papel de fibra para proteger os enrolamentos.

As extremidades dos enrolamentos são ligadas aos segmentos do coletor. Cunhas ou tiras de aço mantêm os enrolamentos no lugar, impedindo-os de sair das fendas quando o rotor estiver girando em altas velocidades.

O coletor consiste em grande número de segmentos de cobre, isolados uns dos outros e do eixo do rotor, por pedaços de mica. Anéis em cunha isolados mantêm os segmentos fixos no lugar.

Conjunto do campo

Este conjunto consiste na carcaça do campo, peças polares e bobinas do campo. A carcaça do campo está localizada na parte interna da parede do alojamento do motor. Ela contém peças polares de aço doce laminado, onde as bobinas de campo estão enroladas.

Uma bobina, que consiste em diversas espiras de fio isolado, encaixa-se em cada peça polar e, junto com o pólo, constitui um pólo de campo.

Alguns motores têm dois pólos, outros têm tanto quanto oito pólos.

Conjunto das escovas

O conjunto consiste nas escovas e seus porta-escovas. As escovas geralmente são blocos pequenos de carvão grafite, visto que esta matéria tem grande duração em operação, e ainda reduz o desgaste do coletor.

Os porta-escovas permitem alguma folga nas escovas, de modo que elas possam acompanhar qualquer irregularidade na superfície do coletor, além de fazerem um bom contato. As molas retêm as escovas firmemente contra o coletor. Um coletor e dois tipos de escovas são mostrados na figura 9-72.

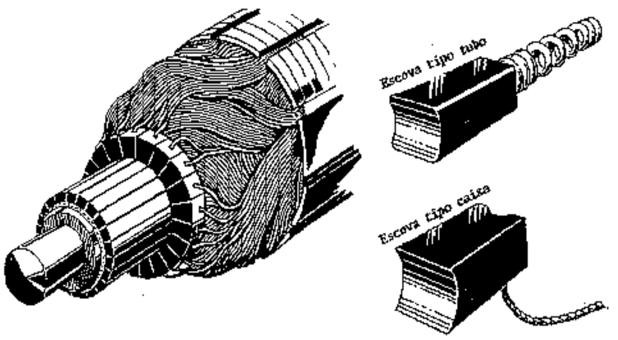


Figura 9-72 Coletor e escovas.

Extremidades da carcaça

Esta é a parte do motor oposta ao coletor. Geralmente, a extremidade de carcaça é projetada de modo que possa ser fixada à unidade a ser acionada.

O rolamento para o acionamento final está localizado na extremidade da carcaça.

Algumas vezes, a extremidade é constituída por uma parte da unidade acionada pelo motor. Quando isto é feito, o rolamento na extremidade do acionamento pode ser localizado em qualquer um de vários lugares.

Tipos de motores CC

Há três tipos básicos de motores CC: (1) motores em série, (2) motores em paralelo ou SHUNT e (3) motores mistos ou COMPOUND.

Eles diferem amplamente no método pelo qual seu campo e as bobinas do rotor estão ligados.

Motor CC em série

Neste tipo de motor, os enrolamentos do campo, que consistem relativamente de algumas espiras de fio grosso, são ligados em série com o enrolamento do rotor.

As ilustrações do sistema e do esquema de um motor enrolado em série são mostradas na figura 9-73.

A mesma corrente que flui pelo campo, flui também pelo enrolamento do rotor. Qualquer aumento na corrente, portanto, fortalece o magnetismo do campo e do rotor.

Devido à baixa resistência nos enrolamentos, o motor enrolado em série é capaz de consumir uma grande corrente na partida.

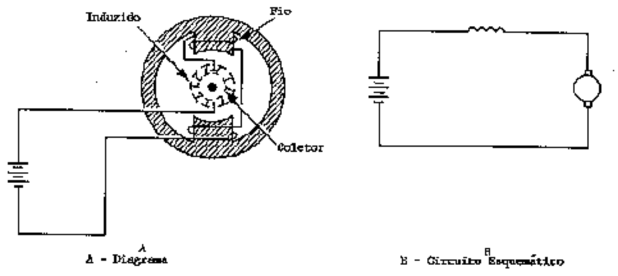


Figura 9-73 Motor CC em série.

Esta corrente inicial, passando através dos enrolamentos do campo e do rotor, produz um torque inicial elevado, que é a principal vantagem do motor em série.

A velocidade de um motor em série depende da carga. Qualquer mudança na carga é acompanhada por uma mudança substancial na velocidade.

Um motor em série funcionará em alta velocidade quando ele possuir uma carga leve e em baixa velocidade com uma carga pesada. Se a carga for retirada completamente, o motor poderá operar com tão alta velocidade que desmantelará o rotor.

Se o alto torque inicial for necessário, sob condições de carga pesada, os motores em série terão muitas aplicações. Eles são mais frequentemente usados em aviões com motor de partida e para recolher a arriar os trens de pouso, flapes da capota e os flapes da asa.

Motor CC em pararelo (SHUNT)

No motor em paralelo, o enrolamento do campo é ligado em paralelo, também chamado derivação, com o enrolamento do rotor. (Ver figura 9-74). A resistência do enrolamento do campo é alta. Visto que o enrolamento do campo é ligado diretamente em paralelo com a fonte de alimentação, a corrente através do campo é constante.

A corrente do campo não varia com a velocidade do motor como no motor em série e, portanto, o torque do motor em paralelo variará somente com a corrente através do rotor. O torque desenvolvido na partida é menor que o do motor em série do mesmo tamanho.

A velocidade do motor em paralelo varia muito pouco com variações da carga. Quando toda a carga é retirada, ele adquire uma velocidade um pouco maior do que a velocidade com carga. Este motor é particularmente adequado para ser usado quando a velocidade constante for desejada, e quando um torque inicial alto não for necessário.

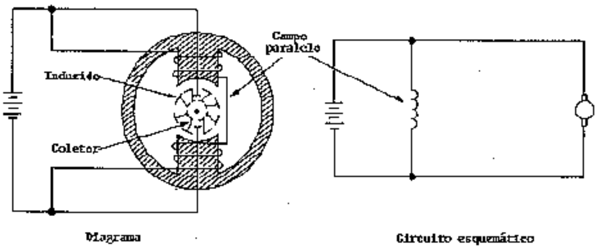


Figura 9-74 Motor CC em paralelo (Shunt).

Motor CC misto (COMPOUND)

O motor misto é uma combinação dos motores em série e em paralelo.

Há dois enrolamentos no campo: um enrolamento em paralelo e um enrolamento em série. Um esquema de um motor misto é mostrado na figura 9-75.

O enrolamento em paralelo é composto de muitas espiras de fio fino, e também ligado com o enrolamento do rotor.

O enrolamento em série consiste em poucas espiras de fio grosso e também está ligado em série com o enrolamento do rotor. O torque inicial é maior do que no motor em paralelo, e menor do que no motor em série.

A variação da velocidade com a carga é menor do que num motor em série e maior do que num motor em paralelo. O motor misto é usado sempre onde as características combinadas dos motores em série e em paralelo são desejadas.

Semelhante ao gerador misto, o motor misto possui enrolamentos de campo em série e em paralelo.

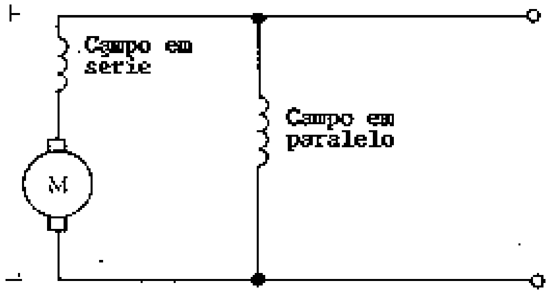


Figura 9-75 Motor CC misto (Compound).

Devido ao campo em série, o motor misto acumulativo possui um torque inicial maior do que no motor em paralelo. Estes motores são usados em acionamento de máquinas, que estão sujeitas a mudanças repentinas na carga. Eles são também usados quando um torque inicial for necessário, havendo restrição ao uso de um motor em série.

No motor misto diferencial, um aumento na carga cria um aumento na corrente e uma redução no fluxo total neste tipo de motor. Estas duas características tendem a se autocompensar, e o resultado é uma velocidade praticamente constante. Entretanto, visto que um aumento na carga diminui a força do campo, a característica da velocidade torna-se instável. Raramente este tipo de motor é usado nos sistemas de aeronaves.

Um gráfico da variação da velocidade com variações de cargas nos vários tipos de motor CC é mostrado na figura 9-76.

Força contra-eletromotriz

A resistência do rotor de um motor pequeno de 28 volts CC é muito baixa, de quase 0,1 ohm. Quando o rotor for ligado a uma fonte de 28 volts, a corrente que passa pelo rotor aparentemente será de I = E/R = 28/0,1 = 280 ampères.

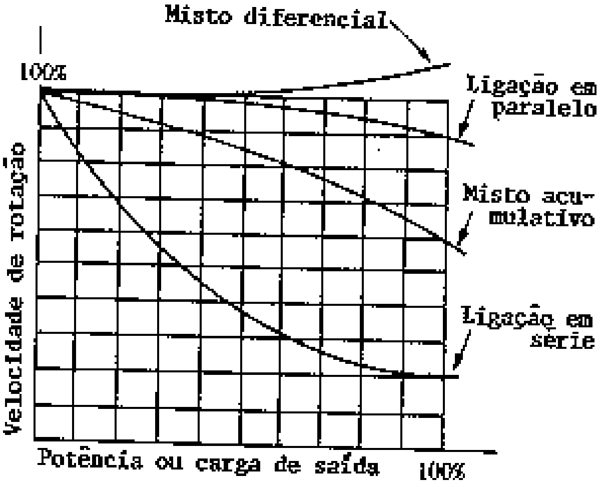


Figura 9-76 Características de carga de motores CC.

Este alto valor de fluxo de corrente não é somente impraticável, mas também irracional, principalmente quando o consumo de corrente, durante a operação normal de um motor, é de aproximadamente 4 ampères.

Isto é porque a corrente através do rotor do motor, durante a operação, é determinada por mais fatores do que só pela resistência ôhmica.

Quando o rotor de um motor gira num campo magnético, uma voltagem é induzida em seus enrolamentos. Esta voltagem é chamada de força contra-eletromotriz, e é de sentido contrário à voltagem aplicada ao motor pela fonte externa. A força contra-eletromotriz se opõe à corrente que faz com que o rotor gire.

A corrente que flui através do rotor, portanto, diminui à medida que a força contra-eletromotriz aumenta. Quanto mais rápido o rotor girar, maior será a força contra-eletromotriz. Por esta razão, um motor ligado a uma bateria pode puxar uma corrente razoavelmente alta na partida, mas à medida que a velocidade do rotor aumenta, o fluxo de corrente através do rotor diminui.

Numa certa velocidade, a força contra-eletromotriz pode ser somente alguns volts menor do que a voltagem da bateria. Sendo assim, se a carga no motor for aumentada, o motor diminuirá a velocidade, uma força contra-eletromotriz menor será gerada e a corrente fornecida pela fonte externa aumentará. Num motor misto, a força contra-eletromotriz afeta somente a corrente no rotor, visto que o campo é ligado em paralelo com a fonte de alimentação.

A medida que o motor diminui a velocidade, e a força contra-eletromotriz diminui, mais corrente flui através do rotor, mas o magnetismo no campo é invariável. Quando o motor em série gira lentamente, a força contra-eletromotriz diminui e mais corrente flui através do campo do rotor, fortalecendo seus campos magnéticos. Devido a estas características, é mais difícil trancar um motor em série do que um motor em paralelo.

Tipos de trabalho

Os motores elétricos são construídos para operar sob várias condições. Alguns motores são usados para trabalho intermitente; outros trabalham continuamente.

Os motores construídos para trabalho intermitente podem ser operados somente por curtos períodos, antes de operar novamente.

Se tal motor for operado por longos períodos sob carga pesada, o motor será superaquecido.

Os motores construídos para trabalho contínuo podem operar com uma determinada potência durante longos períodos.

Inversão do sentido de rotação do motor

Invertendo-se o sentido do fluxo de corrente no rotor ou nos enrolamentos do campo, o sentido da rotação do motor pode ser invertido. Isto inverterá o magnetismo do rotor ou do campo magnético no qual o rotor gira.

Se os fios que ligam o motor à fonte externa forem intercambiados, o sentido da rotação não será invertido, visto que, trocando-se estes fios, inverte-se o magnetismo do campo e do rotor, e mantém-se o torque no mesmo sentido que antes.

Um método de inverter o sentido da rotação emprega dois enrolamentos de campo enrolados em sentido oposto no mesmo pólo.

Este tipo de motor é chamado motor reversível. A figura 9-77 mostra um motor em série com um enrolamento de campo em duas seções.

O interruptor tipo SPDT (unipolar de duas seções) torna possível conduzir corrente através dos dois enrolamentos. Quando o interruptor for colocado na posição inferior (A), a corrente flui através do enrolamento do campo inferior, criando um pólo norte no enrolamento do campo inferior e na peça inferior, e um pólo sul na peça polar superior.

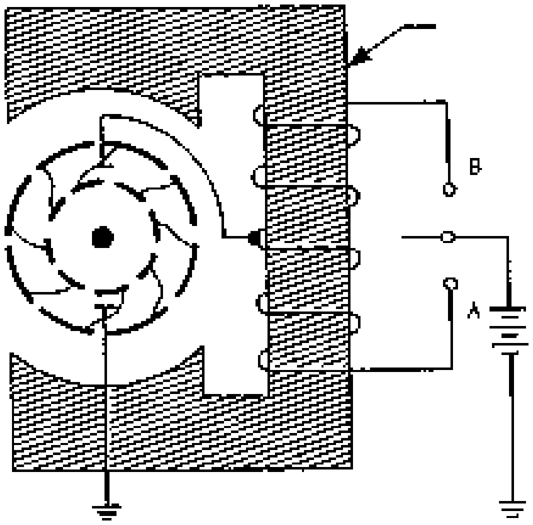


Figura 9-77 Motor em série com enrolamento de campo em duas seções.

Quando o interruptor for colocado na posição superior (B), a corrente fluirá através do enrolamento do campo superior, o magnetismo do campo será invertido e o rotor girará no sentido oposto.

Alguns motores reversíveis são constituídos de dois enrolamentos de campo, separados e enrolados sobre pólos alternados. O rotor neste motor, um motor reversível de quatro pólos, gira num sentido quando a corrente flui através dos enrolamentos de um conjunto de peça polares opostas, e em sentido oposto quando a corrente flui através do outro conjunto de enrolamentos.

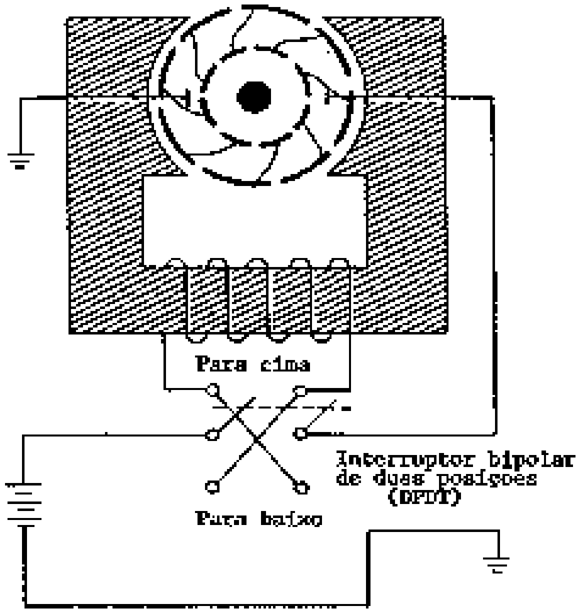


Figura 9-78 Método do interruptor para inversão do sentido de rotação do motor.

Um outro método de inversão do sentido, chamado de método do interruptor, emprega um interruptor do tipo DPDT (bipolar de duas posições), que inverte o sentido do fluxo de corrente no rotor ou no campo. Na ilustração do método do interruptor mostrada na figura 9-78, o sentido da corrente pode ser invertido através do campo, mas não pelo rotor.

Quando o interruptor for posicionado em “A”, a corrente fluirá através do enrolamento do campo para criar um pólo norte no lado direito do motor, e um pólo sul no lado esquerdo. Quando o interruptor for posicionado em “B”, esta polaridade será invertida e o rotor girará no sentido oposto.

Velocidade de rotação do motor

A velocidade do motor pode ser controlada pela variação da corrente nos enrolamentos do campo. Quando a intensidade da corrente que flui através dos enrolamentos for aumentada, a força do campo aumentará, mas o motor diminuirá a velocidade visto que uma intensidade maior de força contra-eletromotriz será gerada nos enrolamentos do rotor.

Quando a corrente de campo diminui, a intensidade do campo diminui e o motor acelera porque a força contra-eletromotriz é reduzida. Um motor cuja rotação pode ser controlada é chamado de motor de velocidade variável. Ele pode ser também um motor em paralelo ou em série.

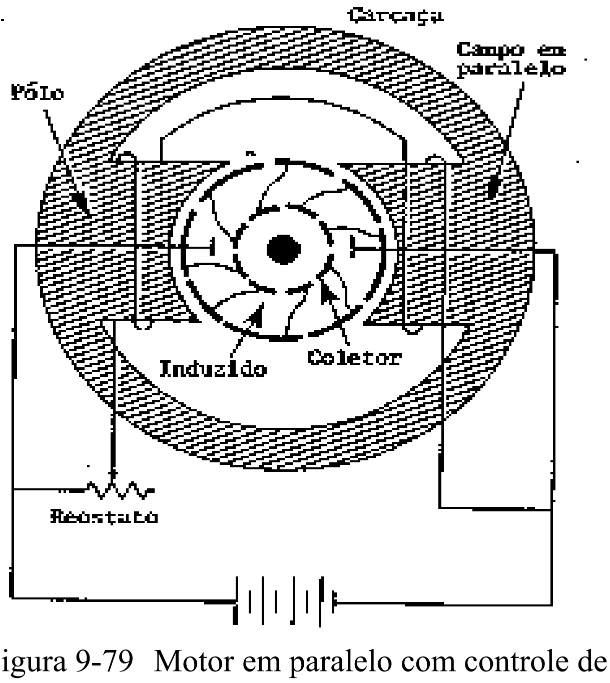


Figura 9-79 Motor em paralelo com controle de variação de velocidade.

Num motor paralelo, a velocidade é controlada por um reostato em série com os enrolamentos do campo (figura 9-79). A velocidade depende da intensidade da corrente que flui através do reostato para os enrolamentos do campo.

Para aumentar a velocidade do motor, a resistência do reostato é aumentada, reduzindo a corrente do campo.

Como resultado, há uma redução na força do campo magnético e na força contra-eletromotriz. Com isto há um aumento momentâneo na corrente do rotor e no torque. O motor então acelerará automaticamente até que a força contra-eletromotriz aumente e provoque uma redução na corrente do rotor, atingindo seu valor inicial.

Quando isto ocorrer, o motor operará numa velocidade fixa e mais elevada do que antes.

Para reduzir a velocidade do motor, a resistência do reostato é reduzida. Mais corrente flui através dos enrolamentos do campo e aumenta sua força; então, a força contra-eletromotriz aumenta momentaneamente e diminui a corrente do rotor.

Consequentemente, o torque diminui e o motor opera em baixa velocidade até que a força contra-eletromotriz seja reduzida para seu valor inicial; então o motor opera numa velocidade fixa mais baixa do que antes.

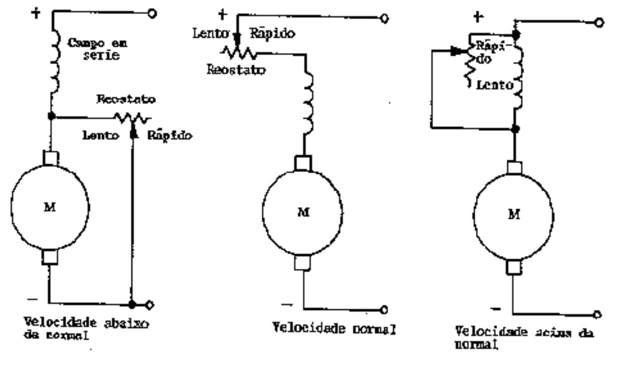


Figura 9-80 Controle da velocidade de um motor CC em série.

No motor em série (figura 9-80), o reostato de controle de velocidade está ligado em paralelo ou em série com o campo do motor, ou em paralelo com o rotor.

Quando o reostato for ajustado para resistência máxima, a velocidade aumentará na ligação do rotor em paralelo por uma redução na corrente. Quando a resistência do reostato for máxima na ligação em série, a velocidade do motor será reduzida pelo decréscimo da voltagem no motor.

Em operação com a velocidade acima da normal, o reostato estará em paralelo com o campo em série. Parte da corrente do campo em série é desviada e a velocidade do motor aumenta.

Perdas de energia nos motores CC

As perdas ocorrem quando energia elétrica é transformada em energia mecânica (no motor), ou energia mecânica é transformada em energia elétrica (no gerador).

Para a máquina ser eficiente, estas dissipações devem ser mantidas num valor mínimo. Algumas perdas são elétricas, outras são mecânicas. As perdas elétricas são classificadas como perdas de cobre e perdas de ferro; as perdas mecânicas ocorrem ao vencer a fricção de várias partes da máquina.

As perdas de cobre ocorrem quando os elétrons são forçados através dos enrolamentos de cobre do rotor e do campo. Elas são proporcionais ao quadrado da corrente. Às vezes elas são denominadas de perdas I2 R, visto que elas são decorrentes da energia dissipada em forma de calor na resistência do campo e nos enrolamentos do rotor.

As perdas de ferro são subdivididas em pedra por correntes histereses e correntes parasitas (EDDY). As correntes histereses são provocadas pelo movimento do rotor num campo magnético alternado. Ele, portanto, torna-se primeiro magnetizado num sentido e depois em outro.

O magnetismo residual do ferro ou do aço, do qual o rotor é fabricado, provoca essas perdas. Sabendo-se que os ímãs de campo são sempre magnetizados num único sentido (campo CC), eles não têm perdas por histereses.

As perdas por correntes parasitas (EDDY) ocorrem porque o núcleo de ferro do rotor é um condutor rotativo num campo magnético. Isto cria uma força eletromotriz através das partes do núcleo provocando um fluxo de corrente no interior do mesmo. Estas correntes aquecem o núcleo e, se forem excessivas, podem danificar os enrolamentos. No que diz respeito à potência de saída, a energia consumida pelas correntes é uma perda.

Para reduzir a corrente parasita a um mínimo, geralmente usa-se um núcleo laminado. O núcleo laminado é feito de placas de ferro isoladas eletricamente umas das outras. O isolamento entre elas reduz as correntes parasitas, porque ele é transversal ao sentido em que estas correntes tendem a fluir. Entretanto, ele não tem efeito no circuito magnético. Quanto mais finas forem as laminações, mais efetivamente este método reduz as perdas por corrente parasita.

Inspeção e manutenção de motores CC

Seguem-se as seguintes instruções durante a checagem de inspeção e manutenção dos motores CC.

1- Testar o funcionamento da unidade acionada pelo motor, de acordo com as instruções específicas.

2- Testar toda a fiação, conexões, terminais, fusíveis e interruptores quanto à condição geral e segurança.

3- Manter os motores limpos e os parafusos de montagem apertados.

4- Checar as escovas quanto às condições, comprimento e tensão da mola. Os comprimentos mínimos da escova, a correta tensão da mola, e os procedimentos de substituição das escovas são dados nas instruções fornecidas pelo fabricante.

5- Inspecionar o coletor quanto à limpeza, corrosão ou queimadura. Checar a "mica alta" (se o cobre estiver com desgaste abaixo da mica, ela isolará as escovas do coletor). Limpar o coletor com um pano umedecido com o solvente adequado para limpeza. Lixar a parte áspera ou corroída dos coletores com uma lixa (000 ou mais fina), e soprar com ar comprimido. Nunca utilizar lixa de esmeril, pois ela contém partículas metálicas que podem causar curtos. Substituir o motor se o coletor estiver queimado, picotado profundamente, com fendas ou desgaste, a tal ponto que o isolamento da mica esteja nivelado com a superfície do coletor.

6- Inspecionar todas as fiações expostas quanto à possível evidência de aquecimento. Substituir o motor se o isolamento dos fios ou enrolamentos estiver queimado, rachado ou esfiapado.

7- Lubrificar somente se estiver nas instruções do fabricante para o motor. A maioria dos motores, usados nos aviões atualmente, não necessita de lubrificação durante as revisões.

8- Ajustar e lubrificar a caixa de engrenagens, ou a unidade a qual o motor aciona, de acordo com as instruções do fabricante sobre a unidade.

Quando ocorrer pane no sistema do motor CC, checa-se primeiro para determinar a fonte da pane.

O motor é substituído somente quando a pane for devido a um defeito nele mesmo. Na maioria dos casos, a falha de operação de um motor é provocada por um defeito no circuito elétrico externo, ou pela falha no mecanismo acionado pelo motor.

Verifica-se se o circuito elétrico externo está frouxo, ou se as conexões estão sujas ou, ainda, se a conexão da fiação está inadequada. Pesquisa-se quanto a circuitos abertos, massas e curtos, sempre seguindo as instruções do fabricante.

Se o fusível não estiver queimado, a falha de operação do motor geralmente é devido a um circuito aberto.

Um fusível queimado indica comumente uma massa acidental, ou um curto-circuito. A trepidação do relé-interruptor, que controla o motor, geralmente é provocada por uma bateria fraca.

Quando a bateria está fraca, a voltagem de circuito aberto da bateria é suficiente para fechar o relé, mas com o grande consumo de corrente do motor, a voltagem é reduzida abaixo do nível necessário para manter o relé fechado.

Quando o relé abre, a voltagem da bateria aumenta o suficiente para fechar o relé novamente. Este ciclo se repete e provoca trepidação, que é muito prejudicial ao relé-interruptor devido à grande intensidade da corrente, causando um centelhamento que queimará os contatos. Verifica-se a unidade acionada pelo motor quanto à falha na unidade ou no mecanismo de transmissão. Se o motor for avariado como resultado de uma falha na unidade acionada, a falha deve ser corrigida antes de se instalar um motor novo.

Se for confirmado que a falha é mesmo no motor (pela verificação da voltagem correta nos terminais do motor e falha na unidade acionada), inspeciona-se o coletor e as escovas.

Um coletor sujo ou defeituoso, ou escovas presas podem resultar em mau contato entre as escovas e o coletor. Limpa-se o coletor, as escovas e os porta-escovas com um pano umedecido com solvente adequado.

Se as escovas estiverem danificadas ou com desgaste que reduza seu comprimento ao valor mínimo especificado, instala-se escovas novas de acordo com as instruções do fabricante do motor, Se o motor continuar com falha, ele é substituído por outro.

MOTORES CA

Devido as suas vantagens, muitos tipos de motores elétricos de aviação são projetados para funcionar com corrente alternada. Em geral, os motores CA são mais econômicos do que os motores CC.

Em muitos casos, os motores CA não usam escovas nem coletores e, portanto, o centelhamento nas escovas é evitado.

Eles são muito confiáveis e necessitam de pouca manutenção.

Além disso, eles são bem adaptados a aplicações de velocidade constante, e certos tipos são fabricados para que tenham, dentro de certos limites, características de velocidade variável.

Os motores CA são projetados para operar em linhas monofásicas ou polifásicas e em diversos valores de voltagem.

O estudo dos motores CA é muito extenso e nenhuma tentativa será feita para abranger toda a matéria.

Somente os tipos de motores CA mais comuns aos sistemas de avião serão explicados detalhadamente.

A velocidade da rotação de um motor CA depende do número de pólos e da frequência da fonte de força elétrica:

$$\text{rpm} = \frac{120 \text{ x frequencia}}{\text{numero de polos}}$$

Visto que os sistemas elétricos do avião operam com 400 Hz, um motor elétrico nesta frequência opera com quase sete vezes a velocidade de um motor comercial de 60 Hz com o mesmo número de pólos.

Devido a essa alta velocidade de rotação, os motores CA de 400 Hz são apropriados para operação de pequenos rotores de alta velocidade, através de engrenagens de redução, levantando ou movimentado cargas pesadas, tais como os flapes da asa, trem de pouso retrátil e partida dos motores. O motor do tipo indução de 400 Hz opera com velocidade que variam de 6.000 a 24.000 rpm.

Os motores CA são classificados pela potência (Hp) de saída, voltagem de operação, corrente com carga total, velocidade, número de fases e frequência. Se os motores operam contínua ou intermitentemente (em pequenos intervalos), é também considerado na classificação.

Tipos de motores C.A.

Há dois tipos de motores CA usados nos sistemas de avião: motores de indução e motores síncronos. Qualquer um dos dois tipos pode ser monofásico, bifásico ou trifásico.

Os motores de indução trifásicos são usados onde são requeridos grandes valores de potência. Eles operam aparelhos, tais como motores de partida, flapes, trens de pouso e bombas hidráulicas.

Os motores de indução monofásicos são usados para operar dispositivos, tais como travas de superfícies, portas de radiadores e válvulas de corte de óleo, nos quais a potência exigida é baixa.

Os motores síncronos trifásicos operam com velocidades síncronas constantes, e geralmente são usados para operar sistemas sincronizadores de bússolas e de hélices.

Os motores síncronos monofásicos geralmente são as fontes comuns de energia para operar relógios elétricos e outros instrumentos pequenos de precisão. Eles necessitam de alguns métodos auxiliares para produzirem velocidades síncronas, isto é, colocá-los em movimento. Geralmente o enrolamento de arranque consiste em um enrolamento de estator auxiliar.

Motor de indução trifásico

Este tipo de motor também é conhecido como motor de gaiola. Tanto os motores monofásicos como os motores trifásicos operam sob o princípio de um campo magnético rotativo.

Um ímã do tipo ferradura, seguro sobre a agulha da bússola, é um exemplo simples do princípio do campo rotativo. A agulha assume a posição paralela ao fluxo magnético passando entre os dois pólos do ímã. Se o ímã for girado, a agulha da bússola o seguirá. Um campo magnético rotativo pode ser produzido por um fluxo de corrente bifásico ou trifásico, fluindo através de dois ou mais grupos de bobinas enroladas nos pólos que se projetam internamente de uma carcaça de ferro.

As bobinas em cada grupo de pólos são enroladas alternadamente em sentido oposto para produzir polaridade oposta, e cada grupo é ligado a uma fase separada de voltagem. O princípio de operação depende do campo magnético rotativo para produzir torque. A chave para a compreensão do motor de indução é o entendimento completo do campo magnético rotativo.

Campo magnético rotativo

A carcaça do campo mostrado em "A" da figura 9-81, possui pólos cujos enrolamentos são energizados pelas voltagens trifásicas a, b e c. Estas voltagens possuem intensidade igual, mas diferem em fase, como mostrado em "B" da figura 9-81.

No instante de tempo mostrado como "0" em "B" da figura 9-81, o campo magnético resultante produzido pela aplicação das três voltagens tem maior intensidade na extensão do sentido do pólo 1 para o pólo 4. Sob esta condição, o pólo 1 pode ser considerado como pólo norte e o pólo 4 como pólo sul.

No instante de tempo mostrado como 1, o campo magnético resultante terá sua maior intensidade na extensão do sentido do pólo 2 para o pólo 5. Nesse caso, o pólo 2 é o pólo norte e o pólo 5 é o pólo sul. Assim sendo, entre o instante "0" e "1", o campo magnético gira no sentido horário.

No instante 2, o campo magnético resultante tem sua maior intensidade no sentido do pólo 3 para o pólo 6 e, o campo magnético resultante continua a girar no sentido horário.

No instante 3, os pólos 4 e 1 podem ser considerados como pólos norte e sul, respectivamente, e o campo gira ainda mais.

Nos instantes posteriores, o campo magnético resultante gira para outras posições enquanto se desloca no sentido horário, ocorrendo apenas uma rotação do campo em um ciclo. Se as voltagens de excitação tiverem uma frequência de 60 cps, o campo magnético faz 60 rotações por segundo ou 3.600 rpm. Esta velocidade é conhecida como velocidade síncrona do campo móvel.

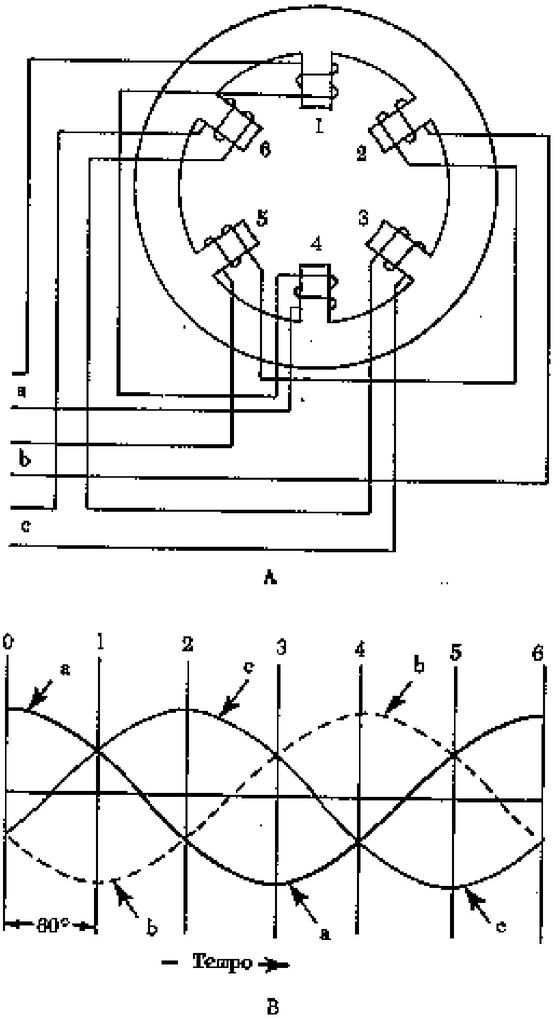


Figura 9-81 Campo magnético rotativo produzido pela aplicação de voltagens trifásicas.

Construção do motor de indução

A parte estática de um motor de indução é chamada de estator, e o elemento rotativo é chamado de rotor. Ao invés de pólos salientes no estator, como mostrado em “A” da figura 9-81, são usados enrolamentos distribuídos; estes enrolamentos são colocados em fendas em volta da periferia do estator.

Geralmente é impossível determinar o número de pólos em um motor de indução apenas por inspeção visual, mas a informação pode ser obtida pela placa de identificação do motor. A placa de identificação geralmente fornece o número de pólos, e a velocidade na qual o motor foi calculado para girar.

Esse valor, ou velocidade não síncrona, é um pouco menor do que a velocidade síncrona. Para determinar o número de pólos por fase no motor, divide-se 120 vezes a frequência pelo valor da velocidade, na forma de equação:

$$P = \frac{120 \text{ x f}}{N}$$

onde: “P” é o número de pólos por fase “f” é a frequência em cps (Hz), “N” é a rotação especificada em rpm e 120 é uma constante.

O resultado será quase igual ao número de pólos por fase. Por exemplo, um motor trifásico com 60 ciclos, com uma rotação de 1.750 rpm. Neste caso:

$$P = \frac{120 \text{ x } 60}{1750} = \frac{7200}{1750} = 4{,}1$$

Sendo assim, o motor possui 4 pólos por fase. Se o número de pólos por fase for dado na placa de identificação, a velocidade síncrona pode ser determinada, dividindo-se a frequência vezes 120 pelo número de pólos por fase. No exemplo usado acima, a velocidade síncrona é igual a 7.200 dividido por 4 ou 1.800 rpm.

O rotor de um motor de indução consiste em um núcleo de ferro doce com fendas longitudinais ao redor de sua circunferência, onde encontram-se embutidas grandes barras de cobre ou alumínio.

Estas barras estão soldadas a um anel pesado, de alta condutibilidade, em cada uma de suas extremidades. Este tipo de construção é, às vezes, chamado de gaiola; e os motores que possuem tal rotor são chamados motores de indução tipo “gaiola” (ver figura 9-82).

Deslizamento (SLIP) do motor de indução

Quando o rotor de um motor de indução estiver sujeito ao campo magnético rotativo produzido pelos enrolamentos do estator, uma voltagem será induzida nas barras longitudinais.

A voltagem induzida faz com que haja um fluxo de corrente através das barras. Esta corrente, por sua vez, produz seu próprio campo magnético que, em combinação com o campo rotativo, faz com que o motor adquira uma posição onde a voltagem induzida seja reduzida.

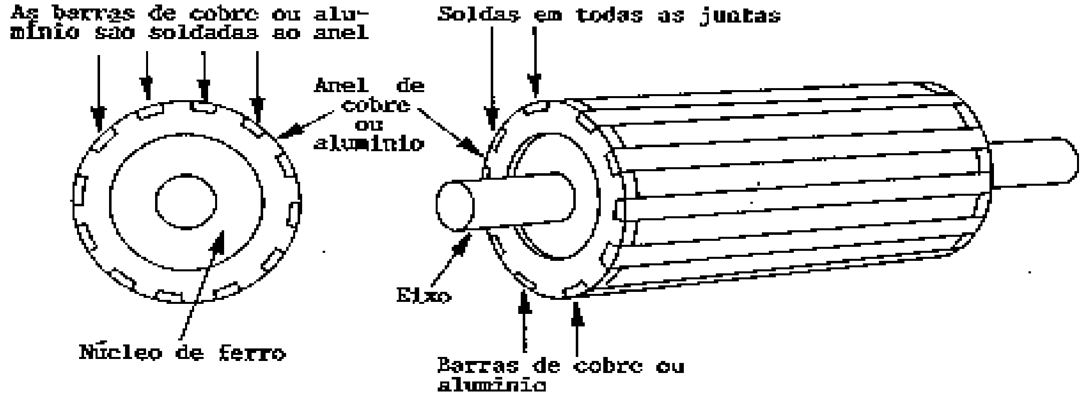

As barras de cobre ou alumínio são soldadas ao anel
Soldas em todas as juntas
Anel de cobre ou alumínio
Eixo
Núcleo de ferro
Barras de cobre ou alumínio

Figura 9-82 Rotor tipo gaiola para um motor CA de indução.

Como consequência, o rotor gira com uma velocidade muito próxima da velocidade síncrona do campo do estator, sendo que a diferença na velocidade é somente suficiente para induzir a intensidade correta de corrente no rotor para compensar as perdas mecânicas e elétricas.

Se o rotor girasse com a mesma rotação elétrica do campo, os condutores do rotor não seriam cortados por nenhuma linha de força magnética, e nenhuma força eletromotriz seria induzida neles, nenhuma corrente fluiria e não haveria torque. O rotor então perderia rotação. Por esta razão, deve haver sempre uma diferença na velocidade entre o rotor e o campo giratório.

Esta diferença é chamada de deslizamento e é expressa como uma percentagem da velocidade síncrona. Por exemplo, se o rotor girar com 1750 rpm, e a velocidade for de 1.800 rpm, a diferença na velocidade será de 50 rpm. O deslizamento é então igual a 50/1.800 ou 2,78%.

Motor de indução monofásico

A apresentação anterior referiu-se somente aos motores polifásicos. Um motor monofásico tem somente um enrolamento no estator. Este enrolamento gera um campo que simplesmente pulsa ao invés de girar.

Quando o rotor estiver parado, a expansão e o colapso do campo magnético do estator induz correntes no rotor. Estas correntes geram no rotor um campo de polaridade oposta àquele do rotor. A posição do campo exerce uma força de torção sobre as partes superior e inferior do rotor tentando girá-lo 180º além de sua posição. Considerando que estas forças são exercidas através do centro do rotor, a força de torção é igual em cada sentido. Como resultado, o rotor não gira.

Se o rotor fosse girado inicialmente, ele continuaria a girar no sentido inicial, visto que a força de torção naquele sentido é auxiliada pela energia cinética do rotor.

Motor de indução de pólo sombreado

O primeiro passo no desenvolvimento de um motor monofásico de arranque automático foi o motor de indução de pólo sombreado (figura 9-83). Esse motor possui pólos salientes e uma parte de cada pólo é envolvida por um anel de cobre maciço.

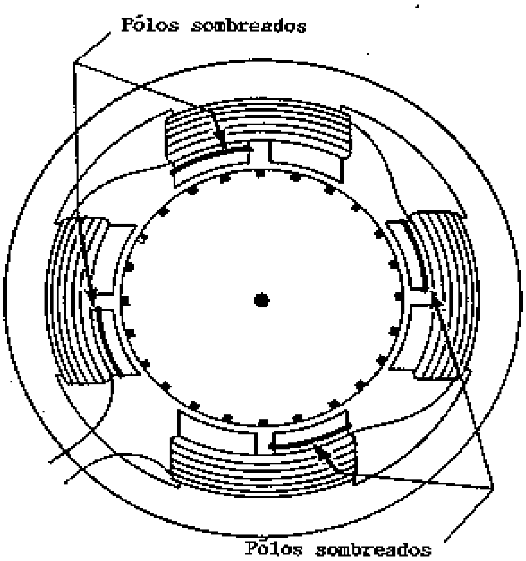


Figura 9-83 Motor de indução de pólo sombreado.

A presença do anel faz com que o campo magnético nesta parte se retarde apreciavelmente da outra parte do conjunto polar. O efeito total é a produção de uma componente de pequena rotação do campo, suficiente para fazer o rotor girar. À medida que o rotor acelera, o torque aumenta até atingir a velocidade especificada. Tais motores têm um torque de arranque baixo e encontram sua maior aplicação nos motores de ventilador pequeno, onde o torque inicial necessário é baixo.

Na figura 9-84, acha-se o diagrama de um pólo e do rotor. Os pólos do motor de pólo sombreado assemelham-se aos do motor CC.

Uma bobina de baixa resistência em curto-circuito, ou um anel de cobre maciço é colocado em volta de cada pequeno pólo. O rotor deste motor é do tipo gaiola.

À medida que a corrente no enrolamento do estator aumenta, o fluxo também aumenta. Uma parte deste fluxo corta a bobina sombreada de baixa resistência. Isto induz uma corrente nesta bobina e, pela lei de Lenz, a corrente cria um fluxo que se opõe ao fluxo induzindo a corrente. Consequentemente, a maior parte do fluxo passa pela parte não sombreada dos pólos, como mostrado na figura 9-84.

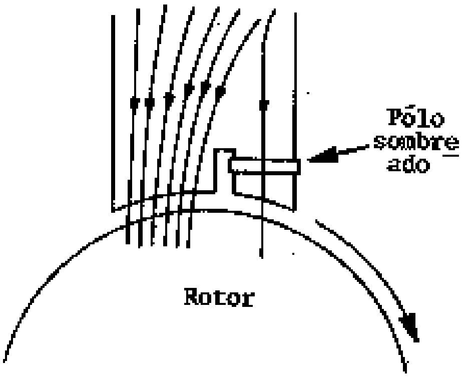


Figura 9-84 Diagrama do motor de pólo sombreado.

Quando a corrente no enrolamento e o fluxo principal atingem um valor máximo, a razão de variação é zero; e assim sendo, nenhuma força eletromotriz é induzida na bobina sombreada. Pouco depois, a corrente na bobina sombreada que provoca o retardo da força eletromotriz atinge o valor zero, sem fluxo oposto. Portanto, o fluxo do campo principal passa através da parte sombreada do pólo do campo.

O fluxo do campo principal, que agora está diminuindo, induz uma corrente na bobina sombreada. Pela lei de Lenz, esta corrente cria um fluxo que se opõe ao decréscimo do fluxo do campo principal na parte sombreada do pólo. O efeito é concentrar as linhas de força na parte sombreada do pólo do campo.

Com efeito, a bobina sombreada retarda em fase, a parte do fluxo que passa pela parte sombreada do pólo. Este atraso na fase do fluxo na ponta sombreada faz com que o fluxo produza o efeito de varredura através da face do pólo, da esquerda para a direita no sentido da ponta sombreada. Este fluxo se comporta como um campo magnético rotativo muito fraco, e um torque suficiente é produzido para dar partida em um motor pequeno.

O torque de arranque do motor de pólo sombreado é extremamente fraco e o fator de potência é baixo. Consequentemente, ele é fabricado em tamanhos adequados para acionar aparelhos pequenos como ventiladores.

Motor de fase dividida

Há vários tipos de motores de partida automática, conhecido como motores de fase dividida.

Esses motores têm um enrolamento de partida defasado 90 graus elétricos do enrolamento principal ou trabalho. Em alguns tipos, o enrolamento de partida possui uma resistência razoavelmente alta, que faz com que a corrente neste enrolamento esteja fora de fase com a corrente no enrolamento principal. Esta condição produz, com efeito, um campo rotativo e o rotor gira. Um interruptor centrífugo desliga o enrolamento de partida automaticamente, após o rotor atingir aproximadamente 25% do seu valor nominal de velocidade.

Motor com capacitor de partida

Com o desenvolvimento dos capacitores eletrolíticos de alta capacidade, foi fabricada uma variação do motor de fase dividida, conhecido como motor com capacitor de partida.

Aproximadamente todos os motores de potência (HP) fracionária usados atualmente nos refrigeradores, queimadores de óleo ou outras aplicações semelhantes são deste tipo. Ver figura 9-85. Nesta adaptação, o enrolamento de partida e o enrolamento principal são do mesmo tamanho e valor de resistência.

O deslocamento de fase entre as correntes nos dois enrolamentos é obtido pelo uso de capacitores ligados em série com o enrolamento de partida.

Os motores com capacitor de partida têm um torque inicial comparável aos seus torques em velocidade nominal, e podem ser usados em aplicações onde a carga inicial for grande. Neste tipo, é necessário também, um interruptor centrífugo para desligar o enrolamento de partida quando a velocidade do rotor for de aproximadamente 25% da velocidade nominal.

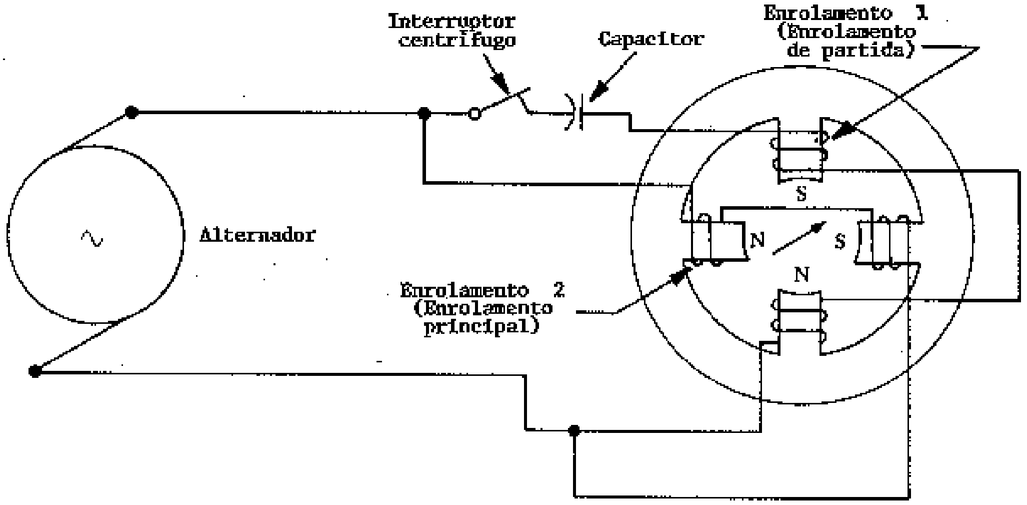

Interruptor centrífugo
Capacitor
Enrolamento 1 (Enrolamento de partida)
Alternador
S
N
S
N
Enrolamento 2 (Enrolamento principal)

Figura 9-85 Motor monofásico com capacitor de partida.

Embora alguns motores de indução monofásicos possuam potência nominal até dois Hps, o campo principal de aplicação é igual a 1 HP, ou menos, numa especificação de voltagem de 115 volts para os tamanhos menores, e 110 a 220 volts para os de ¼ HP e maiores.

Os motores polifásicos geralmente são usados para motores com maior potência nominal, pois eles possuem um torque inicial de características excelentes.

Sentido de rotação dos motores de indução

O sentido de rotação de um motor de indução trifásico pode ser modificado pela simples inversão de dois fios ligados ao motor.

O mesmo efeito pode ser obtido num motor bifásico, invertendo-se as ligações para uma fase.

No motor monofásico, invertendo-se as ligações para o enrolamento de partida inverter-se-á o sentido da rotação. Muitos motores monofásicos construídos para aplicação geral têm provisão para se inverter rapidamente as ligações para o enrolamento de partida.

Nada pode ser feito para que um motor de pólo sombreado inverta o sentido da rotação, porque esta é determinada pela localização física do anel de cobre maciço.

Se, após a partida, uma ligação do motor trifásico for interrompida, o motor continuará a girar, mas fornecerá somente 1/3 da potência nominal. Por outro lado, um motor bifásico funcionará com a metade de sua potência caso uma das fases seja desligada. Nenhum dos motores citados partirão sob aquelas condições anormais.

Motor síncrono

O motor síncrono é um dos tipos principais de motores CA. Exatamente como o motor de indução, o motor síncrono utiliza um campo magnético rotativo. Entretanto, o torque desenvolvido não depende da indução de correntes no rotor.

De forma resumida, o princípio de operação do motor síncrono é o seguinte: uma fonte polifásica de corrente alternada é aplicada aos enrolamentos do estator e é produzido um campo magnético rotativo. Uma corrente contínua é aplicada ao enrolamento do rotor e um outro campo magnético é produzido. O motor síncrono é projetado e construído de forma que os dois campos reajam entre si provocando o arraste do rotor, fazendo-o girar com a mesma velocidade do campo magnético produzido pelos enrolamentos do estator.

Uma boa compreensão da operação do motor síncrono pode ser obtida pela observação do motor simples na figura 9-86.

Supondo que os pólos "A" e "B" estejam girando no sentido horário por algum dispositivo mecânico, a fim de produzir um campo magnético rotativo, eles induzem pólos de polaridade oposta no rotor de ferro doce, e forças de atração existem entre os pólos correspondentes norte e sul.

Consequentemente, quando os pólos "A" e "B" giram, o motor é arrastado na mesma velocidade. Entretanto, se uma carga for aplicada ao eixo do rotor, ele se atrasará momentaneamente em relação ao campo rotativo mas, depois disso, continuará a girar com o campo na mesma velocidade enquanto a carga permanecer constante. Se a carga for muito grande, o rotor sairá de sincronismo com o campo rotativo e, como resultado, não girará com a mesma velocidade daquele. Diz-se, então, que o motor está sobrecarregado.

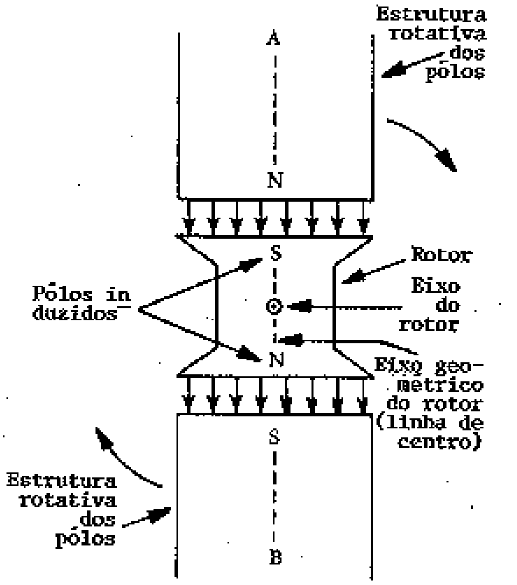

Estrutura rotativa dos pólos
A
N
Rotor
S
Pólos induzidos
Eixo do rotor
N
Eixo geométrico do rotor (linha de centro)
S
Estrutura rotativa dos pólos
B

Figura 9-86 Ilustração do funcionamento de um motor síncrono.

Tal motor mostrado na figura 9-86 nunca é usado. A idéia de utilizar meios mecânicos de rotação dos pólos é impraticável, porque seria necessário outro motor para que este trabalho fosse realizado. Além disso, esta elaboração é desnecessária porque um campo magnético rotativo pode ser produzido eletricamente pelo uso de voltagens CA. Neste aspecto, o motor síncrono é semelhante ao motor de indução.

O motor síncrono consiste em um enrolamento de campo, semelhante ao estator do motor de indução. O enrolamento do estator produz um campo magnético rotativo. O rotor pode ser um ímã permanente, como nos motores síncronos monofásicos de tamanho reduzido, usados por relógios e outros pequenos equipamentos de precisão, ou pode ser também um eletroímã energizado por uma fonte de força DC, e alimentado através de anéis coletores nas bobinas de campo do rotor, como um alternador. Na realidade, um alternador pode ser operado como um alternador ou um motor síncrono.

Visto que um motor síncrono tem um torque inicial pequeno, algumas medidas são tomadas com o intuito de produzir uma velocidade síncrona. O método mais comum é dar partida no motor sem carga, permitir que ele atinja a velocidade máxima, e então energizar o campo magnético. O campo magnético do rotor acompanha o campo magnético do estator, e o motor opera numa velocidade síncrona.

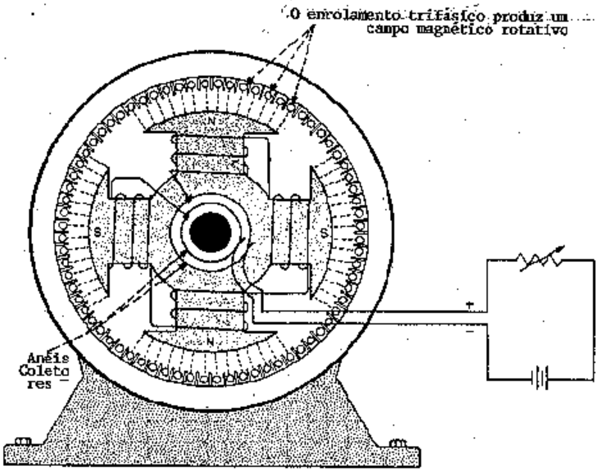


Figura 9-87 Motor síncrono.

A intensidade dos pólos induzidos no rotor, mostrado na figura 9-87, é tão pequena que não pode ser desenvolvido torque suficiente para a maioria das cargas práticas.

Para evitar esta limitação na operação do motor, um enrolamento é colocado no rotor, e energizado com corrente contínua. Um reostato colocado em série com a fonte CC proporciona ao operador da máquina meios para variar a intensidade dos pólos do rotor, colocando o motor sob controle de variação de carga.

O motor síncrono não é um motor de partida automática. O rotor é grande e, do ponto morto, é impossível levar o campo magnético do rotor junto com o campo magnético rotativo. Por esta razão, todos os motores síncronos têm algum tipo de dispositivo de partida.

Um tipo de motor de partida simples é um outro motor, seja CA ou CC, que leva o rotor até aproximadamente 90% da sua velocidade síncrona.

O motor de partida é então desligado, e o rotor acompanha o campo rotativo. Um outro método de partida é um enrolamento secundário do tipo “gaiola” no rotor. Este enrolamento de indução leva o rotor até uma velocidade quase síncrona e, quando a corrente contínua é ligada aos enrolamentos do rotor, este entra em sincronismo com o campo. O último método é o mais comumente usado.

Motor em série CA

Um motor em série CA é um motor monofásico, mas não é um motor de indução ou síncrono. Ele é semelhante a um motor CC porquanto possui escovas e um coletor.

O motor em série CA opera em circuitos CA ou CC. Isto faz lembrar que o sentido da rotação de um motor em série CC é independente da polaridade da voltagem aplicada, considerando que as ligações do campo e do rotor permanecem invariáveis.

Assim sendo, se um motor em série CC for ligado a uma fonte CA, um torque será desenvolvido, provocando a rotação do rotor num sentido.

Entretanto, um motor em série CC não opera satisfatoriamente com alimentação CA pelas seguintes razões:

1- O fluxo alternado cria grandes dissipações de correntes parasitas e histereses na parte não laminada do circuito magnético, provocando um aquecimento excessivo e eficiência reduzida.

2- A auto-indução dos enrolamentos do campo e do rotor provoca um baixo fator de potência.

3- O fluxo alternado do campo cria elevadas correntes nas bobinas que são curto-circuitadas pelas escovas; esta ação provoca grande centelhamento no coletor.

Para construir um motor em série com desempenho satisfatório em CA, deverão ser feitas as seguintes modificações:

1- As perdas por correntes parasitas são reduzidas pela laminação dos pólos do campo, da carcaça e do rotor.

2- As perdas por histereses são reduzidas, usando-se laminações de ferro-silício de alta permeabilidade do tipo transformador.

3- A reatância dos enrolamentos do campo é mantida satisfatoriamente baixa, usando-se peças polares delgadas, com poucas espiras, baixa frequência (geralmente 25 ciclos para motores maiores), baixa densidade de fluxo e baixa relutância (uma folga pequena).

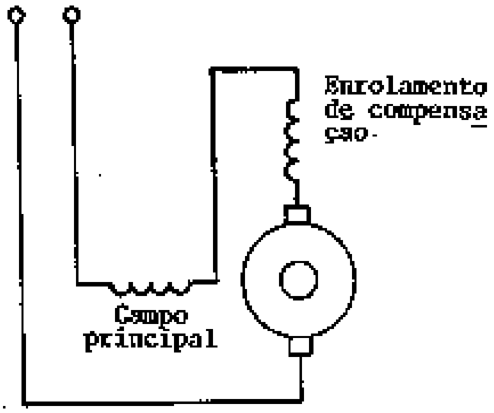


Figura 9-88 Induzido condutivamente compensado de motor em série.

4- A reatância do rotor é reduzida, usando-se um enrolamento de compensação embutido nas peças polares. Se o enrolamento de compensação estiver ligado em série como mostrado na figura 9-88, o rotor é compensado condutivamente. Se o enrolamento de compensação for projetado como mostrado na figura 9-89, o rotor será compensado indutivamente. Se o motor for construído para operar em circuitos CC e CA, o enrolamento de compensação será ligado em série com o rotor. O eixo deste enrolamento será deslocado do eixo do campo principal por um ângulo de 90º. Esta adaptação é semelhante ao enrolamento de compensação usado em alguns motores e geradores CC para sobrepujar a reação do rotor. O enrolamento de compensação estabelece uma força contra-magnetomotriz, neutralizando o efeito da força magnetomotriz do rotor, evitando distorção do fluxo do campo principal e reduzindo a reatância do rotor. O rotor compensado indutivamente atua como o primário de um transformador, cujo secundário é curto-circuitado pelo enrolamento de compensação. O secundário em curto recebe uma voltagem induzida pela ação do fluxo alternado do rotor, e o fluxo de corrente resultante através das espiras do enrolamento de compensação cria uma força magnetomotriz de posição, neutralizando a reatância do rotor.

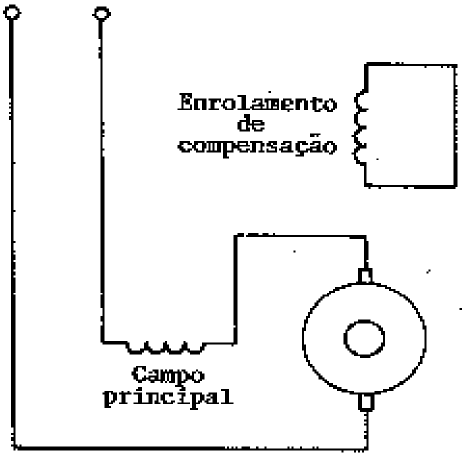


Figura 9-89 Induzido condutivamente compensado de motor em série C.A.

5- O centelhamento do coletor é reduzido pelo uso dos fios preventivos P1, P2, P3 e assim por diante, como mostra a figura 9-90, onde um rotor em forma de anel é mostrado por simplicidade. Quando as bobinas em "A" e "B" estiverem em curto com as escovas, a corrente induzida será limitada pela resistência relativamente alta dos fios. O centelhamento das escovas é também reduzido pelo uso das bobinas do rotor tendo somente uma única volta e campos multipolares. O torque alto é obtido pelo grande número de condutores no rotor e grande diâmetro do rotor. Assim sendo, o coletor possui um grande número de barras muito finas, e a voltagem do rotor é limitada em cerca de 250 volts.

Os motores em série CA com potência fracionária são denominados de motores universais. Eles não têm enrolamentos de compensação ou fios preventivos. Eles são usados amplamente para operar ventiladores e ferramentas portáteis, tais como furadeiras, rebolos e serras.

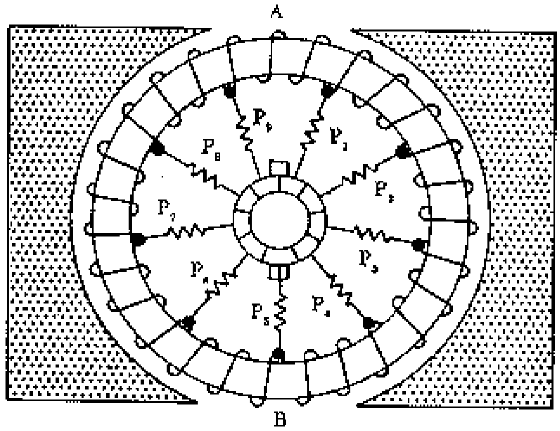


Figura 9-90 Bobinas preventivas num motor em série.

MANUTENÇÃO DE MOTORES C.A.

A inspeção e manutenção dos motores CA é muito simples. Os rolamentos podem ou não necessitar de lubrificação constante. Se eles forem do tipo selado, lubrificados na fábrica, não necessitarão de inspeção. Certificamo-nos de que as bobinas estão secas, sem vestígios de óleo ou qualquer outra anomalia.

A temperatura de um motor é geralmente seu único fator de limite operacional. Uma boa regra prática, é que, uma temperatura muito quente para a mão é muito alta para a segurança do motor.

Juntamente com a temperatura, o ruído de um motor ou gerador é o melhor indicador de pane. Quando opera corretamente, ele deve soar uniformemente. Se ele estiver sobrecarregado, ele roncará. Um motor trifásico com um fio desligado não partirá e ficará rosnando. Um ruído de batida geralmente indica um afrouxamento na bobina do rotor, um eixo fora de alinhamento ou arraste do induzido devido ao desgaste dos rolamentos. A inspeção e manutenção de todos os motores CA devem ser realizadas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante.

Pesquisa de panes

Os procedimentos de pesquisa de panes que se seguem não são aplicáveis a um determinado motor AC, mas são incluídos como exemplos dos procedimentos gerais de pesquisa de panes fornecidos por vários fabricantes de motores CA.

PANE	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO
Motor com baixa rotação.	Sem lubrificação. Voltagem aplicada baixa. Defeito na fiação do motor.	Lubrificar quando necessário. Verificar a fonte de voltagem do motor. Fazer o teste de continuidade da fiação.
Motor em alta rotação.	Voltagem aplicada excessiva. Enrolamento de campo do motor em curto.	Verificar e ajustar o nível de fornecimento de voltagem do motor. Consertar os enrolamentos em curto ou substituir ou fazer a revisão do motor.
Motor não funciona. . Motor sem voltagem de entrada.	Fiação solta ou interrompida dentro do motor.	Fazer o teste de continuidade do motor.
	Interruptor do motor defeituoso.	Testar interruptor e a fiação usando um medidor de continuidade.
	Enrolamento do rotor ou campo do circuito aberto.	Consertar o enrolamento aberto ou substituir o motor.
	Desgaste excessivo das escovas.	Substituir as escovas.
	Molas das escovas quebradas ou muito fracas.	Substituir as molas das escovas.
	Prendimento das escovas nos porta-escovas.	Substituir ou limpar, ou ajustar as escovas.
Vibração do motor.	Montagens do motor frouxas ou quebradas. Eixo do motor torto.	Consertar ou substituir montagens do motor.
	Rolamentos do motor com desgaste excessivo.	Substituir o eixo, ou revisar, ou substituir os rolamentos ou revisar o motor.
Centelhamento excessivo nas escovas do motor.	Desgaste excessivo das escovas.	Substituir as escovas.
	Molas das escovas fracas. Prendimento das escovas nos porta-escovas.	Substituir as molas, ou substituir ou limpar as escovas.
	Escovas instaladas incorretamente.	Posicionar as escovas corretamente.
	Coletor sujo ou com desgaste excessivo ou picotado.	Limpar ou consertar o coletor adequadamente.
	Bobina do rotor com circuito aberto.	Consertar o circuito aberto ou substituir o motor.
Motor funciona, mas superaquece.	Rolamentos do motor incorretamente lubrificados.	Lubrificar os rolamentos.
	Voltagem excessiva aplicada.	Verificar a voltagem e ajustar para o nível exato.
	Enrolamento do campo em curto-circuito.	Consertar o curto-circuito, ou revisar ou substituir.
	Centelhamento excessivo da escova.	Substituir e ajustar as escovas.
Motor não funciona, mas consome alta corrente.	Curto-circuito no motor.	Localizar e consertar o curto-circuito.
	Enrolamento do campo aberto no motor em paralelo.	Consertar, revisar ou substituir o motor.
	Parada mecânica.	Verificar se os rolamentos do motor estão emperrados ou se há empeno no mecanismo acionado pelo motor. Reparar ou substituir os componentes defeituosos.
	Carga excessiva no motor.	Reduzir a carga ou instalar um motor capaz de suportar maior carga.

CAPÍTULO 10

PRINCÍPIOS DA INSPEÇÃO

INTRODUÇÃO

As inspeções são exames, visuais e manuais, para determinar a condição de um componente ou de um avião. A inspeção do avião pode se estender desde uma simples caminhada em volta do mesmo até um exame detalhado, compreendendo uma completa desmontagem, e a utilização de complexos auxílios à inspeção.

Um sistema de inspeção consiste de diversos processos, compreendendo:

1) As reclamações feitas pela tripulação ou inspetor do avião; e

2) As inspeções regularmente programadas para o avião. O sistema de inspeção é projetado para manter o avião na melhor condição possível. As inspeções gerais e periódicas devem ser consideradas a coluna mestra de um bom programa de manutenção. A inspeção irregular ou ocasional resultará certamente na deterioração gradual e total de uma aeronave. O tempo que deverá ser gasto na conseqüente recuperação será bem mais longo que o tempo ganho nas rápidas inspeções de rotina e manutenção.

Está provado que as inspeções regularmente programadas e a manutenção preventiva asseguram boas condições de vôo. As falhas operacionais e defeitos do equipamento são apreciavelmente reduzidos, se o desgaste ou pequenos defeitos, forem detectados e corrigidos o mais cedo possível.

Não se pode deixar de enfatizar a importância das inspeções e a utilização correta das fichas de inspeção.

As inspeções da estrutura do avião e do motor podem compreender, desde os testes de pré-vôo às verificações detalhadas.

O tempo dedicado aos períodos de inspeção varia com o modelo do avião e, de acordo com os tipos de operações levadas a termo.

As instruções do fabricante do avião e do motor devem ser consultadas ao serem estabelecidos os intervalos entre as inspeções.

O avião pode ser inspecionado, utilizando as horas de vôo como base de programação, ou sob um sistema de calendário. Neste último caso, a inspeção adequada é executada ao se expirar o prazo correspondente a um número específico de semanas. Este sistema é bastante eficiente sob o ponto de vista de controle da manutenção. A substituição programada de componentes que possuem horas limites operacionais é, normalmente, efetuada durante a inspeção sob calendário mais próximo destas limitações.

Em alguns casos, é estabelecido um limite para as horas de vôo, compreendidas entre os intervalos das inspeções pelo sistema de calendário.

A inspeção programada, sob o sistema de horas de vôo, tem lugar quando é acumulado um número específico de horas voadas. Também, neste caso, os componentes que possuem horas limites operacionais são substituídos durante a inspeção mais próxima destas limitações.

INSPEÇÕES OBRIGATÓRIAS

O órgão regulador do governo estipula a inspeção de toda aeronave civil a intervalos específicos, dependendo geralmente do tipo de operação que realiza, com a finalidade de comprovar seu estado geral. Alguns aviões devem ser inspecionados de 12 em 12 meses, enquanto outros a cada 100 horas de vôo.

Em certos casos, um avião pode ser inspecionado de acordo com um sistema que possibilite sua inspeção total ao longo de determinado tempo ou de horas voadas.

A fim de determinar as normas e exigências de uma inspeção específica, deve-se consultar o órgão regulador do governo que determina os critérios para inspeção e manutenção da aeronave, dependendo da atividade operacional.

TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Antes de iniciarmos uma inspeção, verificamos se todas as tampas, portas de acesso, carenagens e capotas acham-se abertas ou removidas; bem como se a estrutura encontra-se limpa.

Ao se abrir as tampas de inspeção ou capotas, e antes de deixar a área limpa verificamos a presença de óleo ou qualquer outra evidência de vazamento.

FICHAS DE INSPEÇÃO

Utiliza-se sempre uma relação de itens ao realizar a inspeção.

A lista de verificações pode ser de sua própria confecção, fornecida pelo fabricante do equipamento sob inspeção, ou obtida de alguma outra fonte.

A ficha de inspeção deve incluir:

1) Setor da fuselagem e equipamentos:

a) Entelagem e chapeamento - quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha, bem como fixações inseguras ou defeituosas.
b) Sistemas e componentes - quanto à correta instalação, defeitos aparentes e operação satisfatória.
c) Tanques celulares de combustível, tanques de lastro e partes relacionadas - quanto ao estado.

2) Setor das cabines de comando e passageiros:

a) De um modo geral - quanto à limpeza e fixação de equipamentos
b) Poltronas e cintos de segurança - quanto ao estado e fixação.
c) Janelas e pára-brisas - quanto a deterioração e rachaduras.
d) Instrumentos - quanto ao estado, fixação, marcações e, quando possível, operação adequada.
e) Controles de vôo e dos motores - quanto à correta instalação e operação.
f) Baterias - quanto à correta instalação e carga.
g) Todos os sistemas - quanto à correta instalação, estado geral, defeitos aparentes e segurança da fixação.

3) Setor do motor e da nacele:

a) Seção do motor - quanto à evidência de vazamento de óleo, combustível ou fluido hidráulico, e o motivo de tais vazamentos.
b) Prisioneiros e porcas - quanto ao aperto correto e defeitos evidentes.
c) Interior do motor - quanto à compressão dos cilindros, e quanto à existência de partículas metálicas ou de origem estranha nas telas e bujões dos reservatórios de drenagem. Se a compressão dos cilindros estiver fraca, verificar qualquer irregularidade nas condições e tolerâncias internas.
d) Berço do motor - quanto a rachaduras, folgas nos montantes de fixação ou entre o motor e seus montantes.
e) Amortecedores flexíveis de vibração - quanto ao estado e deterioração.
f) Controles do motor - quanto a defeitos inerentes aos comandos e à correta frenagem.
g) Tubulações, mangueiras e braçadeiras - quanto a vazamentos, estado geral e aperto.
h) Descarga do motor - quanto a rachaduras, defeitos e à correta fixação.
i) Acessórios - quanto a defeitos aparentes na segurança da fixação.
j) Todos os sistemas - quanto à instalação correta, defeitos nas condições gerais e fixação adequada.
k) Capota - quanto a rachaduras e defeitos.
l) Acionamento e verificação funcional do motor no solo - quanto ao seu desempenho e a operação adequada dos controles do motor e dos instrumentos.

4) Setor do trem de pouso:

a) Todos os componentes - quanto ao estado e segurança da fixação:
b) Amortecedores - quanto ao correto nível do óleo.
c) Hastes, articulações e suportes - quanto ao desgaste excessivo, fadiga do material e deformações.
d) Mecanismo de retração e distensão - quanto à operação correta.
e) Tubulações hidráulicas - quanto a vazamento.
f) Sistema elétrico - quanto a desgaste e operação correta dos interruptores.
g) Rodas - quanto a rachadura e estado dos rolamentos.
h) Pneus - quanto a cortes e desgaste.
i) Freios - quanto ao ajuste correto.

5) Asas e seção central:

a) Todos os componentes - quanto ao estado e fixação.
b) Entelagem e chapeamento - quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha; bem como fixações inseguras ou defeituosas.
c) Estrutura interna (longarinas, nervuras e elementos de compressão) - quanto a rachaduras, empenos e fixação.
d) Superfícies móveis - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixação imperfeita da entelagem ou das chapas e deslocamento correto.
e) Mecanismo de controle - quanto à liberdade de movimento, alinhamento e fixação.
f) Cabos de controle - quanto à tensão correta, esgarçamento, desgaste e passagem adequada pelas guias e polias.

6) Setor da empenagem:

a) Superfícies fixas - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos e fixação adequada.
b) Superfícies móveis de controle - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos, entelagem frouxa ou empenos nas chapas.
c) Entelagem ou chapeamento - quanto a desgaste, rasgos, cortes ou defeitos, deformação, e deterioração.

7) Setor da hélice:

a) Conjunto da hélice - quanto a rachaduras, mossas, empenos e vazamento de óleo.
b) Parafusos - quanto ao aperto correto e à frenagem.
c) Dispositivos contra formação de gelo - quanto à operação correta e defeitos evidentes.
d) Mecanismos de controle - quanto à operação correta, fixação adequada e deslocamento.

8) Setor de comunicações e navegação:

a) Equipamento rádio e eletrônico - quanto à instalação correta e fixação adequada.
b) Fiação e cablagens - quanto à disposição correta, fixação adequada e defeitos evidentes.
c) Ligação à massa e blindagem - quanto à instalação correta e condição.
d) Antenas - quanto ao estado, fixação adequada e operação correta.

9) Equipamentos diversos (miscelânea):

a) Equipamento de emergência e primeiros-socorros quanto ao estado geral e armazenagem correta.
b) Pára-quedas, barcos salva-vidas, pára-quedas luminoso, etc - inspecionar de acordo com as recomendações do fabricante.
c) Sistema de piloto automático - quanto ao estado geral, fixação adequada e operação correta.

DOCUMENTAÇÃO DO AVIÃO

"Documentação do Avião" é um termo usado neste manual, que compreende o livro de bordo e todos os registros suplementares referentes ao avião. O livro e os registros fornecem um histórico da manutenção e operação, controle das programações de manutenção e informações concernentes à época da substituição dos componentes ou acessórios.

O livro de bordo é o documento no qual são registradas todas as informações relativas ao avião. Elas indicam o estado do avião, as datas das inspeções e o tempo da estrutura e dos motores. O livro de bordo reflete a história de todos os acontecimentos importantes relativos à estrutura, seus componentes e acessórios, apresentando, ainda, um local para o registro da execução de serviços, exigido pelos órgãos governamentais ou boletins de serviço dos fabricantes.

INSPEÇÕES ESPECIAIS

Durante a vida útil de uma aeronave, poderão sobrevir ocasiões em que sejam realizados pousos com excesso de peso, ou, em que, parte de um vôo possa ter ocorrido sob turbulência severa. Pousos com impactos severos também ocorrem por motivos diversos.

Na ocorrência de qualquer destas situações, deverão ser observados procedimentos especiais de inspeção, com a finalidade de verificar se houve qualquer dano à estrutura do avião. Os procedimentos descritos nas páginas seguintes são de ordem geral e objetivam familiarizar o mecânico do avião com as áreas que devem ser inspecionadas. Qualquer uma destas inspeções especiais executadas, segue sempre os procedimentos detalhados do manual de manutenção do fabricante.

Inspeção devido a pouso com impacto ou excesso de peso

O esforço estrutural exigido durante um pouso depende não somente do peso total do avião, mas também da intensidade do impacto. Entretanto, devido à dificuldade em calcular a velocidade vertical durante o contato, é difícil julgar se um pouso foi suficientemente "duro", a ponto de causar dano estrutural. Por este motivo, uma inspeção especial, após um pouso com peso ou impacto excessivo, deverá ser executada, mesmo que o impacto tenha ocorrido, estando o avião com o peso dentro do limite estipulado.

Os sinais mais facilmente detectados de esforço excessivo, imposto durante o pouso, são rugas nas chapas das asas.

Outra indicação que pode ser facilmente detectada é o vazamento de combustível ao longo de chapas rebitadas.

Alguns locais possíveis de danos são na “alma” da longarina, anteparos, chapas e fixações das naceles, chapa de paredes de fogo, e nervuras das asas e fuselagem.

Se nenhuma dessas áreas apresentar sinais de terem sido adversamente afetadas, pode-se concluir, razoavelmente, que não houve a ocorrência de avaria grave. Se qualquer irregularidade for detectada, uma inspeção mais prolongada pode se tornar necessária, além de uma verificação de alinhamento.

Inspeção devido a turbulência severa

Quando o avião enfrenta rajadas, a carga de ar imposta sobre as asas excede a carga normal de sustentação do peso do avião. A rajada procura acelerar o avião, enquanto que, sua inércia, age no sentido de resistir a esta ação. Se a combinação da velocidade da rajada com a velocidade do avião exceder certos limites, o esforço induzido pode ocasionar danos estruturais.

Uma inspeção especial deve ser executada após o vôo em turbulência severa. Muita atenção deve ser dada às superfícies dorsal e ventral das asas, quanto a empenos excessivos ou marcas permanentes de rugas. Onde quer que estas últimas ocorram, deve-se remover alguns rebites e examinar seus corpos quanto a cisalhamento ou deformações.

Inspeciona-se as almas das longarinas, desde a raiz até a ponta das asas, através dos painéis de inspeção e outras aberturas acessíveis. Verifica-se as suas fixações quanto a empenos, rugas ou cisalhamento. Devemos inspecionar se há empenos nas zonas ao redor das naceles, principalmente no bordo de ataque da asa.

Qualquer vazamento de combustível considerável é sinal de que uma área possa ter recebido sobrecargas que romperam a vedação e abriram as costuras da chapa.

Se o trem de pouso foi baixado durante a turbulência severa, inspecionamos cuidadosamente as superfícies quanto a rebites frouxos, fissuras ou empenos. O interior da cavidade do trem de pouso pode apresentar outras indicações decorrentes das rajadas.

O revestimento superior e o inferior da fuselagem devem ser inspecionados. Um momento excessivo de torção pode ter provocado rugas de natureza diagonal nestas áreas.

Inspecionamos o revestimento da empenagem quanto a empenos, rugas ou fixações cisalhadas. Verificamos também, a área de fixação da empenagem à fuselagem.

As inspeções acima abrangem as áreas críticas. Se qualquer dano excessivo for observado em qualquer das áreas mencionadas, a inspeção deve prosseguir até que toda a avaria seja detectada.

PUBLICAÇÕES

As publicações aeronáuticas são as fontes de informação para a orientação dos mecânicos da aviação, na operação e manutenção do avião e equipamentos correlatos.

A utilização correta destas publicações auxiliarão bastante na operação e manutenção eficientes de qualquer aeronave. Elas compreendem os manuais, catálogos e boletins de serviço dos fabricantes, regulamentos dos órgãos governamentais, diretrizes de aeronavegabilidade, circulares de recomendação e especificações de avião, motor e hélice.

Boletins

Os boletins de serviço constituem um dos diversos tipos de publicações editadas pelos fabricantes de aviões, de motores e de componentes.

Os boletins podem incluir:

1) o motivo da publicação;

2) o nome da célula, motor ou componente a que se refere;

3) instruções detalhadas para manutenção, ajustagem, modificação ou inspeção, bem como procedência de peças, caso necessárias; e

4) o número aproximado de homens hora para a realização do trabalho.

Manual de manutenção

O manual de manutenção do avião, fornecido pelo fabricante, contém instruções completas para a manutenção de todos os sistemas, e componentes instalados a bordo. Ele contém informações para o mecânico que trabalha normalmente nas unidades, conjuntos e sistemas quando estiverem instalados nos aviões.

Não se aplica, portanto, para o mecânico da oficina de revisão. Um manual típico de manutenção de avião inclui:

1) uma descrição dos sistemas tais como elétrico, hidráulico, combustível, controles de vôo, etc.;

2) instruções para lubrificação, estabelecendo a freqüência, os lubrificantes e os fluidos que deverão ser usados nos diversos sistemas;

3) as pressões e cargas elétricas estabelecidas para os diversos sistemas;

4) as tolerâncias e ajustes necessários ao correto funcionamento do avião;

5) métodos para nivelamento, suspensão e reboque;

6) métodos de balanceamento das superfícies de controle;

7) identificação das estruturas das superfícies primárias e secundárias;

8) a freqüência e a extensão das inspeções necessárias à operação correta do avião;

9) métodos especiais de reparo aplicáveis ao avião;

10)técnicas especiais de inspeção envolvendo raio x, ultra-som ou inspeção por partículas magnéticas; e

11)uma lista de ferramentas especiais.

Manual de revisão

O manual de revisão do fabricante contém breve informação descritiva, e instruções detalhadas, passo a passo, acerca do trabalho normalmente executado numa unidade removida do avião.

Componentes simples e baratos, tais como, interruptores e reles, nos quais a revisão é antieconômica, não são mencionados no manual.

Manual de reparos estruturais

Este manual apresenta informação e instruções específicas do fabricante para o reparo de estruturas primárias e secundárias.

São cobertos por este manual os reparos típicos de chapa (revestimento), anéis, nervuras, perfis longitudinais, etc., abrangendo também técnicas especiais de reparo e substituição de materiais e fixadores.

Catálogo ilustrado de peças

Este catálogo apresenta vistas detalhadas de componentes da estrutura e dos equipamentos na seqüência de desmontagem. Também achamse incluídas as figuras das peças desmontadas e vistas sob diversos ângulos, abrangendo todas as fabricadas pelo construtor do avião.

Regulamentos federais para a aviação (*far*)

O órgão governamental dos E.E.U.U. estabeleceu por lei, para a aviação, determinados regulamentos que dispõem sobre a segurança e disciplina das operações do vôo, estabelecendo ainda os privilégios e deveres dos tripulantes. O conhecimento desses regulamentos torna-se necessário no desempenho da manutenção, posto que todo trabalho executado na aeronave deve estar de acordo com os critérios então estabelecidos.

Disposições sobre a segurança do vôo (diretrizes de aeronavegabilidade)

A função básica do órgão federal (no Brasil representado pela DAC) é exigir a correção de condições que comprometem a segurança do vôo, encontradas nos aviões, motores, hélices ou outros dispositivos, quando tais condições existem, possam existir ou se desenvolvam em outros produtos do mesmo projeto. A condição comprometedora pode existir decorrentes de erro de projeto, de manutenção ou outras causas. As disposições sobre a Segurança do Vôo definem a autoridade e responsabilidade do administrador para fazer cumprir a adoção das medidas corretivas necessárias. Os proprietários de aviões, e outras pessoas interessadas, são então notificadas sobre as condições comprometedoras, recebendo ainda orientação sobre as medidas que deverão tomar para que seus produtos possam continuar a serem operados. O cumprimento adequado das medidas corretivas deve, então, ser efetivado imediatamente, a menos que sejam concedidas isenções específicas.

As condições sobre a Segurança do Vôo podem ser divididas em duas categorias:

1) aquelas de caráter de emergência, exigindo imediato cumprimento após notificação; e

2) aquelas de caráter menos urgente, estipulando um prazo para o cumprimento das medidas corretivas.

As notificações para o cumprimento das disposições acima apresentam também o modelo e números de série do produto afetado, quer seja este o avião, motor, hélice ou outro componente.

Certificado de aprovação de aeronave

Este certificado é constituído por folhas de dados que descrevem o projeto do tipo da aeronave e estabelecem as limitações estipuladas nos Regulamentos Federais para a Aviação. Nele também se incluem outras limitações e informações necessárias à emissão do certificado para um modelo determinado de avião.

As folhas de dados são numeradas na parte superior direita de cada página. Este número é o mesmo que o do Certificado de Aprovação. O nome do possuidor do tipo de aeronave, juntamente com os de todos os modelos aprovados, aparece logo abaixo do número do Certificado de Aprovação. A data da emissão do Certificado também é incluída com os dados acima, sendo o conjunto colocado em destaque por linhas limitadoras.

As folhas de dados são classificadas por seções. Cada seção é identificada por um número romano, seguido pela designação do modelo da aeronave.

A categoria, ou categorias, para as quais a aeronave pode ser aprovada aparece entre parênteses logo após o número do modelo. Inclui-se também a data da emissão do Certificado de Aprovação.

As folhas de dados encerram informações relativas a:

1) Designação dos modelos dos motores para os quais o fabricante do avião obteve aprovação para utilização com o modelo do avião.

2) Grau mínimo do combustível a ser utilizado.
3) Regimes de operação máximo contínuo e de decolagem dos motores aprovados, incluindo pressão de admissão (se utilizada), rotações por minuto (R.P.M.) e potência (hp).

4) Nome do fabricante e designação do modelo de cada hélice para a qual o fabricante do avião obteve aprovação, conjuntamente com as limitações e qualquer restrição operacional da hélice ou combinação motor-hélice.

5) Limites de velocidade em milhas por hora (m.p.h.) e nós.

6) Variação do centro de gravidade para as condições extremas de carregamento do avião, apresentada como distância em polegadas, a partir da linha de referência (*DATUM*), ou em porcentagem da Corda Média Aerodinâmica (C.M.A.).

7) Variação do centro de gravidade para o avião vazio, apresentada como limites dianteiros e traseiros, em polegadas. Não existindo variação, a palavra "nenhuma" seguir-se-á ao item correspondente na folha de dados.

8) Localização da linha de referência(*DATUM*).

9) Métodos disponíveis para o nivelamento do avião.

10)Todos os pesos máximos correspondentes.

11)Número de assentos e seus braços de momento.

12)Capacidade de óleo e combustível.

13)Movimentos das superfícies de controle.

14)Equipamento necessário.

15)Equipamento adicional ou especial exigido para certificação.

16)Placas com avisos necessários.

Não teremos todos os itens mostrados nesta relação de certificado de aprovação. A lista acima serve apenas para informar ao mecânico quanto aos tipos de assuntos que geralmente aparecem.

Especificação A.T.A. - 100

A publicação da especificação da Associação de Transporte Aéreo da América dos Assuntos Técnicos dos Fabricantes, é datada de 1° de junho de 1956.

Esta especificação criou um padrão de apresentação de dados técnicos para que os fabricantes de aviões, acessórios ou componentes, identificassem seus respectivos produtos.

A fim de padronizar o melhor possível e simplificar o assunto quanto ao problema de localização, um método uniforme de distribuição do material em todas publicações tem sido desenvolvido.

A Especificação A.T.A. 100 dividiu o avião em sistemas, como o elétrico, no qual cobre basicamente o sistema elétrico (Sist. 24 sub 00). A numeração de cada sistema principal permite uma subdivisão em vários subsistemas.

Os modelos atuais de aviões, em torno de aproximadamente 12.500 unidades, têm seus Manuais de Peças e Manuais de Manutenção arranjados de acordo com o sistema A.T.A.

A seguir a tabela com Sistema, Subsistema e Título, conforme A.T.A. para uma familiarização.

ESPECIFICAÇÃO A.T.A. 100 - SISTEMAS

Sist	**Sub**	**Título**
21		AR CONDICIONADO
	00	Geral
	10	Compressão
	20	Distribuição
	30	Controle de Pressurização
	40	Aquecimento
	50	Refrigeração
	60	Controle de Temperatura
	70	Regulagem de Umidade
22		VÔO AUTOMÁTICO
	00	Geral
	10	Piloto Automático
	20	Correção de Velocidade/Altitude
	30	Controle Automático das Manetes de Potência
23		COMUNICAÇÃO
	00	Geral
	10	Freqüência (HF)
	20	VHF / UHF
	30	Sistema de Comunicação com o Passageiro
	40	Interfone
	50	Áudio
	60	Descarga de Estática
	70	Monitor de Vídeo e Audio

24		FORÇA ELÉTRICA
	00	Geral
	10	Acionamento do Gerador
	20	Geração AC
	30	Geração DC
	40	Força Externa
	50	Distribuição de Força Elétrica
25		EQUIPAMENTO DE CABINE
	00	Geral
	10	Cabine de Comando
	20	Cabine de Passageiro
	30	*Galley*
	40	Lavatórios
	50	Compartimento de Carga e Acessórios
	60	Emergência
	70	Compartimento de Acessórios
26		PROTEÇÃO DE FOGO
	00	Geral
	10	Detecção
	20	Extinção
	30	Supressor de Explosão
27		CONTROLES DE VÔO
	00	Geral
	10	Aileron e Compensador
	20	Leme e Compensador
	30	Profundor e Compensador
	40	Estabilizador Horizontal
	50	Flapes
	60	*Spoiler*, Dispositivos de Arrasto e Carenagens Aerodinâmicas Variáveis
	70	Travas de Comandos e Amortecedores
	80	Dispositivos de Hiper-sustentação
28		COMBUSTÍVEL
	00	Geral
	10	Armazenagem
	20	Distribuição
	30	Alijamento
	40	Indicação
29		FORÇA HIDRÁULICA
	00	Geral
	10	Principal
	20	Auxiliar
	30	Indicação
30		PROTEÇÃO DE CHUVA E GELO
	00	Geral
	10	Aerofólios
	20	Entradas de Ar
	30	Pitot e Estática
	40	Janelas e Pára-brisas
	50	Antenas e Radomes
	60	Hélices e Rotores
	70	Linhas de Água
	80	Detecção
31		INSTRUMENTOS
	00	Geral
	10	Vago
	20	Vago
	30	Gravações
	40	Computador Central
	50	Sistema de Aviso Central
32		TREM DE POUSO
	00	Geral
	10	Trem Principal e Portas
	20	Trem do Nariz e Portas
	30	Extensão e Retração
	40	Rodas e Freio
	50	Direção
	60	Posição e Aviso
	70	Trem Suplementar, *Skis*, Flutuadores
33		LUZES
	00	Geral
	10	Cabine de Comando
	20	Cabine de Passageiro
	30	Compartimento de Carga e Serviço
	40	Exterior
	50	Iluminação de Emergência
34		NAVEGAÇÃO
	00	Geral
	10	Previsão do Tempo
	20	Atitude e Direção
	30	Auxílios de Pouso e Rolagem
	40	Sistema de Posição Independente
	50	Sistema de Posição Dependente
	60	Computação de Posição
35		OXIGÊNIO
	00	Geral
	10	Tripulação

	20	Passageiro
	30	Portátil
36		PNEUMÁTICO
	00	Geral
	10	Distribuição
	20	Indicação
37		VÁCUO
	00	Geral
	10	Distribuição
	20	Indicação
38		ÁGUA / ESGOTO
	00	Geral
	10	Potável
	20	Lavatório
	30	Esgoto
	40	Pressurização
39		PAINÉIS ELÉTRICOS / ELETRÔNICOS E COMPONENTES MULTIFUNCIONAIS
	00	Geral
	10	Instrumentos e Painel de Controle
	20	Prateleiras de Equipamentos Elétrico/Eletrônico
	30	Caixa de Junção Elétrica e Eletrônica
	40	Componentes Eletrônicos Multifuncionais
	50	Circuitos Integrados
	60	Montagem de Circuito Impresso
49		APU
	00	Geral
	10	*Power Plant*
	20	Motor
	30	Combustível do Motor e Controle
	40	Ignição e Partida
	50	Ar
	60	Controles do Motor
	70	Indicação
	80	Reversores
	90	Lubrificação
51		ESTRUTURAS
	00	Geral
52		PORTAS
	00	Geral
	10	Tripulação/Passageiro
	20	Saída de Emergência
	30	Carga
	40	Serviço
	50	Interna
	60	Escada
	70	Avisos de Porta
	80	Trem de Pouso
53		FUSELAGEM
	00	Geral
	10	Estrutura Principal
	20	Estrutura Auxiliar
	30	Chapas de Revestimento
	40	Elementos de Fixação
	50	Carenagens Aerodinâmicas
54		NACELES / PYLONS
	00	Geral
	10	Estrutura Principal
	20	Estrutura Auxiliar
	30	Chapas de Revestimento
	40	Elementos de Fixação
	50	Carenagens e *Fillets*
55		ESTABILIZADORES
	00	Geral
	10	Estabilizador Horizontal
	20	Profundor
	30	Estabilizador Vertical
	40	Leme
	50	Elementos de Fixação
56		JANELAS
	00	Geral
	10	Cabine de Comando
	20	Cabine de Passageiro
	30	Porta
	40	Inspeção e Observação
57		ASAS
	00	Geral
	10	Estrutura Principal
	20	Estrutura Auxiliar
	30	Chapas de Revestimento
	40	Elementos de Fixação
	50	Superfícies de Vôo
61		HÉLICES
	00	Geral
	10	Conjunto da Hélice

	20	Controle
	30	Freio
	40	Indicação
65		ROTOR
	00	Geral
	10	Rotor Principal
	20	Conjunto do Rotor Anti-Torque
	30	Acionamento de Acessórios
	40	Controle
	50	Freio
	60	Indicação
71		POWER PLANT
	00	Geral
	10	Capotas
	20	Suportes do Motor
	30	Parede de Fogo e Periferia
	40	Elementos de Fixação
	50	Chicotes Elétricos
	60	Entradas de Ar
	70	Drenos do Motor
72		MOTOR A REAÇÃO / TURBOÉLICE
	00	Geral
	10	Trem de Engrenagem Redutora/ Seção do Eixo (Turboélice)
	20	Seção de Entrada de Ar
	30	Seção do Compressor
	40	Seção de Combustão
	50	Seção da Turbina
	60	Acionamento de Acessórios
	70	Seção By-Pass
72		MOTOR CONVENCIONAL
	00	Geral
	10	Seção Fronteira
	20	Seção de Força
	30	Seção dos Cilindros
	40	Seção de Compressores
	50	Lubrificação
73		COMBUSTÍVEL DO MOTOR E CONTROLE
	00	Geral
	10	Distribuição
	20	Controle
	30	Indicação
74		IGNIÇÃO
	00	Geral
	10	Suprimento de Força Elétrica
	20	Distribuição
	30	Interrupção
75		SANGRIA DE AR
	00	Geral
	10	Anti-Gelo do Motor
	20	Refrigeração dos Acessórios
	30	Controle do Compressor
	40	Indicação
76		CONTROLES DO MOTOR
	00	Geral
	10	Controle da Potência
	20	Parada de Emergência
77		INDICAÇÃO DO MOTOR
	00	Geral
	10	Força
	20	Temperatura
	30	Analisadores
78		DESCARGA
	00	Geral
	10	Coletor
	20	Supressor de Ruído
	30	Reversor
	40	Ar Suplementar
79		LUBRIFICAÇÃO
	00	Geral
	10	Reservatório
	20	Distribuição
	30	Indicação
80		PARTIDA
	00	Geral
	10	Acoplamento
81		TURBINAS (MOTOR. CONVENCIONAL)
	00	Geral
	10	Recuperação de Potência
	20	Turbo-Compressor
82		INJEÇÃO DE ÁGUA
	00	Geral
	10	Armazenagem
	20	Distribuição
	30	Alijamento e Purgamento
	40	Indicação
83		CAIXAS DE ACESSÓRIOS
	00	Geral

10 Eixo de Acionamento
20 Seção da Caixa

INSPEÇÃO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A inspeção por partículas magnéticas é um método de detectar fraturas invisíveis, e outros defeitos em materiais ferromagnéticos, tais como ferro e aço.

Esse método de inspeção é um teste não-destrutivo, o que significa que ele é realizado na própria peça, sem danificá-la. Ele não é aplicável a materiais não magnéticos.

Nas peças do avião sujeitas a alta rotação, vibração, oscilação e outros reforços, pequenos defeitos se desenvolvem muitas vezes, a ponto de ocasionar dano total à peça.

A inspeção por partículas magnéticas tem provado ser de extrema confiabilidade na detecção rápida em casos de defeitos localizados próximos ou na superfície de peças. O emprego deste método de inspeção não somente indica o local da falha, como também são delineadas a extensão e a forma da mesma.

O processo da inspeção consiste em magnetizar a peça e, então, aplicar partículas ferromagnéticas no local da superfície a ser inspecionado.

As partículas ferromagnéticas (agente detector) podem estar em suspensão num líquido que é aplicado sobre a peça: a peça pode ser mergulhada no líquido de suspensão, ou as partículas, em forma de pó seco, podem ser espalhadas sobre a superfície da peça.

O processo do líquido é o mais comumente utilizado na inspeção de peças de avião.

Se alguma descontinuidade estiver presente, as linhas magnéticas de força sofrerão alteração, havendo formação de pólos opostos em ambos os lados da descontinuidade. As partículas magnetizadas formam assim uma imagem no campo magnético.

Esta imagem, conhecida como "indicação", apresenta a forma aproximada da projeção da descontinuidade, que pode ser definida como uma interrupção na estrutura ou configuração física normal de irregularidades, tais como, rachadura, sobreposição em peça forjada, costura de solda, inclusão, porosidade e outras. A descontinuidade pode ou não afetar a vida útil de uma peça.

Desenvolvimento das indicações

Quando a descontinuidade num material magnetizado encontra-se aberta à superfície, possibilitando a aplicação sobre ela de uma substância magnética, a dispersão do fluxo na descontinuidade tende a formar com o agente detector uma passagem de maior permeabilidade. (Permeabilidade é o termo usado para se referir à facilidade com que um fluxo magnético pode ser formado num determinado circuito magnético).

Devido ao magnetismo da peça e à aderência mútua das partículas magnéticas, a indicação permanece sobre a superfície da peça sob a forma de contorno aproximado da descontinuidade existente logo abaixo.

Quando a descontinuidade não se encontra aberta na superfície, tem lugar o mesmo fenômeno acima observado, mas pelo fato da dispersão do fluxo ser menor, a aderência das partículas magnéticas é mais fraca, obtendo-se uma indicação menos definida.

Se a descontinuidade estiver muito abaixo, poderá não haver indicação na superfície. A dispersão do fluxo numa descontinuidade transversal está representada na figura 10-l. A figura 10-2 mostra a dispersão numa descontinuidade longitudinal.

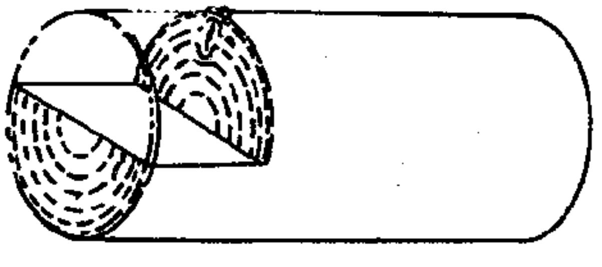


Figura 10-1 Dispersão do fluxo em descontinuidade transversal.

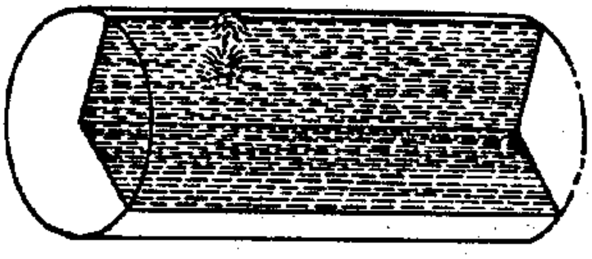


Figura 10-2 Dispersão do fluxo em descontinuidade longitudinal.

Tipos de descontinuidades detectadas

Os tipos de descontinuidades detectadas, normalmente pelo teste de partículas magnéticas, são os seguintes: rachaduras, sobreposição em peças forjadas, costuras, fechamento a frio, inclusões, fendas, rasgos, bolsas de retraimento e ocos (vazios).

Todas estas descontinuidades podem afetar a confiabilidade das peças em serviço. Rachaduras, fendas, estaladuras, rasgos, costuras, ocos e bolsas de retraimento são formados por uma separação ou ruptura real do metal sólido. Fechamento a frio e sobreposição são dobras que se formaram no metal, interrompendo sua continuidade.

As inclusões são materiais estranhos, formados por impurezas do metal durante os estágios de seu processamento. Elas podem consistir, por exemplo, de partículas do revestimento da fornalha introduzidas durante a fusão do metal básico ou de outras matérias estranhas. As inclusões interrompem a continuidade do metal porque elas não permitem a junção ou caldeamento de faces adjacentes do metal.

Preparação das peças para o teste

Graxa, óleo e qualquer sujeira devem ser removidos de todas as peças antes que elas sejam submetidas a teste.

A limpeza é muito importante, posto que a presença de graxa ou qualquer matéria estranha pode provocar indicações falsas devido à aderência das partículas magnéticas, e a esses corpos estranhos, quando a suspensão líquida é aplicada sobre a peça.

A formação da imagem correta da descontinuidade pode ser prejudicada pela presença de graxa ou outras matérias estranhas. Não é aconselhável confiar na suspensão de partículas magnéticas para limpar a peça.

Qualquer matéria estranha removida por este processo contaminará a suspensão, reduzindo, portanto, sua eficiência.

Na inspeção por partículas magnéticas, utilizando-se pó seco, é absolutamente necessário uma rigorosa limpeza.

Graxa ou outras matérias estranhas fixariam o pó magnético, daí resultando indicações incorretas, tornando ainda impossível espalhar as partículas magnéticas por igual sobre a superfície da peça.

Todas as pequenas aberturas ou furos para lubrificação, conduzindo a passagens ou cavidades internas, devem ser fechados com parafina ou qualquer outra substância adequada não abrasiva.

Camadas leves de banho de cádmio, cobre, estanho e zinco não interferem no resultado satisfatório da inspeção por partículas magnéticas.

O resultado ficaria prejudicado se a camada fosse demasiadamente grossa ou se as descontinuidades a serem detectadas fossem extremamente pequenas.

Banhos de cromo ou níquel geralmente não interferirão nas indicações de rachaduras abertas à superfície do metal básico, mas evitarão a indicação de descontinuidades delgadas, tais como inclusões.

A camada de níquel, sendo mais fortemente magnética, é mais prejudicial que a camada de cromo ao impedir a formação das indicações de descontinuidades.

Efeito da direção do fluxo

A fim de detectar uma falha numa peça, torna-se essencial que as linhas de força magnéticas passem perpendicularmente à falha. Torna-se, portanto, necessário induzir fluxo magnético em mais de uma direção, desde que as falhas existiam em qualquer ângulo em relação ao eixo maior da peça.

Isto exige duas operações independentes de magnetização, conhecidas como magnetização circular e magnetização longitudinal.

O efeito da direção do fluxo acha-se ilustrado na figura 10-3.

Magnetização circular é a indução de um campo magnético constituído por círculos de força concêntricos, ao redor e dentro da peça, fazendo passar a corrente elétrica através da peça.

Este tipo de magnetização localizará falhas no sentido paralelo ao eixo da peça.

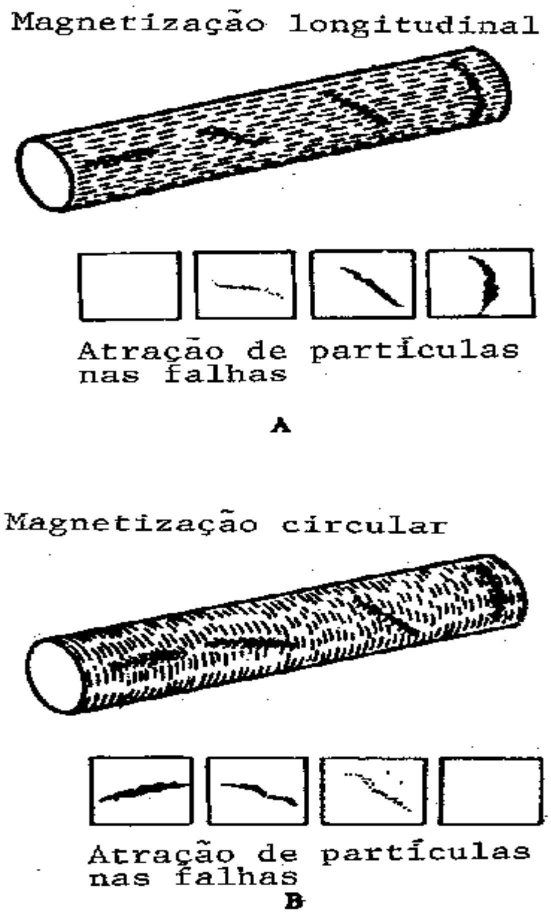

Magnetização longitudinal
Atração de partículas nas falhas
A
Magnetização circular
Atração de partículas nas falhas
B

Figura 10-3 Efeito da direção do fluxo na intensidade da indicação.

A magnetização circular de uma peça de seção transversal sólida acha-se ilustrada na figura 10-4.

Cada extremidade da unidade magnetizadora é ligada eletricamente a um painel de controle, de tal modo que, ao ser fechado o contato, a corrente magnetizadora passa de uma para outra extremidade da peça, através da mesma.

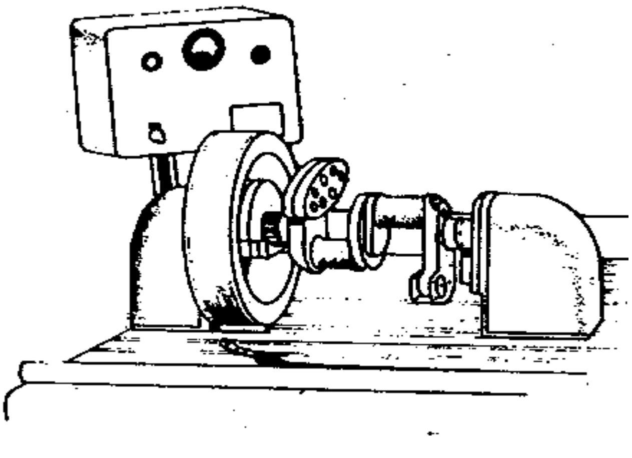


Figura 10-4 Magnetização circular de um eixo-manivela.

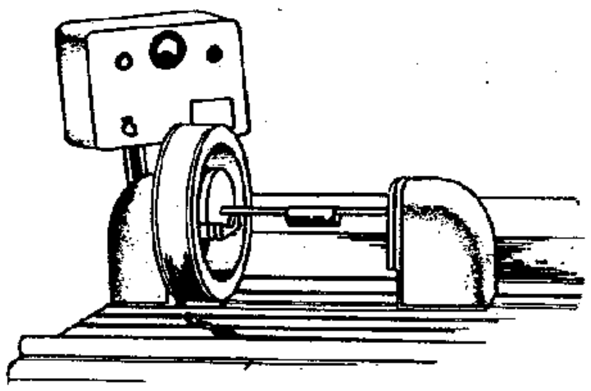


Figura 10-5 Magnetização circular de um pino de pistão com barra condutora.

A figura 10-5 ilustra a magnetização circular de uma peça de seção transversal oca, passando a corrente magnetizadora por uma barra condutora localizada no eixo da peça. Na magnetização longitudinal, o campo magnético é produzido numa direção paralela ao eixo maior da peça. Isto é feito colocando-se a peça no interior de um solenóide excitado por corrente elétrica. A peça metálica torna-se então o núcleo de um eletroímã e é magnetizada pela indução do campo magnético criado no solenóide.

Na magnetização longitudinal de peças compridas, o solenóide deve ser movimentado ao longo da peça a fim de magnetizá-la (Ver a figura 10-6). Isto é necessário para assegurar uma intensidade de campo adequada através de todo o comprimento da peça.

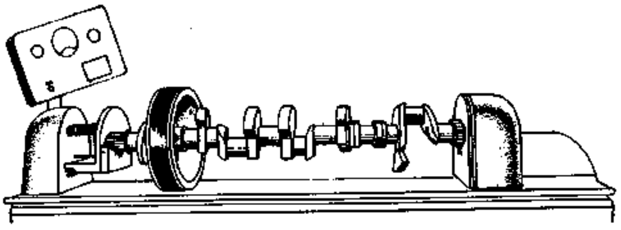


Figura 10-6Magnetização longitudinal do eixo-manivela (método do solenóide).

Os solenóides produzem magnetização efetiva até aproximadamente 12 polegadas a partir de cada extremidade da bobina, podendo acomodar peças ou seções de até 30 polegadas de comprimento.

Uma magnetização longitudinal equivalente àquela obtida pelo solenóide pode ser realizada, enrolando-se em torno da peça um condutor elétrico flexível, como mostra a figura 10-7.

Ainda que este método não seja tão conveniente, ele apresenta a vantagem das bobinas se acomodarem melhor com o formato da peça, produzindo assim uma magnetização mais uniforme.

O método da bobina flexível é também utilizado nas peças de grande porte ou de formato irregular, para as quais não existem solenóides adequados.

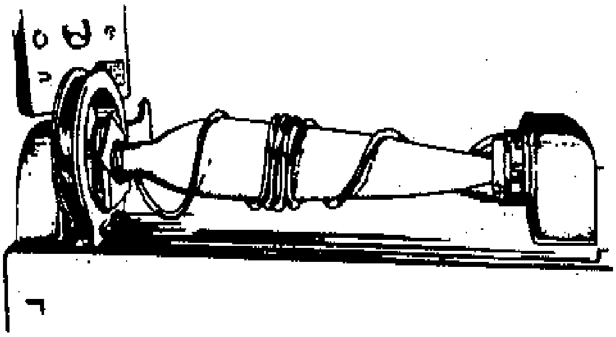


Figura 10-7 Magnetização longitudinal de pá de hélice metálica (método do cabo flexível).

Efeito da densidade do fluxo

A eficiência da inspeção por partículas magnéticas depende também da densidade do fluxo, ou intensidade do campo sobre a superfície da peça, quando é aplicado o agente detector.

À medida que é aumentada a intensidade do fluxo na peça, a sensibilidade do teste também aumenta, devido à maior dispersão do fluxo nas descontinuidades, resultando daí a formação de contornos mais detalhados de partículas magnéticas.

Entretanto, densidades de fluxo excessivamente elevadas poderão formar indicações sem importância como, por exemplo, os contornos do fluxo granular no material. Essas indicações interferirão na detecção dos contornos resultantes de descontinuidades importantes. Torna-se assim necessário utilizar uma intensidade de campo suficientemente elevada para detectar todas as possíveis falhas prejudiciais, mas não tão elevada que seja capaz de produzir indicações indevidas e confusas.

Métodos de magnetização

Quando uma peça é magnetizada, a intensidade de campo nela resultante aumenta até um certo limite, assim permanecendo, enquanto a força magnetizadora for mantida.

Identificação das indicações

A avaliação correta do caráter das indicações é extremamente importante, porém apresenta alguma dificuldade somente pela observação das mesmas.

As características principais das indicações são a forma, o tamanho, a largura e a nitidez do contorno. Estes aspectos são geralmente mais úteis em determinar o tipo de descontinuidades do que propriamente a sua importância.

Entretanto, uma observação cuidadosa do caráter do molde das partículas magnéticas deve sempre ser incluída na avaliação completa da importância de uma descontinuidade indicada.

As indicações mais rapidamente distinguíveis são as produzidas por fendas abertas na superfície. Essas descontinuidades incluem rachaduras por fadiga, por tratamento térmico, por contração em soldas e fundição, e por esmerilhamento.

A figura 10-8 ilustra uma rachadura por fadiga.

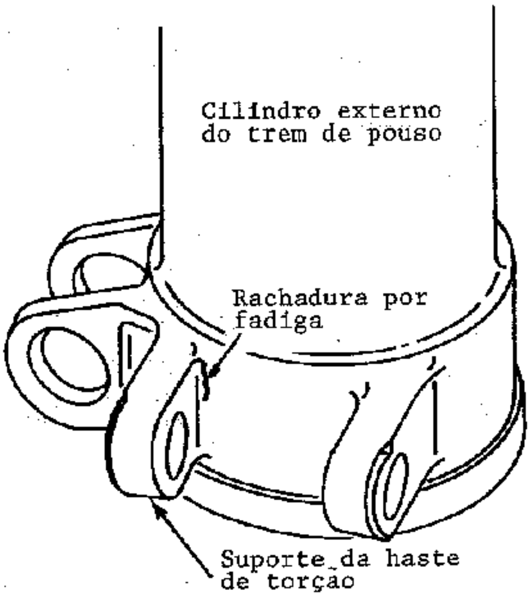


Figura 10-8Rachaduras por fadiga num trem de pouso

As rachaduras por fadiga apresentam contornos nítidos e definidos, geralmente uniformes e sem interrupção em todo o comprimento, e de tamanho razoável.

Apresentam aparência serrilhada, comparada com as indicações retas de fadiga em costura, podendo também mudar ligeiramente de direção em certos locais.

As rachaduras por fadiga são encontradas nas peças em uso e nunca em peças novas. Geralmente situam-se em áreas submetidas a grandes esforços.

É importante compreender que mesmo uma pequena rachadura por fadiga indica que o defeito da peça acha-se positivamente em progressão.

As rachaduras provocadas por tratamento térmico apresentam um esboço suave, porém, geralmente, são menos perceptíveis e menores que as rachaduras por fadiga.

Nas peças com seções finas, como paredes de cilindros, as rachaduras por tratamento térmico podem apresentar contornos bem definidos (figura 10-9), com a forma característica consistindo de traços curtos denteados e agrupados.

As rachaduras por contração apresentam um contorno nítido e definido, embora o traçado seja comum e muito denteado. Sendo as paredes das fraturas por contração muito estreitas, suas indicações normalmente não atingem a extensão das indicações observadas nas fraturas por fadiga.

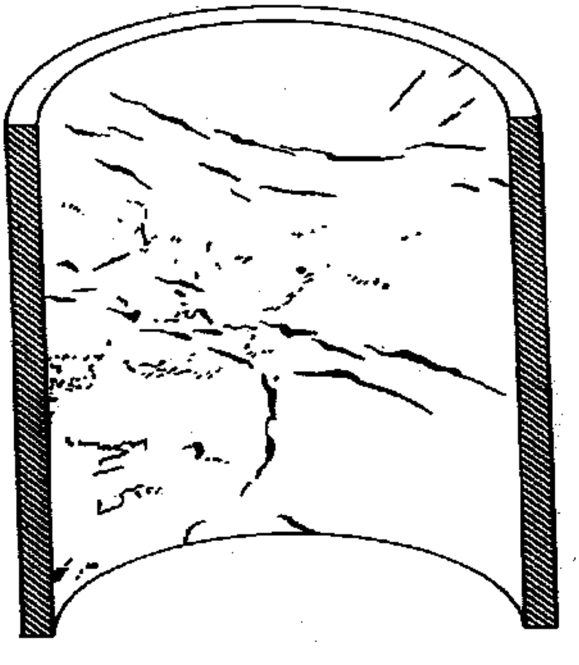


Figura 10-9 Rachaduras por tratamento térmico em parede de cilindro.

As fraturas provocadas por esmerilhamento também apresentam contornos nítidos e bem definidos, porém raramente de tamanho considerável, dada a sua profundidade limitada. Essas fraturas podem apresentar indicações que variam de um simples a um considerável conjunto de traços. As fraturas por esmerilhamento estão geralmente relacionadas com a direção do esmerilhamento.

Exemplificando: a fratura comumente tem início e continua em ângulo reto à direção de rotação do rebolo, apresentando um contorno ligeiramente simétrico. Indicações de fraturas por esmerilhamento podem freqüentemente ser identificadas através dessa correlação.

As indicações das rupturas nas costuras de solda são geralmente retas, bem definidas e delicadas. Elas são muitas vezes intermitentes, podendo apresentar tamanho reduzido.

Os traços (linhas muito finas) são costuras muito delicadas nas quais as paredes da costura foram muito comprimidas durante a fabricação da peça.

As indicações desses traços são muito delicadas e bem definidas, com tamanho muito reduzido. As descontinuidades desse tipo somente são consideradas perigosas nas peças sujeitas a esforços elevados.

As inclusões são corpos não-metálicos, tais como materiais de escória e componentes químicos que ficaram presos nos lingotes em solidificação. Elas são comumente alongadas e esticadas à medida que o lingote passa pelas subsequentes operações de processamento.

As inclusões apresentam-se nas peças sob diversos tamanhos e formatos, desde um filete facilmente identificado pela vista, até partículas somente visíveis sob ampliação. Numa peça pronta elas podem se apresentar como descontinuidades na superfície ou sob ela.

As indicações das inclusões subsuperficiais são geralmente largas e indefinidas. São poucas vezes contínuas ou de mesma espessura e densidade ao longo de seu comprimento. Inclusões maiores, principalmente aquelas próximas ou abertas à superfície, apresentam indicações mais facilmente definidas.

Uma inspeção mais apurada revelará geralmente sua falta de definição e o fato de que a indicação consiste de diversas linhas paralelas, em lugar de uma linha única. Tais características geralmente distinguirão uma inclusão séria de uma rachadura.

Quando cavidades acham-se localizadas bem abaixo da superfície da peça, o teste por partículas magnéticas não é um método confiável de detectá-las. Mesmo que qualquer indicação seja obtida, será provavelmente um contorno impreciso e indefinido da cavidade, com o detector magnético procurando se distribuir sobre toda a área, em vez de apresentar claramente o contorno da descontinuidade. Defeitos desse tipo são mais facilmente detectados pelos métodos radiográficos.

As sobreposições ou dobras podem ser identificadas por sua forma e localização. Elas normalmente aparecem nas extremidades de uma forjadura e suas indicações são comumente bem marcantes e irregulares.

A indicação de uma dobra de qualquer comprimento é comumente interrompida formando ilhas e ramificações curtas, e um aspecto de escama apresentado na dobra revela invariavelmente contornos em forma de leques que partem da indicação principal.

Quando um lingote se solidifica, a distribuição dos vários elementos ou componentes não é geralmente uniforme em toda a estrutura do lingote. Poderá então ocorrer uma pronunciada separação de alguns componentes. No processo da forjadura e conseqüente laminação do lingote, essas separações são alongadas e reduzidas nos cortes transversais.

Depois de subseqüente processamento, elas podem aparecer como finas linhas ou faixas paralelas, conhecidas como enfaixamento.

A separação sob a forma de faixas é algumas vezes detectada pela inspeção por partículas magnéticas, principalmente quando se utilizam campos magnéticos de alta intensidade. Esse tipo de separação geralmente não é prejudicial.

A forma mais séria de separação ocorre provavelmente na fundição. Neste caso, a condição básica do metal permanece inalterada na peça pronta, permanecendo qualquer separação na mesma forma em que foi originada. Ela pode variar no tamanho e, normalmente, terá formato irregular, ocorrendo na superfície ou abaixo dela.

Inspeção *Magnaglo*

A inspeção MAGNAGLO é semelhante a de partículas magnéticas, sendo que é utilizada uma solução de partículas magnéticas fluorescentes, e a inspeção é feita sob luz negra.

A eficiência da inspeção é aprimorada pelo brilho tipo néon dos defeitos e indicações de pequenas falhas, que podem ser percebidas mais rapidamente. Esse é um excelente método para ser utilizado em engrenagens, peças rosqueadas e componentes do motor do avião. O líquido marrom avermelhado usado na pulverização ou banho da peça consiste da pasta MAGNAGLO misturada com óleo fino na proporção de 0,10 a 0,25 onças de pasta por galão de óleo.

Após a inspeção, a peça deve ser desmagnetizada e lavada com solvente.

EQUIPAMENTO PARA MAGNETIZAÇÃO

Unidade fixa (não portátil)

Uma unidade fixa para aplicação geral acha-se apresentada na figura 10-10. Essa unidade fornece corrente contínua para processos de magnetização, contínua ou residual, por suspensão. Pode ser aplicada magnetização circular ou longitudinal, utilizando-se corrente alternada retificada ou corrente contínua.

As cabeças de contato constituem os terminais elétricos para a magnetização circular. Uma cabeça tem posição fixa. Sua chapa de contato acha-se montada num eixo envolvido por uma mola de pressão, de modo que a chapa pode ser movimentada longitudinalmente.

A chapa é mantida na posição distendida pela mola, até que a pressão transmitida pela peça através da cabeça móvel força-a para trás.

A cabeça móvel desliza horizontalmente sobre guias longitudinais e é comandada por um motor.

O controle é feito através de um interruptor. A mola permite à cabeça móvel deslocar-se até um certo limite de compressão, e assegura pressão suficiente em ambas as extremidades da peça para garantir um bom contato elétrico.

Um interruptor operado por uma haste localizada na cabeça fixa corta o circuito de comando do motor da cabeça móvel, quando a mola for suficientemente comprimida.

Em algumas unidades de magnetização a cabeça móvel é operada manualmente, e a chapa de contato é algumas vezes construída para operar por pressão de ar.

Ambas as chapas de contato são adaptadas com diferentes dispositivos para suportar a peça.

O circuito de magnetização é fechado pela compressão de um botão de pressão localizado na frente da unidade. O circuito geralmente é aberto automaticamente após cerca de meio segundo.

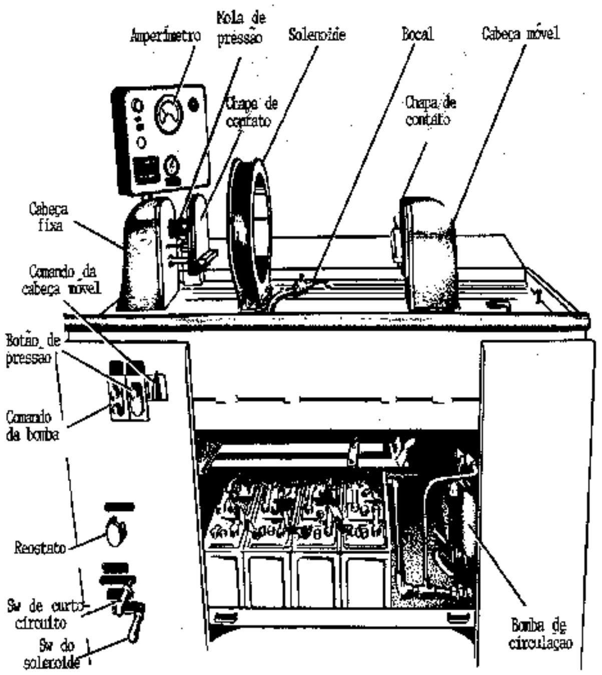


Figura 10-10 Unidade magnetizadora fixa para uso geral.

A intensidade da corrente magnetizadora pode ser ajustada manualmente no valor desejado por meio do reostato, ou aumentada até o limite de capacidade da unidade pelo interruptor de curto-circuito do reostato. A corrente elétrica utilizada é indicada no amperímetro.

A magnetização longitudinal é produzida através de um solenóide que se desloca nas mesmas guias horizontais que a cabeça móvel, sendo, ele, ligado ao circuito elétrico por meio de um interruptor.

O líquido contendo as partículas em suspensão encontra-se num reservatório, sendo agitado e circulado por uma bomba. O fluido de suspensão é aplicado à peça através de um bocal. Após escorrer pela peça, o líquido passa por uma grelha de madeira e é coletado por uma bandeja que o envia de volta à bomba. A bomba circuladora é operada por um interruptor tipo botão de pressão.

Unidade portátil para uso geral

Torna-se muitas vezes necessário executar a inspeção por partículas magnéticas em locais onde não se dispõe de unidade fixa de magnetização, ou em componentes das estruturas do avião, sem removê-las do mesmo. Isso tem ocorrido, particularmente, em trem de pouso ou suportes de motor suspeitos de terem desenvolvido rachaduras em serviço. Podem ser encontrados equipamentos adequados a estes tipos de inspeção utilizando para magnetização corrente alternada ou corrente contínua. Um exemplo típico acha-se apresentado na figura 10-11.

Essa unidade é simplesmente uma fonte de corrente magnetizadora, não possuindo condições para suportar a peça ou aplicar a suspensão líquida. Ela opera com corrente alternada (200 volts, 60 Hz) e possui um retificador para produzir corrente contínua.

A corrente magnetizadora é fornecida através de cabos flexíveis. Os terminais dos cabos podem ser equipados com pontas (como mostra a ilustração) ou grampos ou garras de contato.

A magnetização circular pode ser obtida utilizando-se as pontas ou as garras. A magnetização longitudinal obtem-se enrolando o cabo ao redor da peça. A intensidade da corrente magnetizadora é controlada por um seletor de oito posições, e o tempo de sua aplicação é regulado por um circuito automático semelhante ao utilizado na unidade fixa já descrita.

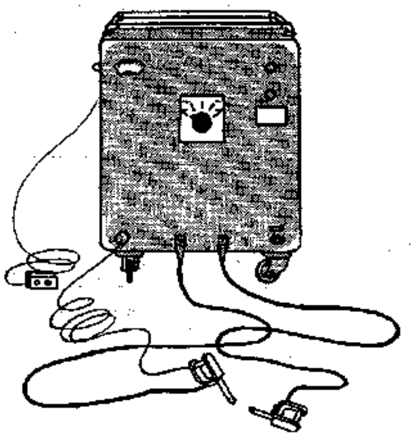


Figura 10-11 Unidade portátil para uso geral.

Essa unidade portátil serve também como desmagnetizador, para isso fornecendo corrente alternada de alta amperagem e baixa voltagem. Para a desmagnetização, a corrente alternada é passada pela peça e gradualmente reduzida por meio de um redutor de corrente.

Ao testar grandes estruturas com superfícies planas, onde a corrente deve passar pela peça, torna-se, às vezes, impossível usar as garras de contato. Nesse caso são utilizadas as pontas.

As pontas também podem ser utilizadas com a unidade fixa. A peça ou conjunto sob teste pode ser mantida acima da unidade fixa e a suspensão líquida aplicada com mangueira na área;

o excesso da suspensão é drenado para o interior do reservatório. O método seco também pode ser utilizado.

As pontas devem ser seguradas firmemente de encontro à superfície sob teste. Há a tendência da corrente de alta amperagem provocar queimaduras nas áreas de contato, mas com o devido cuidado estas queimaduras serão bem reduzidas. Para aplicações onde a magnetização por pontas é aconselhável, leves queimaduras não são tomadas em consideração.

Quando é desejável utilizar cabos com a unidade fixa como fonte de energia, tornar-se conveniente o uso de um bloco de contato. Esse consiste de um bloco de madeira em cujas extremidades são adaptadas chapas de cobre para receber os terminais dos cabos.

Quando o bloco de contato é colocado entre as cabeças da unidade fixa, os controles e interruptores da unidade podem ser utilizados para regular a corrente magnetizadora. Este processo apresenta um meio conveniente de ligar os cabos à fonte de energia, eliminando a necessidade de fixação das conexões por meio de parafusos.

Ao passar a corrente magnetizadora por uma pá de hélice de aço para magnetização circular, há possibilidade de queimar a ponta da pá se não forem tomadas certas precauções. Essa possibilidade pode ser eliminada usando-se uma garra articulada presa à cabeça móvel da unidade de inspeção. A garra é revestida com malha de cobre que fornece bom contato elétrico, ajustando-se à curvatura das faces da pá da hélice. Esse arranjo evita o contato elétrico na borda fina da ponta da pá e elimina as correntes de alta intensidade que podem causar queimadura neste ponto. A extremidade de fixação da pá da hélice é suportada por um encaixe montado na cabeça fixa da unidade.

Materiais indicadores

Os vários tipos de materiais indicadores disponíveis para utilização na inspeção por partículas magnéticas podem ser classificados em dois tipos: os utilizados no processo líquido e os utilizados no processo seco. O requisito básico para qualquer material indicador é que ele forneça indicações aceitáveis de descontinuidades nas peças.

O contraste proporcionado por um determinado material indicador de descontinuidades na superfície, ou no interior da peça, é de particular importância. As cores mais utilizadas no processo líquido são o preto e o vermelho; no processo seco são o preto, o vermelho e o cinza.

Para uma operação aceitável, o material indicador deve ser de alta permeabilidade e baixa retentividade. A alta permeabilidade assegura que um mínimo de energia magnética será exigido para atrair o material na dispersão do fluxo causada pelas descontinuidades.

A baixa retentividade assegura que a mobilidade das partículas magnéticas não será prejudicada, pelo fato das mesmas partículas magnéticas tornarem-se magnetizadas e atraírem-se umas às outras.

A substância magnética para o processo líquido é geralmente fornecida em forma de pasta. A pasta vermelha aumenta a visibilidade nas superfícies pretas, ainda que a quantidade exata da substância magnética a ser adicionada possa variar, uma concentração de 2 onças de pasta por galão do veículo líquido tem sido considerada satisfatória.

A pasta não deve ser adicionada ao líquido de suspensão no reservatório da unidade magnetizadora, posto que o agitador e a bomba não são satisfatórios para efetuar a mistura.

O processo correto para o preparo da suspensão é colocar a quantidade adequada da pasta num vasilhame e adicionar pequena quantidade do líquido parceladamente, à medida que se vai misturando os componentes com o auxílio de uma espátula. Quando a pasta estiver totalmente diluída numa mistura líquida uniforme, ela poderá então ser despejada no reservatório.

É importante que no preparo da suspensão seja sempre utilizada substância magnética nova. Quando a suspensão se tornar descolorida, ou, de certa forma contaminada a ponto de interferir na formação dos contornos das partículas magnéticas, a unidade deverá ser drenada, limpa e reabastecida com suspensão limpa.

DESMAGNETIZAÇÃO

O magnetismo residual que permanece na peça após a inspeção deve ser removido por uma operação de desmagnetização, antes que a peça volte a serviço.

Peças de mecanismos operacionais devem ser desmagnetizadas para evitar que as peças magnetizadas atraiam limalhas ou pequenas lascas, deixadas inadvertidamente no sistema, ou partículas de aço resultantes do desgaste operacional.

O acúmulo dessas partículas numa peça magnetizada pode causar arranhões em mancais ou outras partes trabalhantes.

Os componentes da estrutura do avião também devem ser desmagnetizados, de modo a evitar que os instrumentos sejam afetados.

A desmagnetização entre sucessivas operações de magnetização não é comumente necessária, a menos que a experiência indique que a omissão desta operação resulte em decréscimos da eficiência numa determinada aplicação.

Anteriormente, esta operação era considerada necessária para remover completamente o campo existente numa peça antes que ela fosse magnetizada numa direção diferente.

A desmagnetização pode ser efetuada por vários processos. Possivelmente, o mais conveniente para peças de avião é submeter a peça a uma força magnetizadora com reversão contínua na direção e que, ao mesmo tempo, diminua gradativamente de intensidade.

À medida que a força magnetizadora decrescente é aplicada, primeiro numa direção e em seguida na outra, a magnetização da peça também decresce.

Método padrão para desmagnetização

O processo mais simples para criar uma força magnética reversível e gradativamente mais fraca numa peça utiliza uma bobina de solenóide energizada por corrente alternada. À medida que a peça é afastada do campo alternativo do solenóide, o magnetismo na peça se reduz gradualmente.

Deve ser utilizado um desmagnetizador cujo tamanho seja o mais aproximado possível da peça; e para maior eficiência, as pequenas peças devem ser mantidas tão perto quanto possível da parede interna da bobina.

As peças que não perdem rapidamente seu magnetismo devem ser passadas vagarosamente para dentro e para fora do desmagnetizador por diversas vezes, sendo ao mesmo tempo, viradas ou giradas em várias direções. Permitir que uma peça fique no desmagnetizador com a corrente ligada resulta em pouca desmagnetização.

A operação eficiente no processo de desmagnetização consiste em movimentar a peça lentamente para fora da bobina, afastando-a do campo de força magnética. À medida que a peça é afastada, ela deve ser mantida diretamente oposta à abertura, até que se encontre a 1 ou 2 pés do desmagnetizador. A corrente desmagnetizadora não deve ser cortada antes que a peça esteja a uma distância de 1 a 2 pés da abertura; caso contrário, a peça tornará a ser magnetizada.

Outro processo utilizado com unidades portáteis é passar corrente alternada pela peça a ser desmagnetizada, e reduzir gradativamente a corrente a zero.

INSPEÇÃO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

A inspeção de penetração é um exame não destrutivo de defeitos abertos à superfície por peças fabricadas de qualquer material não poroso. Ela é aplicada com sucesso em metais como o alumínio, magnésio, latão, cobre, ferro fundido, aço inoxidável e titânio. Este tipo de inspeção pode também ser utilizado em cerâmica, plástico, borracha moldada e vidro.

A inspeção de penetração detectará defeitos, tais como rachaduras superficiais ou porosidade. Estas falhas podem ser ocasionadas em rachaduras por fadiga, por contração, por tratamento térmico, por esmerilhamento, porosidade de retração, fechamento a frio, costura, sobreposição por forjadura e queimaduras. A inspeção de penetração também detectará uma falta de coesão entre metais unidos.

A principal desvantagem da inspeção de penetração é que o defeito deve se apresentar aberto à superfície, a fim de permitir que o agente penetrante atinja o defeito. Por esse motivo, se a peça a ser inspecionada for construída de material magnético, recomenda-se geralmente o uso da inspeção por partículas magnéticas.

A inspeção de penetração depende, para ser bem sucedida, que o líquido penetrante entre na abertura da superfície e aí permaneça, tornando-a perfeitamente visível para o operador.

Há necessidade do exame visual da peça após o processamento da penetração, mas a visibilidade do defeito é aumentada de tal forma que pode ser detectada.

A visibilidade do material penetrante é ainda aumentada por adição de corante que pode ser de qualquer dos dois tipos: visível ou fluorescente. O conjunto para penetrante visível consiste do corante penetrante, emulsificador-removedor do corante e revelador.

O conjunto para inspeção de penetração fluorescente consiste de instalação de luz negra bem como aerossóis de penetrante, limpador e revelador.

A instalação de luz negra consiste de um transformador de força, cabo flexível e lâmpada portátil. Graças a seu tamanho, a lâmpada pode ser utilizada em qualquer posição ou localização.

Em síntese, os itens a serem observados ao se executar uma inspeção de penetração são:

A) Completa limpeza da superfície metálica.

B) Aplicação do penetrante.
C) Remoção do penetrante com emulsificador-removedor ou limpador.

D) Secagem da peça

E) Aplicação do revelador

F) Inspeção e interpretação do resultado.

Interpretação dos resultados

O sucesso e a confiabilidade de uma inspeção com líquido penetrante depende do cuidado com que a peça foi preparada. Os diversos princípios básicos aplicáveis à inspeção de penetração são:

1) O penetrante deve atingir o defeito a fim de formar uma indicação. É importante aguardar o tempo suficiente para que o penetrante possa preencher o defeito. O defeito deve estar limpo e livre de matérias contaminantes, de modo que o penetrante possa atingi-lo livremente.

2) Não poderá haver a formação de uma indicação se o penetrante for completamente removido do defeito durante a lavagem. Antes da revelação há, pois, a possibilidade de que o penetrante seja removido não só da superfície, como também do defeito.

3) Rachaduras limpas são normalmente fáceis de detectar. Aberturas superficiais não contaminadas, independentemente de quanto sejam delgadas, raramente serão difíceis de serem detectadas através da inspeção de penetração.

4) Quanto menor o defeito, mais longo será o tempo de penetração. Fendas finas, à semelhança de rachaduras, necessitam de mais tempo para penetração do que defeitos, tais como porosidade.

5) Quando a peça a ser inspecionada for construída de material suscetível ao magnetismo, deve-se utilizar o método da inspeção por partículas magnéticas, caso haja equipamento disponível.

6) O revelador para o tipo penetrante visível, quando aplicado à superfície da peça, secará formando uma camada branca tênue e uniforme. Durante a secagem, indicações brilhantes vermelhas aparecerão nos locais onde hajam defeitos superficiais. Se não houver indicações vermelhas, não haverá defeitos superficiais.

7) Ao proceder à inspeção de penetração com corante fluorescente, os defeitos aparecerão (sob luz negra) com coloração brilhante amarelo-verde. As áreas perfeitas apresentarão coloração azul-violeta escura.

8) É possível examinar a indicação de um defeito e determinar sua causa, bem como sua extensão. Tal julgamento pode ser feito sabendo-se algo sobre os processos de fabricação aos quais a peça foi submetida.

O tamanho da indicação, ou o acúmulo do penetrante indicará a extensão do defeito. O brilho dará a medida de sua profundidade. As indicações de rachaduras profundas comportarão mais penetrantes, sendo, portanto, mais largas e brilhantes.

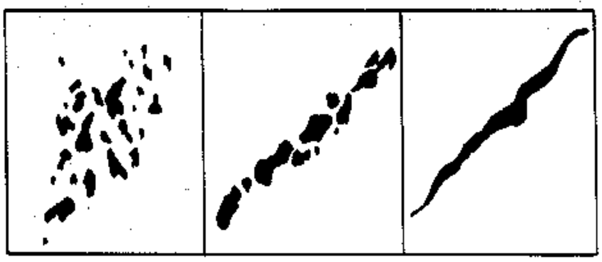

Pontos ou porosidade
Rachadura ou solda parcial.
Rachaduras ou aberturas similares.

Figura 10-12 Tipos de defeitos.

Fendas muito delgadas comportam pequena quantidade de penetrantes, aparecendo portanto como linhas finas. A figura 10-12 apresenta alguns tipos de defeitos que podem ser localizados utilizando-se penetrantes corantes.

Indicações falsas

Na inspeção de penetração de corante não ocorrem falsas indicações, no sentido do que acontece na inspeção por partículas magnéticas. Há, entretanto, duas condições que podem ocasionar acúmulo de penetrante, confundindo-o muitas vezes com rachaduras e descontinuidade reais de superfície.

A primeira condição compreende as indicações causadas por lavagem imperfeita. Se todo o penetrante na superfície não for removido na operação de lavagem ou enxaguadura, após decorrido o tempo de penetração, o penetrante não removido ficará visível. A evidência da lavagem imperfeita é geralmente fácil de identificar, posto que o penetrante se apresenta em áreas espalhadas, ao invés dos contornos bem definidos encontrados nas indicações verdadeiras. Quando acúmulo de penetrantes não lavados forem encontrados na peça, esta deverá ser completamente reprocessada. O desengorduramento é recomendado para a remoção completa do penetrante.

As indicações falsas podem também aparecer onde as peças são encaixadas umas às outras. Se uma roda for encaixada num eixo, haverá uma indicação de penetrante na linha de encaixe. Isto é perfeitamente normal, posto que as duas peças não se acham soldadas. Indicações deste tipo são fáceis de identificar, já que apresentam formato e contorno regulares.

RADIOGRAFIA

Devido as suas características especiais de penetrar materiais e detectar descontinuidades, as radiações X e GAMA têm sido aplicadas na inspeção radiográfica (raio - x) de componentes metálicos e não metálicos.

A radiação penetrante é projetada através da peça sob inspeção, produzindo uma imagem invisível ou latente no filme. Depois de revelado, o filme se torna uma radiografia ou figura sombreada do objeto.

Esse método de inspeção, numa unidade portátil, fornece um processo rápido e seguro de testar a integridade da estrutura do avião e dos motores.

As técnicas de inspeção radiográficas são utilizadas para localizar defeitos ou falhas na estrutura do avião ou nos motores com pouca ou nenhuma desmontagem. Isso constitui um contraste marcante em relação a outros tipos de inspeção não destrutiva que, geralmente, exigem a remoção, desmontagem e retirada da tinta da peça suspeita, antes que ela possa ser inspecionada. Devido à natureza do raio-X, há necessidade de um treinamento intensivo para o preparo de um operador do equipamento, sendo que somente pessoal legalmente habilitado pode operar as unidades de raio-X.

As três principais etapas no processamento do raio-X, abordadas nos parágrafos subsequentes são:

1) Exposição à radiação, incluindo a preparação.

2) Revelação do filme.

3) Interpretação da chapa radiográfica.

Preparação e exposição

Os fatores relativos à exposição radiográfica são tão interdependentes que há necessidade de todos serem levados em consideração, para qualquer tipo de exposição. Estes fatores incluem (não achando-se, porém, a eles limitados) os seguintes:

a) Espessura e densidade do material.

b) Forma e tamanho do objeto.

c) Tipo de defeito a ser detectado.

d) Características do equipamento de raios-X.

e) A distância de exposição.
f) O ângulo de exposição.

g) As características do filme.

h) Tipos de telas ampliadoras, se utilizadas.

O conhecimento das possibilidades da unidade de raio-X será útil para a consideração dos outros fatores da exposição. Além da especificação em quilovolts, o tamanho, o transporte, a facilidade de manipulação e as particularidades de exposição do equipamento disponível devem ser inteiramente conhecidos.

A experiência, previamente adquirida, com equipamentos semelhantes é também muito útil na determinação das técnicas de exposição em geral. Uma lista ou registro de exposições anteriores fornecerá dados específicos, que poderão ser utilizados como orientação para radiografias futuras.

Revelação do filme

Depois de exposta ao raio-X, a imagem latente no filme torna-se permanentemente visível, processando-a sucessivamente com uma solução química reveladora, um banho de ácido e um banho de fixação, seguido por uma lavagem com água pura.

O filme consiste de um sal de prata sensível à radiação numa suspensão gelatinosa, formando uma emulsão. A solução reveladora converte os elementos afetados pela radiação na emulsão, em prata negra metálica. São essas partículas metálicas que formam a imagem. Quanto mais tempo o filme permanecer no revelador, mais prata metálica é formada, fazendo com que a imagem se torne cada vez mais escura. Excesso de tempo na solução reveladora resulta em super-revelação.

Um enxágüe em banho ácido, conhecido como banho de parada, neutraliza instantaneamente a ação do revelador, paralisando o progresso da revelação.

Devido à emulsão macia e à qualidade não absorvente da base da maioria dos materiais negativos, é suficiente um banho de ácido bem fraco.

O objeto do banho de fixação é fixar a imagem no estágio desejado de revelação. Quando um material sensível à radiação é removido da solução reveladora, a emulsão permanece ainda com uma considerável quantidade de sais de prata que não foi afetada pelos agentes reveladores.

Esses sais são ainda sensíveis e, se forem deixados na emulsão, serão eventualmente escurecidos pela luz, obscurecendo a imagem. Logicamente, caso isso aconteça, o filme ficará imprestável.

O banho de fixação evita a descoloração, dissolvendo os sais de prata que possam ter permanecido na imagem revelada. Consequentemente, para se obter uma imagem permanente é preciso fixar o material sensível à radiação, removendo da emulsão todo sal de prata remanescente.

Após a fixação, torna-se necessário um enxágüe completo para remover o agente fixador. A permanência deste provocaria sua combinação com a imagem, ocasionando manchas pardacento-amareladas de sulfeto de prata e o conseqüente desbotamento da imagem.

NOTA: Todo o processo de revelação deve ser conduzido sob uma luz tênue, e, a cuja cor o filme não seja sensível.

Interpretação radiográfica

Do ponto de vista do controle de qualidade, a interpretação radiográfica é a fase mais importante da radiografia. É durante essa fase que um erro de interpretação pode trazer conseqüências desastrosas. Os esforços, de todo processo radiográfico, acham-se centralizados nessa fase. A peça ou estrutura é aceita ou rejeitada. Condições de falha na integridade ou outros defeitos observados superficialmente, não entendidos ou erroneamente interpretados, podem destruir a finalidade e os esforços da radiografia, podendo prejudicar a integridade estrutural de todo o avião. Um grave perigo é o falso senso de segurança, adquirido pela aceitação da peça ou estrutura, baseada em interpretação incorreta.

À primeira vista, a interpretação radiográfica pode parecer simples, mas uma análise mais detalhada do problema cedo desfaz a impressão.

O assunto da interpretação é tão variado e complexo que ele não pode ser abordado adequadamente neste tipo de manual. Assim sendo, este capítulo fornecerá somente uma revisão breve das necessidades básicas para a interpretação radiográfica, incluindo algumas descrições de defeitos comuns.

A experiência tem demonstrado que na medida do possível a interpretação radiográfica deve ser feita próxima à operação radiográfica. É bastante útil, ao observar as radiografias, ter acesso ao material submetido à inspeção.

A radiografia pode assim ser comparada diretamente com o material e indicações devidas a fatos, tais como condição da superfície ou variações na espessura podem ser determinadas imediatamente.

Os parágrafos subseqüentes apresentam diversos fatores que devem ser levados em consideração ao se analisar uma radiografia.

Há três tipos básicos de defeitos: falhas, inclusões e irregularidades dimensionais. Este último tipo de defeito não se enquadra nos comentários, pois seu principal fator diz respeito a grau, não sendo a radiografia tão detalhada. As falhas e inclusões podem aparecer na radiografia sob uma variedade de forma que vão desde um plano bidimensional a uma esfera tridimensional. Uma rachadura, rasgo ou vinco terão mais aproximadamente o aspecto de plano bidimensional, ao passo que uma cavidade se assemelhará a uma esfera tridimensional. Outros tipos de defeitos como contrações, inclusões óxidas, porosidade, etc. aparecerão com aspectos que se encaixam entre os dois extremos acima citados.

É importante analisar a geometria de um defeito, especialmente no que diz respeito à agudeza das extremidades. Num defeito tipo fenda, por exemplo, as extremidades aparecerão muito mais agudas do que em um defeito tipo esfera, tal como uma cavidade gasosa. A rigidez do material pode também ser afetada negativamente pelo formato do defeito. Um defeito apresentando extremidades pontiagudas pode estabelecer uma fonte de concentração de esforços localizados. Os defeitos esféricos afetam a rigidez do material num grau inferior aos defeitos com extremidades pontiagudas. Os padrões de especificações e referências estipulam geralmente que os defeitos com extremidades pontiagudas, tais como rachaduras, vincos, etc. são causas para rejeição.

A rigidez do material é afetada também pelo tamanho do defeito. O componente metálico de uma certa área é projetado para suportar uma determinada carga, incluindo um fator de segurança. A redução dessa área devido a um grande defeito enfraquece a peça e reduz o fator de segurança. Alguns defeitos são muitas vezes tolerados nos componentes devido aos estes fatores de segurança; nesse caso, o analista deve determinar o grau de tolerância ou imperfeição especificado pelo engenheiro do projeto. Tanto o tamanho como o formato do defeito devem ser criteriosamente levados em consideração, posto que pequenos defeitos com extremidades pontiagudas podem ser tão perigosos quanto grandes defeitos sem extremidades pontiagudas.

Outra importante consideração na análise do defeito é a sua localização. Os componentes metálicos estão sujeitos a numerosos e variados esforços em suas atividades. De um modo geral, a distribuição destes esforços não é equalizada nas peças ou componentes; e determinadas áreas críticas podem estar mais sujeitas a esforço. O analista deve dedicar atenção especial a essas áreas. Outro aspecto na localização dos defeitos é que certos tipos de descontinuidades próximas umas às outras podem tornar-se potencialmente a fonte de concentração de esforço; portanto esse tipo de situação deve ser examinado com bastante atenção.

A inclusão é um tipo de defeito que contém material aprisionado. Esses defeitos podem ser de maior ou menor densidade que a peça que está sendo radiografada. Os comentários acima sobre o formato, tamanho e localização do defeito aplicam-se igualmente às inclusões e falhas. Além disso, um defeito portador de matéria estranha pode tornar-se uma fonte de corrosão.

Perigos da radiação

A radiação das unidades de raio-X e fontes de radioisótopos é capaz de destruir o tecido humano. Reconhecemos que ao manipularmos tais equipamentos as devidas precauções devem ser tomadas. As pessoas devem ficar afastadas todo o tempo do feixe primário do raios-X.

A radiação produz modificações em todas as matérias pelas quais ela passa. O que também é verdadeiro com respeito ao tecido humano. Quando a radiação atinge as moléculas do corpo, o efeito pode não passar pelo deslocamento de alguns elétrons, porém um excesso dessa modificação pode causar males irreparáveis. Quando um organismo complexo é exposto à radiação, o grau de lesão, caso exista, depende de quais das células do seu corpo foram atingidas.

Os órgãos mais vitais encontram-se no centro do corpo; portanto a radiação mais penetrante é passível de ser mais perigosa nessa área. A pele normalmente absorve a maior parte da radiação e, portanto, reage mais prontamente a seus efeitos.

Se todo o corpo for exposto a uma alta dose de radiação, isso poderá resultar em morte.

Em geral, o tipo e a seriedade dos efeitos patológicos da radiação dependem da quantidade de radiação recebida de uma só vez, e da percentagem de todo o corpo exposto. As doses menores de radiação podem causar problemas sangüíneos e intestinais de pouca duração. Os efeitos mais prolongados são leucemia e câncer. A exposição à radiação pode também provocar lesão da pele e queda do cabelo.

TESTE ULTRA-SÔNICO

O equipamento de detecção ultra-sônica tornou possível localizar defeitos em todos os tipos de materiais, sem provocar-lhes quaisquer danos. Minúsculas rachaduras, fendas e falhas, extremamente pequenas para serem vistas pelo raio-X, são localizadas pela inspeção ultra-sônica. O instrumento de teste ultra-sônico necessita de acesso a somente uma superfície do material a ser inspecionado e pode ser utilizado com a técnica do feixe em linha reta ou em ângulo.

Dois métodos básicos são aplicados na inspeção ultra-sônica. O primeiro deles é o teste de inversão. Nesse método de inspeção, a peça sob exame e a unidade de pesquisa ficam totalmente submersas num líquido que pode ser água ou qualquer outro fluido adequado.

O segundo método é denominado teste por contato, que é facilmente adaptado ao uso no hangar (esse é o método aqui apresentado). Nesse método a peça a ser inspecionada e a unidade de pesquisa são acopladas com um material viscoso (líquido ou pasta) que reveste as faces da unidade de pesquisa e o material sob exame.

Há dois sistemas básicos ultra-sônicos:

1) O pulsante

2) O de ressonância.

O sistema pulsante pode ser de eco ou de transmissão direta; o sistema de eco é o mais versátil dos dois.

Eco-pulso

Os efeitos são detectados medindo-se a amplitude dos sinais refletidos e o tempo necessário para esses sinais irem das superfícies para as descontinuidades. (Ver a figura 10-13).

A base de tempo, que é disparada simultaneamente com cada pulso de transmissão, gera um ponto luminoso que se desloca de um lado a outro do CRT (tubo de raios catódicos). O ponto varre a face do tubo da esquerda para a direita, de 50 a 5.000 vezes por segundo, ou mais rapidamente se selecionado para varredura automática de alta velocidade.

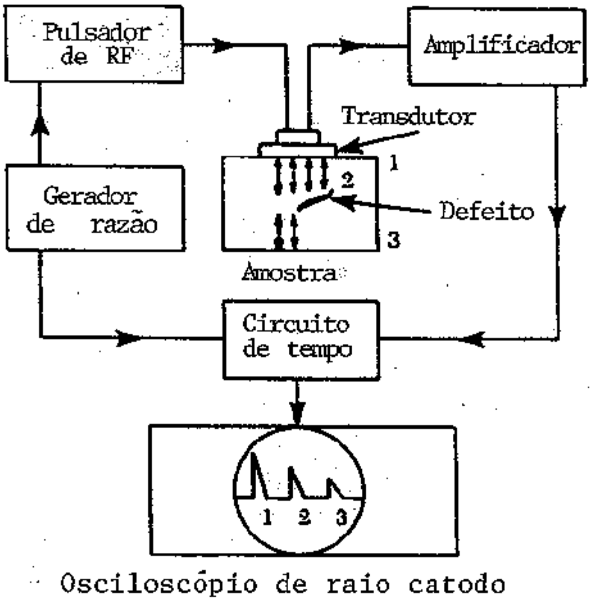


Figura 10-13 Diagrama em bloco do sistema básico de eco-pulso.

Devido à velocidade do ciclo de transmissão e recepção, a figura no osciloscópio parece estacionária.Poucos segundos, após ter início a varredura, o gerador de razão excita eletricamente o pulsador de RF, e este por seu turno emite um pulso elétrico. O transdutor converte esse pulso numa curta série de ondas de som ultra-sônicas. Se as faces de contato do transdutor e da peça estiverem devidamente orientadas, o ultra-som será refletido para o transdutor ao atingir o defeito interno e a superfície oposta da peça

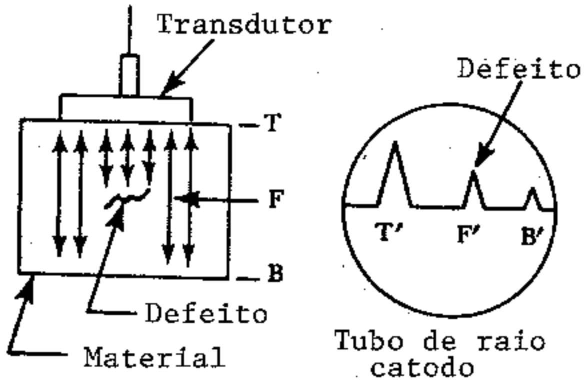


Figura 10-14 Apresentação do osciloscópio em relação à localização do defeito.

O intervalo de tempo compreendido entre a transmissão do impulso inicial e a recepção dos sinais refletidos na peça é medido pelos circuitos de tempo

O pulso refletido recebido pelo transdutor é amplificado e então transmitido ao osciloscópio, onde o pulso recebido devido ao defeito é apresentado na tela do CRT. O PULSO é apresentado na mesma posição relativa entre os pulsos frontais e traseiros, da mesma forma que o defeito se encontra entre as superfícies frontal e traseira da peça. (Ver a figura 10-14)

O Reflectoscópio é um equipamento tipo eco-pulso, podendo ser utilizado para detecção de defeitos tais como rachaduras, dobras, inclusões, deslaminação, soldas parciais, falhas, contrações, porosidade, escamação e outros defeitos sob a superfície.

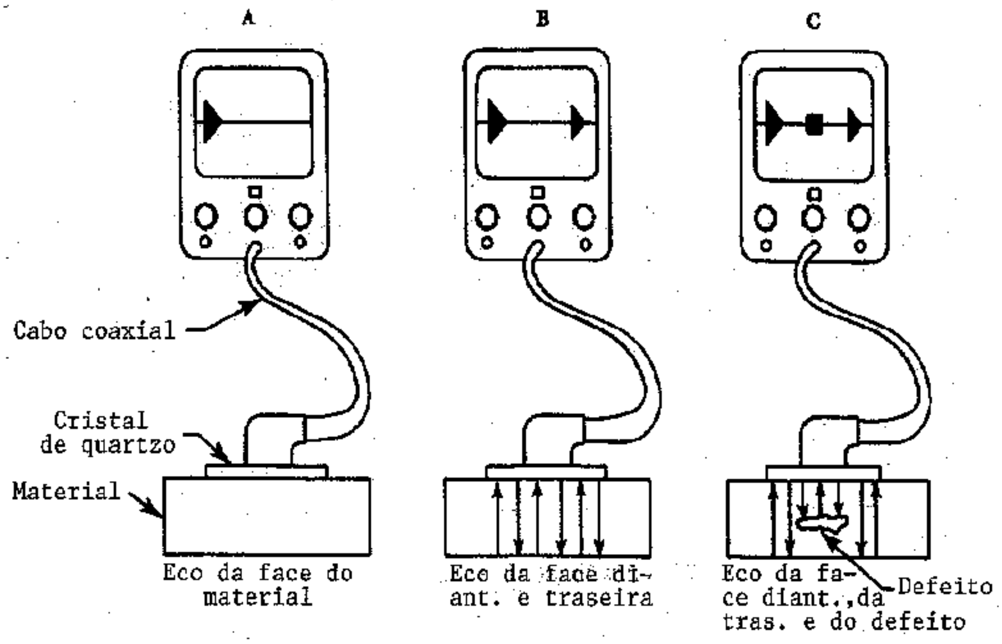

A
B
C
Cabo coaxial
Cristal de quartzo
Material
Eco da face do material
Eco da face di- ant. e traseira
Eco da fa- ce diant.,da tras. e do defeito
Defeito

Figura 10-15 Operação do reflectoscópio - teste de feixe direto.

O princípio operacional é ilustrado na figura 10-15, onde os pulsos elétricos são transformados pelo cristal em vibrações ultra-sônicas que são transmitidas para o interior do material. O sinal refletido pelo pulso inicial provoca uma indicação no tubo de raios catódicos apresentada na figura 10-15, detalhe A. A apresentação do detalhe B correspondente ao reflexo emitido pelas vibrações que atingiram a parte inferior da peça, e retornaram à unidade de pesquisa, que as transformou novamente em pulsos elétricos.

A indicação vertical na tela, de seus ecos, é conhecida como a "primeira indicação de retorno". Se um defeito estiver presente (figura 10-15, detalhe C), uma parte das vibrações que atravessa a peça é refletida pelo defeito, provocando uma indicação extra na tela. O espaço percorrido pela varredura horizontal é correspondente ao tempo decorrido desde que as vibrações foram emitidas pelo cristal. Esse tipo de operação, designado como teste de feixe direto, é indicado para detecção de defeitos cujos planos são paralelos ao plano da peça.

A aplicação do teste de feixes em ângulo, também conhecido como teste de onda recortada, inclui os seguintes casos:

1) Defeitos cujos planos formam ângulo com o plano da peça.

2) Descontinuidade em áreas que não podem ser atingidas utilizando-se a técnica padrão do feixe direto.

3) Alguns defeitos internos em chapas metálicas.

4) Alguns tipos de defeitos internos em tubulações ou barras, tais como inclusões e pequenas fendas próximas à superfície.

5) Rachaduras no metal básico, provenientes de soldas.

6) Alguns defeitos de soldas.

O teste de feixe em ângulo difere do teste de feixe direto, somente na forma pela qual as ondas ultra-sônicas atravessam o material que está sendo testado.

Como mostra a figura 10-16, o feixe é projetado no material num ângulo agudo à superfície, devido a um corte angular no cristal que fica montado sobre um plástico.

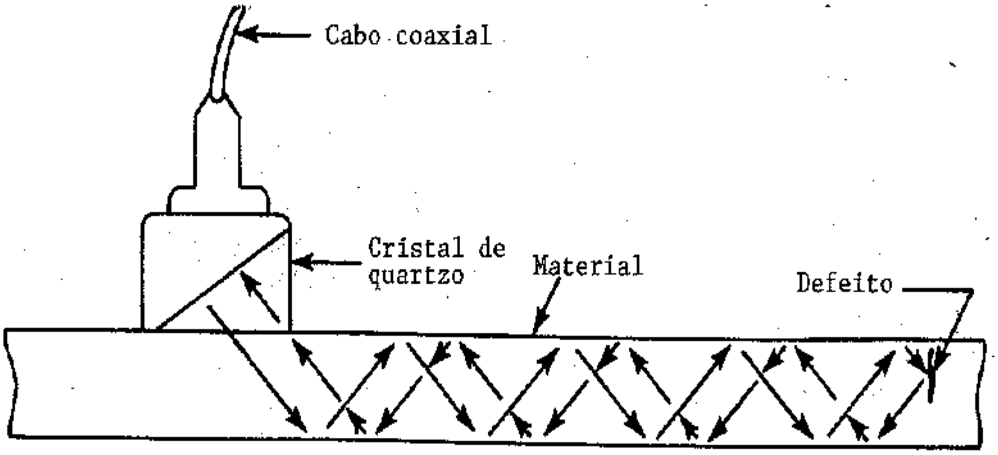

Cabo coaxial
Cristal de quartzo
Material
Defeito

Figura 10-16 Operação do reflectoscópio - teste de feixe em ângulo.

O feixe ou parte dele reflete sucessivamente das superfícies do material, ou de qualquer outra descontinuidade, incluindo a borda do mesmo.

No teste de feixe direto, a distância horizontal na tela entre o pulso inicial e o primeiro eco representa a espessura da peça, enquanto que no teste de feixe em ângulo a distância representa o espaço entre a unidade de pesquisa e a borda oposta da peça.

Sistema de ressonância

Esse sistema difere do método pulsante no sentido de que a freqüência de transmissão é, ou pode ser, continuamente variada. O método de ressonância é utilizado principalmente para medida da espessura, quando os dois lados da peça sob teste são lisos e paralelos. O ponto no qual a frequência transmitida equivale ao ponto de ressonância da peça sob teste, é o fator que determina a espessura. É preciso que a freqüência das ondas ultra-sônicas, correspondente a um determinado ajuste do mostrador, seja conhecida com exatidão. Constantemente deve ser efetuado teste com frequencímetro para evitar desvio de freqüência.

Se a freqüência da onda ultra-sônica for tal que seu comprimento de onda seja duas vezes a espessura do material (freqüência fundamental), a onda refletida chegará ao transdutor na mesma fase que a da transmissão original. Ocorrerá desta forma um reforço do sinal, o que equivale dizer, a ressonância. Se a freqüência for aumentada de forma que três vezes o comprimento de onda equivalha a quatro vezes a espessura, o sinal refletido chegará então completamente fora de fase com o sinal transmitido, ocorrendo o cancelamento do sinal. Tornando-se a aumentar a freqüência de tal forma que o comprimento de onda seja novamente igual à espessura do material, obtem-se um sinal refletido em fase com o sinal transmitido, ocorrendo uma vez mais a ressonância. (Ver a figura 10-17)

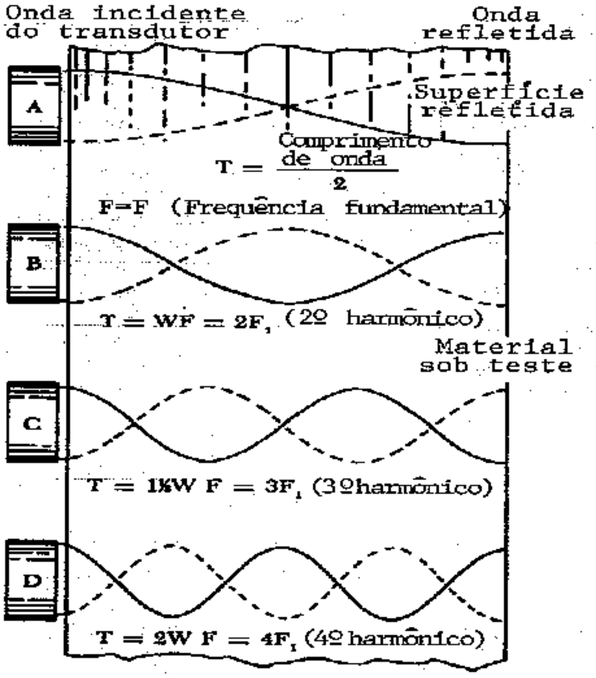

Onda incidente do transdutor
Onda refletida
Superfície refletida
A
Comprimento de onda
T = Comprimento de onda / 2
F=F (Frequência fundamental)
B
T = WF = 2F, (2º harmônico)
Material sob teste
C
T = 1½W F = 3F, (3ºharmônico)
D
T = 2W F = 4F, (4º harmônico)

Figura 10-17 Condições de ressonância ultra-sônica numa chapa metálica.

Iniciando-se na freqüência fundamental e aumentando-se gradualmente a freqüência, podem ser observados os sucessivos cancelamentos e ressonâncias, bem como as leituras utilizadas para verificar a leitura da freqüência fundamental.

Em alguns equipamentos, o circuito oscilador possui um condensador movimentando um motor que modifica a freqüência do oscilador (Ver a figura 10-18). Em outros equipamentos, a freqüência é modificada por processo eletrônico.

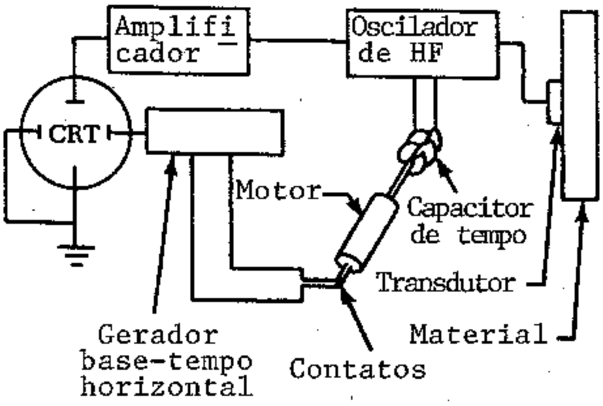


Figura 10-18 Diagrama em bloco do sistema ressonante de medição da espessura.

A variação da freqüência é sincronizada com a varredura horizontal de um CRT. O eixo horizontal representa a escala de freqüência. Se em seu espaçamento ocorrerem ressonâncias, o circuito é construído, de tal forma que elas se apresentarão verticalmente. Escalas transparentes calibradas são colocadas na frente do tubo, de modo que a espessura possa ser lida diretamente. Os instrumentos operam normalmente entre 0,25 e 10 MHz, em quatro ou cinco faixas.

O instrumento de medição da espessura por ressonância pode ser utilizado para testar metais como aço, ferro fundido, latão, níquel, cobre, prata, chumbo, alumínio e magnésio. Além disso, podem ser localizadas e avaliadas áreas de corrosão ou desgaste nos tanques, tubulações, chapas de asa do avião e outras estruturas.

Existem unidades de leitura direta, operadas por mostrador, que medem espessuras entre 0,025 e 3 polegadas, com precisão superior a + ou - 1%.

A inspeção ultra-sônica requer um operador habilitado que esteja familiarizado com o equipamento utilizado, bem como o método de inspeção a ser aplicado às diversas peças submetidas a teste.

TESTE DE *EDDY CURRENT*

Análise eletromagnética é um termo na qual descreve os métodos de testes eletrônicos, envolvendo a intersecção de campos magnéticos e correntes circulatórias. A técnica mais usada é a de "*Eddy Current*".

"*Eddy Current*" são compostos por elétrons livres que passam através do metal, sob a influência de um campo eletromagnético. O *Eddy Current* é usado na manutenção para inspecionar eixo do motor da turbina à um jato, revestimento das asas e seus elementos, trem de pouso, furos de fixadores e cavidade das velas de ignição quanto a rachadura, superaquecimento e danos estruturais. Na construção de uma aeronave o "*Eddy Current*" é usado para inspecionar as carcaças, estampagens, peças mecanizadas, forjadas e extrusões.

Princípios básicos

Quando uma corrente alternada passa através de uma bobina, ela desenvolve um campo magnético ao seu redor, que por sua vez induz uma tensão de polaridade oposta da bobina que se opõe ao fluxo de corrente original. Essa bobina é colocada de tal maneira que seu campo magnético passa em um corpo de prova de bom condutor de eletricidade no qual a "*Eddy Current*" será induzida. O "*Eddy Current*" cria seu próprio campo que varia em oposição do campo original para o fluxo de corrente original. Assim a sensibilidade para o "*Eddy Current*" determina o fluxo de corrente através da bobina (Figura 10-19).

O tamanho e a fase do campo dependem basicamente da resistividade e permeabilidade do corpo de prova em evidência, e ele nos permite fazer uma avaliação qualitativa de várias propriedades físicas do material de teste.

A interação do campo de "*Eddy Current*" com o resultado do campo original é uma inversão de força que pode ser medida utilizando um circuito eletrônico similar a uma ponte de *Wheastone.*

O corpo de prova é introduzido através do campo de uma bobina de indução eletromagnética, e seu efeito na impedância da bobina ou na saída de tensão de uma ou mais bobinas de teste é observado.

O processo pelo qual os campos elétricos são emitidos para examinar uma peça em várias condições, envolve a transmissão de uma energia através do campo de prova como a transmissão do Raio-X, calor ou Ultra-som.

Na transmissão do Raio-X, calor ou ultrasom, o fluxo de energia flui em uma amplitude máxima tendo uma direção, intensidade identificada, obedecendo as leis de absorção, reflexão, difração e difusão. Elementos receptíveis podem ser colocados dentro de um campo e uma medida de fluxo de energia é possível de se obter.

Entretanto, em testes eletromagnéticos a energia se distribui em um raio pré-determinado, passando por um processo de transformação de energia magnética para elétrica e, subseqüentemente, voltando para a energia magnética. Como a corrente induzida flui em um circuito fechado, ela não é conveniente e nem usualmente possível para interceptar os limites do fluxo do campo de prova.

Inspeção visual

Testes não destrutivos pelo método visual constituem a mais velha forma de inspeção. Defeitos que possam passar despercebidos a olho nu podem ser ampliados até tornarem-se visíveis. Telescópios, boroscópios e lentes ajudam na execução da inspeção visual.

Os comentários sobre a inspeção visual neste manual serão confinados à apreciação da qualidade de soldas pelo método visual. Embora o aspecto da solda pronta não seja uma indicação positiva da sua qualidade, mesmo assim dá uma boa idéia do cuidado com que foi executada.

Uma junção por solda bem executada é muito mais forte que o metal básico ligado por ela. As características de uma junção por solda bem executada são apresentadas nos parágrafos seguintes. (Ver a figura 10-20).

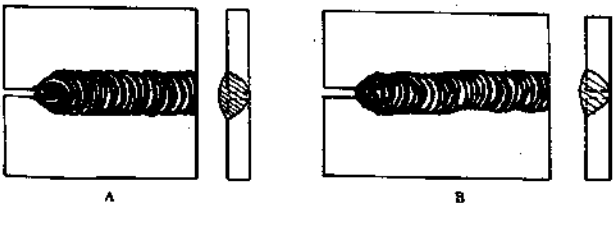


Figura 10-20 Exemplos de boas soldas.

Uma boa solda tem largura uniforme; as ondulações são uniformes e bem cunhadas no metal base, que não apresenta queimadura devido ao superaquecimento

A solda tem boa penetração, não apresentando bolhas, porosidade ou inclusões. As bordas do filete ilustrado na figura 10-20 (B) não estão em linha reta; entretanto, a solda está bem executada, pois a penetração é excelente.

Penetração é a profundidade da fusão numa solda. A fusão integral é a característica mais importante que contribui para uma solda segura.

A penetração é afetada pela espessura do material a ser unido, pelo tamanho da vareta de enchimento e do modo pela qual ela é adicionada. Na solda de topo a penetração deve corresponder a 100% da espessura do metal base. Na solda de canto angular (filete), a necessidade da penetração deve ser de 25 a 50% da espessura do metal base. A largura e profundidade do rebordo das soldas de topo e de filete acham-se apresentadas na figura 10-21.

Visando melhor determinar a qualidade de uma junção por solda, vários exemplos de soldas imperfeitas são apresentados nos parágrafos seguintes.

A solda vista na figura 10-22 (A) foi feita apressadamente. O aspecto alongado e pontiagudo das ondulações foi causado por calor excessivo ou chama oxidante.

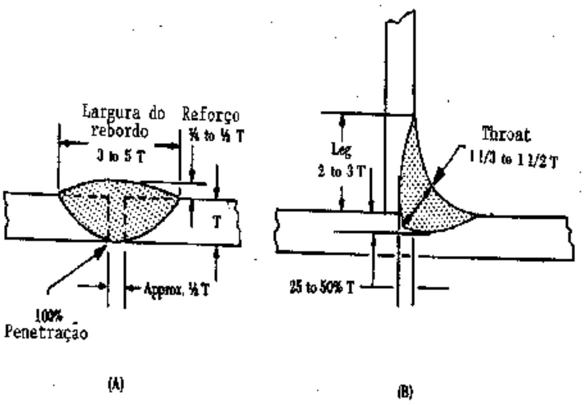


Figura 10-21 (a) solda de topo e (b) solda de filete, mostrando a largura e profundidade do rebordo.

Se a solda fosse transversal, possivelmente apresentaria bolhas de gás, porosidade e inclusão de escória.

A figura 10-22 (B) apresenta uma solda com penetração indevida e dobras frias ocasionadas por calor insuficiente. Ela parece grosseira, irregular, e seus bordos não estão cunhados no metal base.

Durante o processo da solda há uma tendência de fervura, caso seja usada uma quantidade excessiva de acetileno. Isso provoca muitas vezes leves protuberâncias, ao longo do centro, e crateras na extremidade da solda. A firmeza do corpo da solda será evidenciada através de verificações cruzadas. Se a solda fosse submetida a um corte transversal, bolhas e porosidade seriam visíveis. Essa situação é apresentada na figura 10-22 (C).

Uma solda mal feita, com bordos irregulares e bastante variação na profundidade da penetração acha-se ilustrada na figura 10-22 (D). Ela tem freqüentemente o aspecto de uma solda fria.

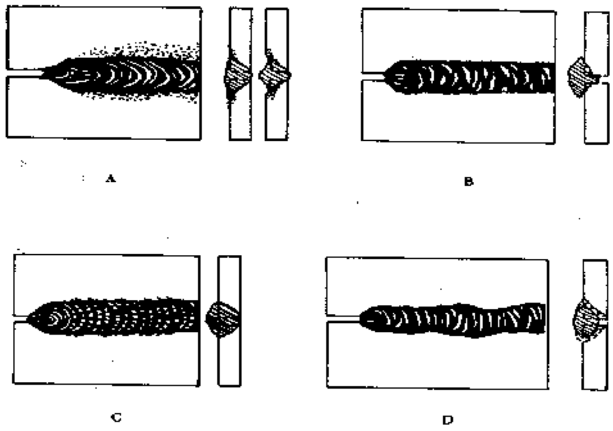


Figura 10-22 Exemplos de soldas mal feitas.

CAPÍTULO 11

MANUSEIOS DE SOLO, SEGURANÇA E EQUIPAMENTOS DE APOIO

INTRODUÇÃO

As técnicas de manutenção em aeronaves requerem apoios de serviços, com equipamentos de solo e equipamentos para movimentação da aeronave.

A complexidade dos equipamentos de solo, e os riscos envolvidos no manuseio de dispendiosas aeronaves, requerem técnicos de manutenção que possuem um complexo conhecimento dos procedimentos de segurança usados na manutenção, táxi, testes; e no uso dos equipamentos auxiliares. As informações contidas neste capítulo são entendidas como um guia geral, para trabalhos em todos os tipos de aeronaves.

GERAL

As seguintes instruções incluem os procedimentos iniciais para motores convencionais, turboélices e turbojato. Esses procedimentos estão descritos somente como um guia geral, para a familiarizaçào com os métodos e procedimentos típicos.

Instruções detalhadas para o manuseio de um tipo específico de motor podem ser encontradas no manual de instruções do fabricante.

Antes da partida no motor do avião:

1. Posicionamos o avião com o nariz para o vento predominante, para que ele receba adequado fluxo de ar sobre o motor, tendendo a esfriá-lo.
2. Agimos conforme o estabelecido para que não ocorram danos materiais ou pessoais, causados pelas hélices, ou na área próxima do arrasto.
3. Se a fonte externa elétrica for usada para a partida, usamos de toda atenção para que ela possa ser removida com segurança.
4. Durante os procedimentos de partida deve haver um bombeiro equipado com um extintor, próximo ao motor a ser girado.
5. Se o avião for equipado com motor a reação, a área na frente das turbinas deve estar bem limpa, sem ninguém ou qualquer resto de material.
6. Esses procedimentos aplicados antes da partida são válidos para todos os motores convencionais, turboélices e turbojatos.

PARTIDA NOS MOTORES

Motores Convencionais

Os seguintes procedimentos são usados para partidas em motores convencionais. Existe contudo, ampla variação nos procedimentos. Não devemos tentar fazer uso dos métodos apresentados aqui para uma partida atualizada. Os procedimentos contidos nas instruções do fabricante devem ser sempre verificados.

Motores convencionais são capazes de dar partidas normais em baixas temperaturas sem o uso do aquecimento do motor, ou diluição do óleo, dependendo do grau do óleo usado.

As carenagens (asa, cauda, cabine, bequilha, etc.) devem ser afastadas do avião, antes que o motor comece a girar.

Fontes externas de força elétrica devem ser usadas na partida do motor sempre que eles forem equipados com arranques elétricos. Esse procedimento elimina um excessivo gasto na bateria do avião.

Todos os equipamentos elétricos desnecessários devem ser desligados até que o gerador comece a fornecer energia elétrica para as barras de força do avião.

Antes da partida num motor radial, que tenha sido cortado por mais de 30 minutos, verificamos se a chave de ignição está desligada, giramos a hélice três ou quatro voltas completas com o motor de arranque, ou manualmente, para detectar se existe um calço hidráulico.

Qualquer líquido existente no interior do cilindro é indicado pelo esforço anormal da rotaçào da hélice, ou pela parada brusca da hélice durante a rotação. Nunca se usa força para girar a hélice quando for detectado um calço hidráulico.

Força suficiente, se exercida no eixo de manivela, poderá emperrar ou travar uma biela, caso exista um calço hidráulico.

Para eliminar um calço hidráulico, removemos as velas dianteiras e traseiras dos cilindros inferiores, e giramos a hélice. Nunca devemos tentar tirar o calço hidráulico girando a hélice em sentido oposto à rotação normal, pois isso tende a injetar o óleo do cilindro para o interior do tubo de admissão. O líquido será aspirado de volta ao cilindro, com possibilidade de ocorrer outro calço hidráulico completo ou parcial na próxima partida.

Para girar o motor, o procedimento é o seguinte:

1 - Ligar a bomba auxiliar de combustível, se for o caso (nem toda aeronave é equipada com bomba auxiliar).

2 - Colocar o controle da mistura na posição recomendada para a combinação carburador e motor, do tipo que está sendo girado. Como regra geral, o controle da mistura deverá estar na posição de "marcha lenta" para os carburadores tipo pressão, e na posição "mistura rica" para os carburadores do tipo bóia.

Na maioria, os aviões leves estão equipados com um tipo de controle de mistura, acionado por hastes de comando os quais não tem posições intermediárias. Quando esses controles são empurrados no sentido do painel de instrumentos, a mistura enriquece. Do modo contrário, quando o controle é puxado todo o curso, o carburador fica na posição de marcha lenta ou totalmente pobre. Posições intermediárias não determinadas, entre esses dois extremos, podem ser selecionadas pelo operador para obter qualquer ajuste de mistura desejada.

3 - Selecionar a manete para a posição na qual será mantida, 1.000 para 1.200 r.p.m. (aproximadamente de 1/8 a 1/2 polegada da posiçào fechada).

4 - Manter o pré-aquecimento ou alternar o controle de ar (ar do carburador) na posição "frio" para evitar danos e incêndio no retorno de chamas. Esse dispositivo de aquecimento auxiliar deverá ser usado depois que o motor estiver aquecido. Ele previne a vaporização do combustível; evita a carbonização das velas; formação de gelo, além de eliminá-lo no sistema de indução.

5 - Ligar o motor de partida e, depois que as hélices tiverem feito pelo menos duas voltas completas ligar o interruptor de ignição. Nos motores equipados com um vibrador de indução, girar a chave para a posição "ambos". Quando a partida for num motor que usa um magneto acoplador de impulso, girar a chave de ignição para "partida" quando o magneto possuir um conjunto de freio retardado. Não acionar o motor com o motor de partida por mais de 1 minuto. Deve-se esperar um período de 3 a 5 minutos, para esfriamento do motor de partida, entre duas tentativas sucessivas. De outra maneira o motor de partida poderá ser queimado devido ao superaquecimento.

6 - Ligar o interruptor de injeção de combustível intermitentemente, ou injetar com 1 a 3 acionamentos da bomba de injeção, dependendo de como a aeronave estiver equipada.

Quando se inicia a ignição do motor, o injetor de combustível permanece ligado, enquanto, gradualmente, vai abrindo a manete para obter uma operação suave.

Depois que o motor estiver operando com o injetor, acionamos o controle da mistura para a posição "toda rica". Soltamos o injetor tão logo haja uma queda de r.p.m., indicando que o motor está recebendo combustível adicional do carburador.

Partida manual

Se a aeronave não tiver um sistema próprio de partida, o motor pode ser acionado girando-se a hélice. O operador que irá girar a hélice, fala em voz alta para o que está na cabine, "combustível ligado, chave de ignição desligada, manete de combustível fechada, freios aplicados". O operador do motor checará esses itens e em seguida repetirá a frase.

A chave de ignição e a manete de combustível não deverão ser tocadas, antes do girador da hélice falar "contacto". Depois, o operador da cabine repete "contacto" e, só então, liga a ignição. Nunca ligamos a chave de ignição antes de ter repetido o "contacto".

Quando acionamos a hélice manualmente, algumas simples preocupações devem ser observadas para evitar acidentes. Quando tocando a hélice, sempre devemos supor que a ignição esteja ligada. A chave que controla os magnetos opera com o princípio de curto-circuito de corrente para desligar a ignição. Mesmo desligada, se estiver defeituosa, a chave poderá permitir um fluxo de corrente no circuito primário do magneto.

É ideal que se verifique se o local de quem vai girar a hélice é seguro, e se dará um apoio bem firme. Grama escorregadia, lama, lubrificantes ou cascalhos soltos podem ser jogados para debaixo da hélice. Nunca devemos permitir que qualquer parte do seu corpo fique no percurso da hélice. Isso se aplica também a um motor que não esteja sendo girado.

Nos mantemos perto da hélice apenas o suficiente para girá-la, e nos afastamos assim que ela é acionada pelo motor. Nos afastamos para longe assim que o motor pegar, prevendo uma falha de freio. Evita-se ficar em uma posição que requeira uma inclinação na direção da hélice, para alcançá-la. Isso ocasionará o balanço do corpo e poderá causar a sua queda sobre as pás, quando o motor girar. Ao impulsionarmos a hélice, movemos a pá sempre para baixo, empurrando com a palma da mão. Não seguremos a pá com os dedos curvados sobre a borda desta, uma vez que o retrocesso poderá quebrá-los ou lançar seu corpo na órbita da hélice.

Abertura excessiva da manete, ou escorvamento intermitente após a queima, são as principais causas de contra-explosão durante a partida abertura gradual da manete enquanto se "escorva" continuadamente, reduzirá a mistura demasiado rica para uma mistura gradativamente melhor, à medida que o motor ganha aceleração. O motor, operando com uma mistura muito rica, é lento, porém não sofre contra-explosão.

Dando-se partida no motor usando o afogador, selecionamos a posição "Full rich", se não estiver previamente posicionada, quando o motor começar a queimar. Se o motor não pegar imediatamente retornamos o controle para "idle cutoff". Se isso não for feito, acarretará um acúmulo de combustível no carburador, constituindo risco de incêndio.

Evita-se escorvar o motor antes deste ser virado pelo motor de partida. Isso pode resultar em incêndios, cilindros e pistões riscados ou desgastados, e falhas no motor devido a travamento hidráulico. Se o motor for inadvertidamente banhado ou superafogado, desligamos a chave de ignição e selecionamos a posição "full open". Para livrar o motor do excesso de combustível, ele é virado, com a mão ou pelo motor de partida. Se for necessária força excessiva para virá-lo paramos imediatamente. Não se força a rotação do motor. Na dúvida, as velas de ignição do cilindro de baixo são removidas. Se ocorrer grande sobrecarga, poderá ser necessário remover os tubos de admissão dos cilindros de baixo. Para reduzir a probabilidade de dano ao motor devido ao superafogamento em aeronaves médias ou grandes, as válvulas de sangria do motor deverão ser checadas frequentemente, verificando-se se há bloqueios ou entupimentos.

Imediatamente após a partida no motor, checamos o indicador de pressão do óleo. Se a indicação não for dada em 30 segundos, cortamos o motor e identificamos a causa. Se a pressão do óleo for indicada, a manete é ajustada para a r.p.m. especificada pelo fabricante, para aquecimento do motor. A rotação de aquecimento deve estar na faixa de 1.000 a 1.300 r.p.m.

A maioria dos aviões de motor convencional tem refrigeração a ar e dependem da velocidade de avanço da aeronave para manter a refrigeração. Portanto, é necessário cuidado especial na operação desses motores no solo. Durante todo teste no solo, operamos o motor com a hélice em passo mínimo e contra o vento com a capota do motor colocada, a fim de proporcionar uma melhor refrigeração.

Os instrumentos do motor devem ser sempre monitorados rigorosamente. Não devemos fechar os flapes da capota do motor durante o seu aquecimento. Isso pode causar aquecimento dos fios das velas. Aquecendo o motor certificamo-nos de que não há pessoas, equipamentos passíveis de dano, ou outra aeronave na esteira da hélice.

Extinção de fogo no motor

Em todos os casos um bombeiro deve estar a postos com um extintor de CO_2, por ocasião da operação de partida. É uma precaução necessária contra incêndio, durante tal operação. Ele deve estar familiarizado com o sistema de indução do motor para que em caso de incêndio, possa direcionar o jato de CO_2 para a tomada de ar do motor a fim de extinguir o incêndio.

Um incêndio pode ocorrer também no sistema de exaustão do motor, através do combustível líquido sendo queimado no cilindro e sendo expelido durante a rotação normal do motor.

Se aparecer um incêndio durante o procedimento de partida devemos continuar tentando a partida do motor, para que este possa descarregar o fogo por exaustão. Se o motor não pegar e o incêndio continuar, interrompa-se a partida. O bombeiro deve extinguir o fogo usando o equipamento disponível; além disso deve observar todas as normas de segurança sempre que assistir o procedimento de partida.

MOTORES TURBOÉLICE

Procedimentos anteriores à partida

As diversas coberturas de proteção da aeronave devem ser removidas. Os coletores de escapamento do motor devem ser cuidadosamente inspecionados quanto a presença de combustível ou óleo.

Uma inspeção visual, de todas as partes acessíveis do motor e seus controles, deverá ser feita, seguida por uma inspeção de todas as áreas da nacele, para determinar que todas as janelas de acesso e de inspeção estão bem fixadas.

Os aparadores de óleo deverão ser checados pela presença de água. As entradas de ar deverão ser inspecionadas quanto a condições gerais e presença de matérias estranhas. O compressor deverá ser checado quanto à livre rotação, caso a instalação permita que as palhetas sejam giradas com a mão.

Os procedimentos a seguir são típicos daqueles usados para a partida dos motores turboélice.

Existe, contudo, grandes variações nos procedimentos aplicados para um grande número de motores turboélice. Esses procedimentos são apresentados somente como um guia geral para familiarização com tais tipos de motores. Para partidas dos motores turboélice, observamos os procedimentos detalhados, contidos nas instruções do fabricante, ou equivalentes, por ele aprovados.

O primeiro passo na partida de um motor a turbina é prover uma adequada fonte de força para o motor de partida.

Onde um motor de partida operado com ar da turbina for usado, ele poderá ser suprido com o ar obtido através de um compressor de turbina a gás (GTC), uma fonte de ar externa ou um motor operando, o qual poderá enviar o ar comprimido através do sistema de sangria de ar (*Bleed air*).

Para a partida do primeiro motor, usa-se um GTC ou baixa pressão de um reservatório de grande volume. Para a partida dos motores seguintes, usa-se o ar do motor que está girando.

Durante a partida de um motor, sempre se observa o seguinte:

1- Nunca comandar o motor de partida, enquanto o motor estiver girando.
2- Não mover a manete de potência de um motor quando ele estiver alimentando uma partida através do sistema de sangria.
3 - Não efetuar uma partida no solo, se a temperatura da entrada da turbina estiver acima do especificado pelo fabricante.
4 - Não usar o ar do sistema de sangria de um motor que está em fase de aceleração.

Procedimentos de partida

Para a partida de um motor no solo, executamos as seguintes operações:

1 - Colocar a chave do seletor de partida para o motor desejado.
2 - Ligar as bombas de reforço de combustível da aeronave.
3 - Ligar a chave de combustível e ignição.
4 - Posicionar o interruptor de baixa r.p.m. para a posição baixa ou normal (alta).
5 - Certificar-se de que a manete de potência está na posição de partida. Se a hélice não estiver na posição, poderá haver dificuldade para completar o ciclo de partida.
6 - Posicionar a chave de partida e, se uma injeção de combustível for necessário, comprimir o botão de injeção.
7 - Certificar-se de que a luz de paralelo da bomba de combustível acende a, ou acima de 2.200 r.p.m., e permance até 9.000 r.p.m.
8 - Checar a pressão e a temperatura do óleo. Manter a manete de potência na posição de partida, até que a mínima temperatura do óleo seja atingida.
9 - Desconectar a fonte externa de força.

Se alguma das seguintes ocorrências acontecer na sequência da partida, desligamos a chave do combustível e da ignição, descontinuando imediatamente a partida, e fazendo uma investigação e relato da ocorrência.

1 - Temperatura da entrada da turbina excede o máximo especificado. “Pique” da temperatura, observado e anotado.
2 - O tempo da aceleração da rotação da hélice, para estabilizar a r.p.m., excede o tempo especificado .
3 - Não há indicação da pressão do óleo até 5.000 r.p.m. na caixa de redução ou no motor.
4 - Labareda (chama visível na saída dos gases, que não seja do normal enriquecimento) ou excessiva fumaça é observada durante o acendimento inicial.
5 - Falha da ignição do motor até 4.500 r.p.m. ou máxima rotação do motor de partida (o que ocorrer primeiro), e estagnação da rotação do motor ou início de queda.
6 - Anormal vibração é notada ou ocorre um afluxo ("surge") no compressor (indicado por retorno de chama).
7 - Há combustível saindo pelo dreno da nacele, indicando que a válvula dreno não está fechada.
8 - Alarme sonoro de fogo (isto pode ser devido tanto a um foco de fogo no motor quanto a falha na válvula de corte antigelo não fechando).

MOTORES TURBOJATO

Operação de pré-vôo

Diferente dos procedimentos dos motores convencionais de avião, o turbojato não requer aquecimento de pré-vôo, é necessário somente investigar se há suspeita de algum vazamento ou mal funcionamento.

Antes da partida, verificamos se todas as tampas protetoras das entradas da turbina foram retiradas.

Se possível, colocamos o avião com o nariz contra o sentido do vento, para obter melhor refrigeração, partida mais rápida e melhor desempenho do motor.

É especialmente importante que a aeronave esteja contra o vento, se o motor tiver que ser calibrado.

A área de cheque em torno das turbinas deve estar livre tanto de pessoal como de equipamentos soltos.

As áreas de entrada e as de escapamento perigosas dos turbojatos são ilustradas na figura 11-1. Cuidados devem ser tomados, na área onde são feitos os testes dos motores, quanto à limpeza, principalmente de porcas, parafusos, pedras, farrapos de pano ou outras matérias soltas.

Um grande número de acidentes sérios ocorre envolvendo pessoas nos arredores da entrada de ar das turbinas.

Os tanques de combustível de aeronaves devem ser checados quanto a presença de água ou gelo, e a entrada de ar do motor deve ser inspecionada, quanto ao estado geral e a presença de objetos estranhos.

As palhetas dianteiras do compressor e a entrada das aletas-guia devem ser inspecionadas visualmente quanto a mossas e outros danos.

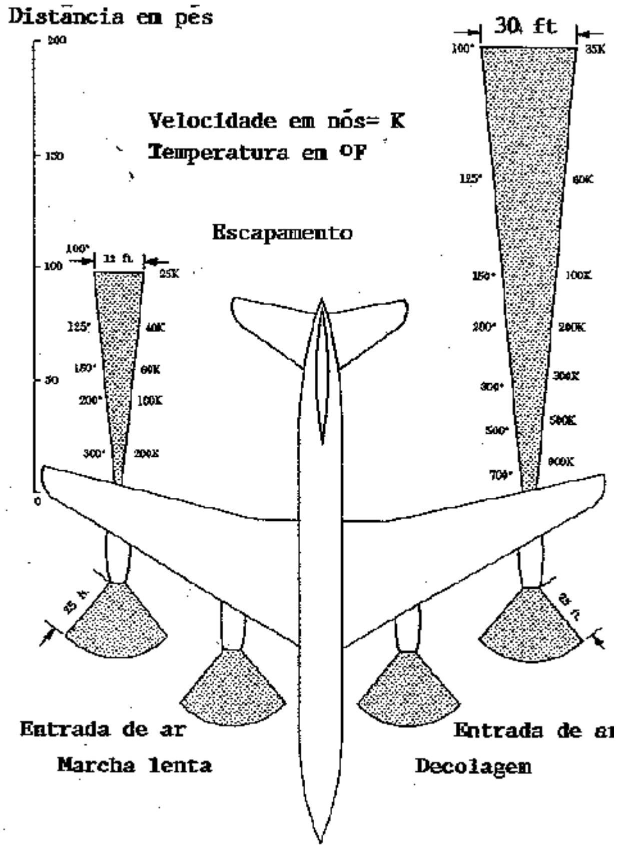


Figura 11-1 Áreas perigosas de entrada de ar e de escapamento.

Se possível, o compressor deve ser checado quanto a livre rotação, girando-se as palhetas com a mão.

Todos os controles do motor devem ser operados e os instrumentos do motor e as luzes de alarme devem ser checadas quanto a uma adequada operação.

Partida num motor turbojato

Os seguintes procedimentos são típicos daqueles usados para partidas em muitos tipos de motores turbojato. Existem, contudo, grandes variações nos procedimentos, e de um modo geral, não pode ser feito o uso de um padrão básico. Esses procedimentos são apresentados somente como um guia geral para familiarização com os procedimentos e métodos típicos. Numa partida de todos os motores turbojato, dê atenção aos procedimentos detalhados contidos nas instruções aplicadas pelos fabricantes, ou equivalentes, por eles aprovados.

A maior parte dos motores turbojato podem ser girados por outra turbina a ar ou motores de partida do tipo à combustão. Motores de partida das turbinas usam ar comprimido, proveniente de fontes externas. Essas fontes podem ser unidades de fontes externas ou ar vindo do sistema de sangria, ou vindo de um motor do avião que já esteja operando.

Motores de partida a combustão são pequenos motores de turbina a gás, que obtêm potência através da expansão dos gases gerados na câmara de combustão. Esses gases aquecidos são produzidos pela queima do combustível e ar ou, em alguns casos, uma combustão lenta de monopropelente sólido ou líquido, especialmente compostos para aquelas unidades de partida.

A passagem do combustível é controlada pelo movimento da manete de potência ou pela abertura da válvula de corte.

Se um motor de partida de turbina a ar for usado, o motor da aeronave deverá girar ou acender, dentro de aproximadamente 20 segundos após o combustível ter sido ligado. Esse intervalo de tempo é uma escolha arbitrária que, se for excedido, indica que um defeito possivelmente tenha ocorrido e a partida deverá ser descontinuada. Uma outra partida só poderá ser tentada, após uma inspeção e ter sido sanado o defeito.

Se um motor de partida a combustão for usado, o intervalo de 20 segundos não necessita ser observado, desde que a operação do motor de partida seja desconectada automaticamente depois de um intervalo de tempo predeterminado.

Os procedimentos seguintes são incluídos para mostrar a sequência de eventos numa partida de motor turbojato:

1. Mover a manete de potência para a posição do batente mínimo ("*off*"), a menos que o motor seja equipado com o sistema reverso. Se isso ocorrer, colocar a manete na posição de marcha lenta ("*idle*").
2. Ligar a fonte elétrica para o motor.
3. Ligar a chave da válvula de corte do combustível para a posição ligada.
4. Ligar a chave da bomba de reforço.
5. A pressão de entrada do combustível será indicada no instrumento com 5 p.s.i., confirmando o fluxo e o funcionamento da bomba.
6. Ligar a chave do motor de partida quando o motor começar a girar, verificar a subida da pressão do óleo.
7. Ligar a chave de ignição, depois que o motor começar a girar.
8. Mover a manete para a marcha lenta (se o motor não for equipado com reverso).
9. A partida do motor (ignição) é indicada pelo aumento da temperatura dos gases de escapamento.
10. Depois que o motor estabilizar em marcha-lenta, assegurar-se de que nenhum dos limites do motor foram excedidos.
11. Desligar a chave do motor de partida após o motor pegar.
12. Desligar a chave de ignição.

Partidas problemáticas em turbojato

1. PARTIDA QUENTE

Uma partida quente ocorre quando o motor funciona, mas a temperatura dos gases de exaustão excedem os limites especificados. Isso é usualmente causado por uma mistura de combustível/ar excessivamente rica, entrando na câmara de combustão. Por isso o combustível para o motor deverá ser cortado imediatamente.

2. PARTIDA FALSA OU INTERROMPIDA

Ocorre quando o motor dá a partida e aparenta estar funcionando normalmente, mas a r.p.m. mantem-se numa gama mais baixa do que o mínimo de marcha lenta. Isto é, muitas vezes, o resultado de força insuficiente para o motor de partida, ou o motor de partida corta antes de completar o ciclo inicial da partida do motor. Nesse caso, o motor deverá ser cortado.

3. O MOTOR NÃO PEGA

O motor não pega dentro do tempo limite pré-estabelecido. Isto pode ser causado pela carência de combustível para o motor, força elétrica insuficiente ou nenhuma, ou mau funcionamento no sistema de ignição.

Se o motor falha em completar a partida, dentro do tempo prescrito, torna-se necessário interromper imediatamente a partida.

Em todos os casos de mau funcionamento do motor de partida, o combustível e a ignição deverão ser desligados.

Devemos continuar girando o compressor por aproximadamente 15 segundos, para remover o combustível acumulado no motor. Se o motor de arranque for incapaz de girar o motor, aguardamos uns 30 segundos para o combustível ser drenado, antes de tentar uma outra partida.

FORÇA ELÉTRICA

Unidades de fonte de força variam muitíssimo em tamanho e tipo. Geralmente elas podem ser classificadas como rebocadas ou com tração própria.

A rebocadas variam em tamanho e classificação pela potência de força. As menores unidades são simples baterias de alta capacidade, usada para partidas em aeronaves pequenas. Essas unidades são normalmente montadas sobre rodas ou carrinhos e, são equipadas com um cabo longo, terminando com uma tomada adaptadora.

As grandes unidades (Figura 11-2) são equipadas com geradores. Essas unidades são providas de uma grande gama de fornecimento de força.

As unidades de força são normalmente feitas para suprir corrente contínua, voltagem variável C.C., energia elétrica para partidas em motores a reação, e possuem corrente contínua com voltagem constante para partidas em motores convencionais de aeronaves. Esse tipo de fonte externa a reboque adquire uma grande inércia; consequentemente deve ser rebocada com velocidade restrita, e as manobras bruscas devem ser evitadas.

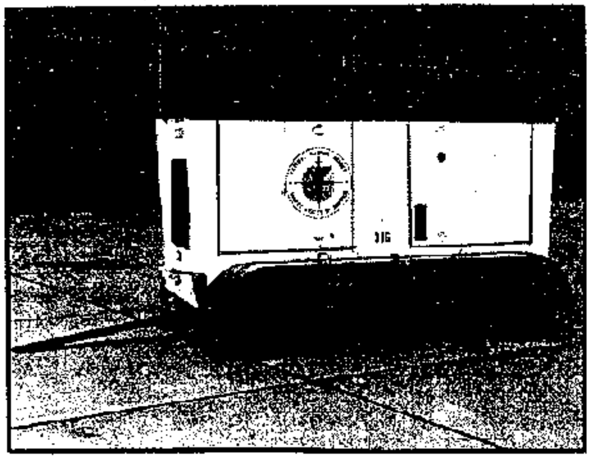


Figura 11-2 Unidade de fonte de força elétrica - GPU (rebocável)

Unidades de força com tração própria são normalmente mais dispendiosas do que as unidades rebocadas e, na maioria das vezes, podem suprir uma grande gama de saídas de voltagens e frequências. Por exemplo, a fonte de tração própria mostrada na figura 11-3 é capaz de fornecer energia C.C. em grandes quantidades, bem como 115/200 volts, 3 fases, 400 ciclos C.A. com potência continuada por 5 minutos.

Quando usando fonte externa de força, é importante colocá-la cuidadosamente numa posição de segurança. Ela deve ser posicionada para evitar uma colisão com a aeronave que está sendo alimentada, ou outras que estejam nas proximidades, no caso de falha dos freios da fonte externa. Ela poderá ser parqueada, garantindo todo o serviço, através do cabo estendido até a aeronave.

Todas as precauções de segurança devem ser observadas quando energizando uma aeronave, e a fonte externa nunca deve ser removida enquanto os cabos estiverem acoplados à aeronave, ou quando o gerador do sistema estiver fornecendo energia.

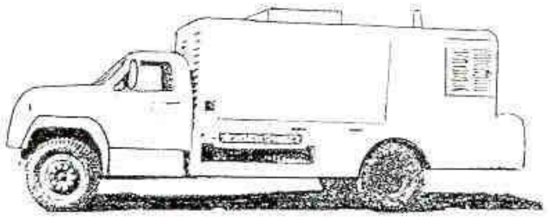


Figura 11-3 Unidade conjugada de fonte de força elétrica e de ar para partidas, auto-propulsora.

FORÇA HIDRÁULICA

Bancadas portáteis de testes hidráulicos são fabricadas em diversos tamanhos e gama de custos. Algumas têm um limite de operação, enquanto outras podem ser usadas para executar testes em todos os sistemas onde os equipamentos fixos das oficinas podem executar.

Por exemplo, um tipo de unidade portátil de teste de grande desempenho realiza as seguintes funções:

1. Drena o sistema hidráulico da aeronave.
2. Filtra todo o fluido hidráulico da aeronave.
3. Reabastece o sistema da aeronave com um fluído hidráulico limpo e filtrado micrônicamente.
4. Testa o desempenho dos sistemas e subsistemas da aeronave.
5. Testa o sistema hidráulico da aeronave quanto a vazamentos internos e externos.

Esse tipo de teste hidráulico portátil é normalmente operado com energia elétrica. Ele usa um sistema hidráulico capaz de suprir uma variação de volume de fluido de zero até aproximadamente 24 galões por minuto, com uma variação de pressão até 3.000 p.s.i.g.

A unidade de teste e seus componentes são montados em uma base metálica, com tampas removíveis.

A base é normalmente montada sobre quatro rodas pneumáticas, para facilitar o seu deslocamento por tração própria ou ser rebocada por um veículo, ou ser empurrada e manobrada manualmente.

UNIDADES DE AR CONDICIONADO E DE AQUECIMENTO

Unidades móveis de ar condicionado e de aquecimento são equipamentos de solo destinados a suprir ar condicionado para o aquecimento ou refrigeração das aeronaves.

Elas são capazes de liberar uma grande quantidade de fluxo de ar sob pressão, através de dutos flexíveis para o interior da aeronave. Comparado com a capacidade do ar condicionado, a capacidade de aquecimento é normalmente considerada um acessório opcional, mas em alguns climas a capacidade de aquecimento é frequentemente tão usada quanto a do ar frio.

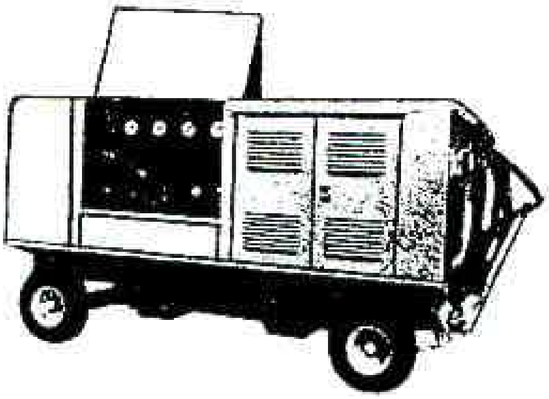


Figura 11-4 Unidade de teste do sistema hidráulico.

A figura 11-5 mostra uma unidade móvel típica, equipada com equipamento de ar condicionado e sistema de aquecimento. Essa unidade é capaz de liberar até 3.500 pés cúbicos de ar frio por minuto. Ela é capaz de transformar e manter a temperatura do interior de uma aeronave de grande porte de 40º C para aproximadamente 28º C. Sua capacidade de aquecimento proporciona uma saída superior a 400.000 B.t.u. por hora. Um único motor supre força para o carro e para o equipamento de ar condicionado. Isso é executado por meio de uma variação de força montada em uma transmissão auxiliar. Pelo simples comando de mudança de posição de várias combinações de engrenagens, um operador pode dirigir o carro, operar apenas a ventilação ou operar a ventilação e o equipamento de refrigeração. Todos os controles e interruptores para as operações estão na cabine do carro.

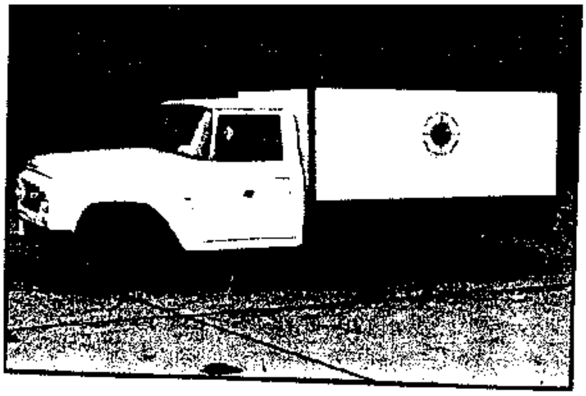


Figura 11-5 Unidade de ar condicionado e de aquecimento.

FONTES DE AR PARA PARTIDAS

As unidades de fonte de ar fornecem um suprimento de ar comprimido, para operar motores de partida pneumáticos em motores turboélice e turbojato. As unidades de partida a ar podem ser montadas em unidades móveis para serem rebocadas até a aeronave, ou podem ser montadas em veículos, semelhantes ao mostrado na figura 11-3.

Uma fonte de ar típica consiste dos seguintes componentes: um compressor de turbina a gás (GTC), uma bateria de alta capacidade de armazenamento, o combustível necessário, óleo, sistemas elétricos, controles e linhas de ar comprimido.

O GTC típico é basicamente um compressor centrífugo de dois estágios, acoplado diretamente a uma turbina radial de fluxo interno. Além de fornecer ar para a linha de sangria, o compressor supre ar comprimido por combustão para girar o disco da turbina.

O gás da combustão é passado através da câmara de combustão para o conjunto da turbina. A força extraída pelo disco da turbina é transmitida para o compressor, seção de acessórios e componentes do sistema de controle.

EQUIPAMENTO DE PRÉ-LUBRIFICAÇÃO

A pré-lubrificação nos motores convencionais de aeronaves é normalmente necessária antes da partida de um motor novo ou estocado, ou um que tenha ficado parado por um longo período de tempo.

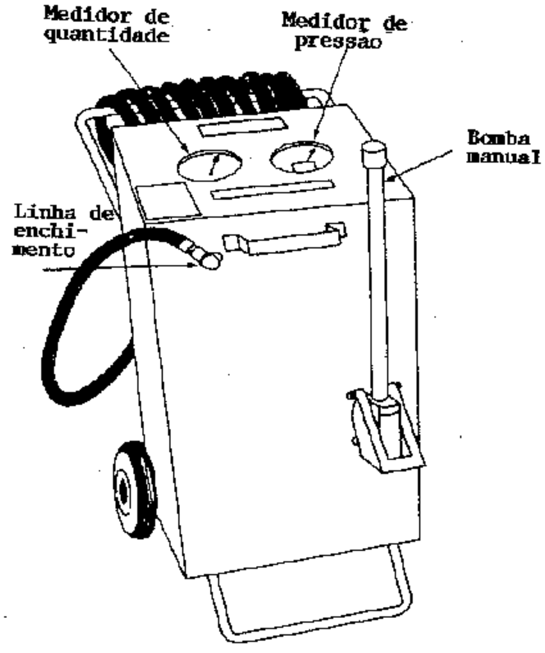


Figura 11-6 Equipamento de pré-lubrificação.

Usando um pré-lubrificador (ver a figura 11-6) para motores convencionais de aeronaves, o trabalho de pré-lubrificação é simplificado. Essas unidades fornecem óleo pré-aquecido sob pressão para assegurar adequada lubrificação antes da partida de um motor.

O pré-lubrificador portátil, fornece baixa pressão de óleo para o sistema de lubrificação de motores a turbina.

As condições para a pré-lubrificação de um motor à turbina, são essencialmente as mesmas para um motor convencional. além disso, se uma conexão da linha de lubrificação tiver sido desconectada em um motor a turbina, o motor deverá ser pré-lubrificado antes de ser novamente girado.

ABASTECIMENTO DE AERONAVES

Todas as precauções de segurança contra incêndios devem ser observadas durante os processos de abastecimento. Não é permitido fumar na aeronave, ou ao seu redor, durante o abastecimento. Do mesmo modo, são proibidos lampiões a óleo, velas ou fósforos. Interruptores elétricos, comutadores, dínamos ou motores, equipamentos elétricos que produzam centelhas, ou qualquer material que provoque faísca, não é permitido em uma área de 30 metros (100 pés) de uma aeronave que esteja sendo abastecida ou destanqueada.

Para a iluminação, são permitidas apenas as lâmpadas à prova de explosão, dentro do espaço de 30 metros dessas operações; lâmpadas de qualquer espécie não podem ser colocadas em locais que permitam que elas entrem em contato com combustível derramado. Sinais de aviso deverão ser colocados como medida de precaução.

Todos os combustíveis de aeronaves, ou outros combustíveis líquidos que forem acidentalmente derramados devem ser removidos imediatamente com jatos de água, ou cobertos com camadas de espuma para evitar ignição, ou neutralizados por outros meios.

A equipe contra incêndios deverá ser notificada, se necessário.

Se houver indicação de vazamento de combustível líquido no subsolo, a área deverá ser isolada adequadamente, e a equipe contra incêndios deverá ser notificada imediatamente.

É recomendado que os tanques de combustível sejam enchidos antes de recolhidos a hangares, para que não fiquem espaços para a formação de vapores explosivos. Essa prática é também recomendada após cada vôo, para evitar a condensação de água nos tanques.

Os tanques de combustível não deverão ser enchidos completamente até o topo quando a aeronave estiver recolhida ao hangar, principalmente se a temperatura externa for mais baixa do que a de dentro de hangar. Se dentro do hangar estiver mais quente do que a parte externa, o combustível se expandirá nos tanques, transbordando, através do sistema de ventilação, criando um perigo de incêndio.

Ferramentas que não produzam centelhas deverão ser usadas, quando trabalhando em qualquer parte de um sistema ou unidade, destinada a estocar ou conduzir combustíveis líquidos.

A utilização de tanques ou linhas de combustível com vazamentos não é permitida. Reparos devem ser feitos logo que descobertos, e com a devida urgência que o perigo exige.

Todo combustível é filtrado e passado através de equipamento separador de água, existente nos tanques de armazenagem, quando ele é liberado para os veículos reabastecedores; ou no caso de pontos de abastecimento, quando ele passa para as conexões de suprimento. Os veículos reabastecedores também passam o combustível através de um sistema de filtros e equipamento separador de água, antes que ele seja liberado para a aeronave. Esses filtros e separadores são normalmente checados pela manhã, quanto a evidência de sujeira e água, e todas as vezes após o veículo reabastecedor ter sido carregado. Quando o veículo reabastecedor for carregado, aguarda-se, no mínimo, 15 minutos e, então checa-se quanto a presença de água, antes do abastecimento de qualquer aeronave.

Quando usando combustível que tenha sido estocado em latões ou tambores, ele deverá ser passado em um funil-coador antes de ser colocado em uma aeronave. Essa prática é necessária por causa da condensação e da ferrugem que se desenvolvem dentro dos latões e tambores.

Se for usada camurça na filtragem do combustível, aumenta-se o perigo pelo aumento da eletricidade estática pela passagem da gasolina pelo filtro. A camurça deve ser aterrada e permanecer assim até que todo o combustível tiver escoado. Isso pode ser feito por contato com uma tela metálica de suporte que esteja aterrada. Nunca devemos usar um funil de plástico, ou material isolante semelhante, quando estivermos transferindo o combustível de latões ou tambores.

As aeronaves devem ser abastecidas em uma área segura. Não se abastece ou destanqueia uma aeronave dentro de hangares ou outros ambientes fechados, exceto no caso de uma emergência. Não deve haver nenhum perigo de fogo, os interruptores elétricos devem estar desligados e a aeronave deve estar calçada antes de iniciar o reabastecimento ou destanqueio.

Uma pessoa que conheça os perigos existentes na operação, deverá estar portando um extintor de CO_2. Ele deve estar protegido contra a inalação de vapores de hidrocarbonetos, que podem causar mal estar e tonturas, ou pode ser até fatal. Deve-se observar medidas adequadas de ventilação para evitar o acúmulo de gases.

Devido ao seu alto teor de chumbo, o combustível não deve tocar nas vestimentas, na pele ou nos olhos. Qualquer peça de vestimenta molhada de gasolina deve ser removida o quanto antes, e as partes do corpo devem ser lavadas com água e sabão. O uso de roupas molhadas com gasolina cria um grande perigo de incêndio e pode ainda gerar bolhas dolorosas semelhantes àquelas causadas por queimaduras, devido ao contato direto. Se houver contato com os olhos, deve-se buscar atendimento médico imediatamente.

Deveres da tripulação durante o reabastecimento

Quando uma aeronave vai ser reabastecida por gravidade, ela deve estar no pátio ou em um local afastado e não deve estar nas vizinhanças de possíveis fontes de ignição dos vapores do combustível. Deve-se levar em consideração a direção do vento, de forma que os vapores não sejam levados em direção a fontes de ignição.

O caminhão tanque deve ser estacionado tão longe da aeronave quanto o comprimento da mangueira permita, e de preferência do lado da aeronave que receber o vento. Ele deve ficar estacionado paralelo à asa, ou de tal forma que posa ser removido rapidamente em caso de incêndio (A da Figura 11-7). Tão logo a operação termine, o caminhão deve ser removido das pro-

proximidades da aeronave. As tampas do tanque do caminhão abastecedor devem ser mantidas fechadas, exceto quando o caminhão estiver sendo abastecido.

Preferivelmente, a equipe de reabastecimento para aeronave de grande porte deve ser formada por quatro homens. Um deles opera o equipamento contra incêndio; um outro fica no caminhão; um terceiro manuseia a mangueira e o painel de transferência do caminhão; e o quarto homem manuseia a mangueira e o painel de reabastecimento da aeronave, e enche os tanques (A e B da figura 11-7).

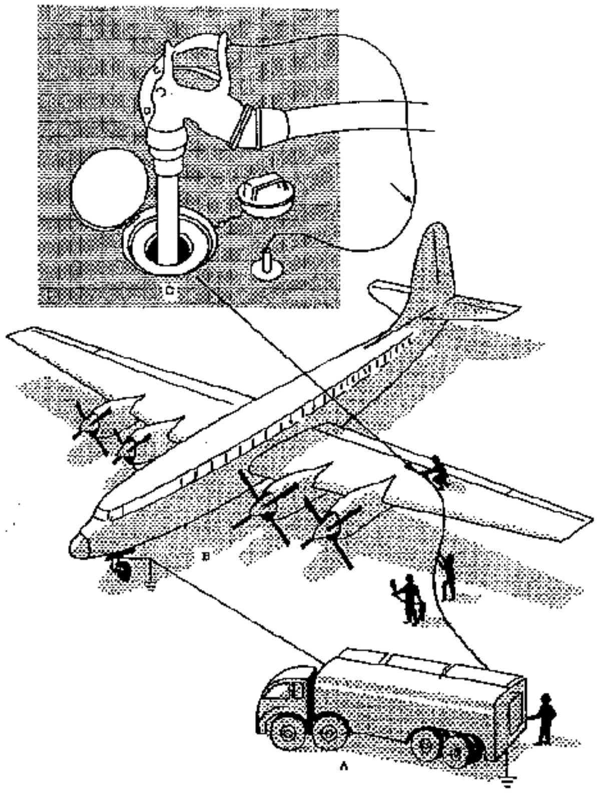


Figura 11-7 Reabastecendo uma aeronave.

Deve-se observar o tipo de combustível suprido pelo caminhão antes de se iniciar o abastecimento. Os técnicos de aviação devem conhecer os vários tipos de combustíveis e seus cuidados, de forma que o combustível adequado seja usado.

Deve-se também verificar se todos os interruptores, de rádio e elétricos, não necessários à operação de reabastecimento estão desligados, e se as fontes elétricas não essenciais estão desconectadas da aeronave. Um membro da equipe verifica se a aeronave e o caminhão estão corretamente aterrados para evitar centelhas de eletricidade estática.

Operações de reabastecimento

No reabastecimento por gravidade, o homem com o extintor de CO_2 fica perto da aeronave. O operador da mangueira do caminhão desenrola-a e passa-a para o operador do painel da aeronave, que fará o reabastecimento. Deve-se ter cuidado na colocação da mangueira no bocal de abastecimento para não danificar o revestimento da aeronave.

Na ponta da mangueira hà um fio de aterramento que deve ser ligado próximo ao tanque a ser abastecido.

Outro tipo de fio de aterramento possui uma garra jacaré em sua extremidade, e ela serve como uma conexão terra contínua para o bocal (C da figura 11-7).

O caminhão possui dois fios-terra; um é conectado a um ponto local de aterramento (A da Figura 11-7), e o outro é conectado à aeronave (A e B da figura 11-7). A aeronave também deve ser aterrada ao solo.

Esse arranjo de aterramento pode ter outras formas. Em muitos casos, o caminhão é aterrado por uma corrente que é arrastada no chão; a aeronave é aterrada por uma tira de carbono embutida nos pneus; e a aeronave e o caminhão são mantidos em um potencial elétrico comum por um fio condutor, circulando a mangueira de sua ponta para o bocal do tanque.

Tudo isso é para evitar um centelhamento causado pela eletricidade estática, que pode ser criada quando o combustível fluir através da mangueira para dentro do tanque da aeronave.

O reabastecimento de aeronaves leves envolve menos problemas. Enquanto as responsabilidades do reabastecedor são as mesmas, a operação geralmente requer um ou dois elementos.

O perigo de danos ao revestimento é reduzido, uma vez que a altura e localização do bocal do tanque permite um acesso fácil. Além disso, aeronaves pequenas podem ser empurradas manualmente para uma posição próxima a um tanque ou ponto de abastecimento. A figura 11-8 mostra uma pequena aeronave sendo reabastecida.

Quando o tanque da aeronave estiver quase cheio, a razão do fluxo de combustível deve ser reduzida para enchê-lo totalmente; ou seja, o tanque deve ser abastecido vagarosamente até a boca, sem derramar sobre a asa ou o solo.

A tampa do bocal é reinstalada, o fio-massa é removido e o abastecedor leva a mangueira para o próximo tanque a ser abastecido. Esse procedimento é repetido até que todos os tanques tenham sido abastecidos. Então, os fios-massas são desconectados da aeronave e a mangueira é reenrolada no caminhão.

Durante esse procedimento o bico metálico da mangueira não deve arrastar no chão.

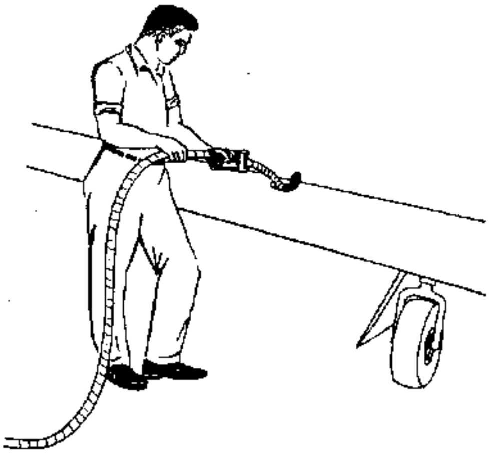


Figura 11-8 Reabastecimento de aeronaves leves.

Reabastecimento por pressão

Esse tipo de reabastecimento é usado em muitas aeronaves modernas. Esse processo, às vezes chamado de "ponto único" ou "sub-alar", reduz em muito o tempo requerido para abastecer grandes aeronaves.

Há também outras vantagens no reabastecimento sob pressão. Ele elimina os riscos de danos ao revestimento da aeronave e ao pessoal, e reduz as chances de contaminação do combustível. O reabastecimento sob pressão também reduz as chances de ignição dos vapores do combustível pela eletricidade estática.

Devido à limitada área do tanque, há poucas vantagens na aplicação desse processo em aeronaves leves. Sendo assim, ele geralmente é incorporado em jatos executivos de médio porte e em grandes aeronaves de transporte comerciais ou militares.

A maioria dos sistemas consiste em uma mangueira de reabastecimento por pressão, um painel de controle, e instrumentos que permitam a um só homem abastecer ou destanquear todos os tanques de combustível da aeronave. O sistema de reabastecimento por ponto único é geralmente desenhado, de forma que uma tubulação seja acessível próxima à ponta da asa ou sob a asa, próxima à sua raiz. As válvulas de conexão dos vários tanques à linha principal de abastecimento são geralmente atuadas pela pressão do combustível.

Os procedimentos de abastecimento e destanqueio são normalmente demonstrados na porta de acesso ao painel de controle de abastecimento.

O operador deve conhecer bem o sistema de combustível da aeronave para reconhecer os sintomas de panes. Uma vez que o o desenho de sistemas de abastecimento por pressão varia um pouco de avião para avião, o operador deve consultar as instruções dos fabricantes para os procedimentos detalhados.

Devido às variações nos procedimentos de destanqueio das aeronaves, é importante consultar o manual aplicável antes de iniciar qualquer procedimento.

FOGO

Tipos de incêndio

A Associação Nacional de Proteção contra Incêndio classificou os incêndios em três tipos básicos:

Classe A - fogo em materiais comuns, como madeira, tecido, papel, e materiais de revestimento interno, etc.

Classe B - fogo em produtos inflamáveis do petróleo ou líquidos combustíveis como graxas, solventes, tintas, etc.

Classe C - fogo em equipamentos elétricos energizados, onde a não condutividade do agente extintor é um fator importante. Na maioria dos casos, onde os equipamentos elétricos estão desenergizados, os extintores aplicáveis às classes A e B também são adequados.

Uma quarta classe de incêndio, a classe D, é definida como um fogo em metais inflamáveis. A classe D não é considerada um tipo básico, uma vez que está geralmente associada a um incêndio classe A, B ou C.

Esses incêndios geralmente envolvem magnésio. Tanto em estoque como em rodas de aeronaves. Qualquer um desses tipos de incêndio pode ocorrer durante a manutenção, ou operação. Há um extintor mais adequado a cada tipo de incêndio.

Extinção de incêndio

Três fatores são requeridos para um incêndio. O combustível: algo que na presença de calor, combine-se com o oxigênio, liberando mais calor, e transformando-se em outro composto químico. O calor: que pode ser considerado o catalisador que acelera a combinação do combustível com o oxigênio, liberando ainda mais calor. O oxigênio: elemento que se combina quimicamente com outra substância através da oxidação. Uma oxidação rápida, acompanhada por uma liberação apreciável de calor e luz é chamada de combustão ou queima (figura 11-9). Ao se remover qualquer um desses fatores o fogo se apaga.

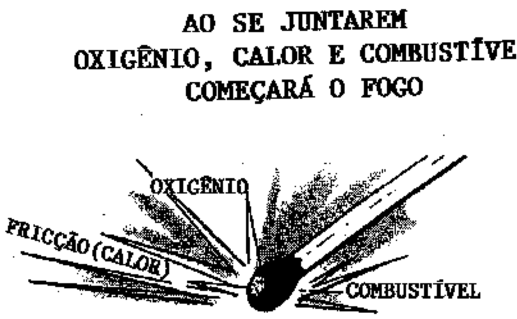


Figura 11-9 Três fatores para o fogo.

Tipos de incêndio versus agente extintor

O fogo classe A cede melhor a água ou a extintores de água, que esfria o combustível abaixo das temperaturas de combustão. Os extintores classe B e C são também efetivos, mas não se igualam a ação de resfriamento do extintor classe A.

O fogo classe B cede bem ao dióxido de carbono (CO_2), aos hidrocarbonos halogenados (Halons) e aos pós químicos secos; todos eles deslocam o oxigênio do ar, tornando a combustão impossível. A espuma é efetiva, especialmente quando usada em grandes quantidades.

A água não é efetiva em fogo classe B e ainda espalhará o fogo.

O fogo classe C envolvendo fiação, equipamento ou corrente elétrica, cede melhor ao dióxido de carbono (CO_2), que desloca o oxigênio da atmosfera, tornando a combustão improvável. O equipamento de CO_2 deve ser provido de uma corneta não-metálica aprovada para uso em fogo elétrico. Dois motivos devem ser considerados:

1. A descarga de CO_2 através de uma corneta (difusor) metálica pode gerar eletricidade estática. A descarga estática poderá provocar nova ignição.
2. O difusor metálico, em contato com a corrente elétrica daria um choque no operador.

Os hidrocarbonos halogenados são muito eficazes em fogo classe C. Os vapores reagem quimicamente com a chama extingüindo o fogo. O pó químico é eficaz, mas possui a desvantagem de contaminar o local com o pó. Além disso, se utilizado em equipamento elétrico energizado e molhado, ele pode agravar a fuga de corrente.

A água ou a espuma não são adequados ao uso em fogo de equipamentos elétricos.

O fogo classe D cede á aplicação de pó químico seco, que evita a oxidação e a chama resultante. Técnicas especiais são necessárias no combate ao fogo em metais. As recomendações do fabricante devem ser seguidas sempre. As áreas que possam estar sujeitas a esse tipo de fogo devem possuir a instalação do equipamento protetor adequado.

Sob nenhuma condição deve-se usar água em um fogo classe D. Ela provocará uma queima ainda mais violenta, podendo causar uma explosão.

Verificação periódica dos extintores de incêndio.

1. O extintor adequado no local correto.
2. Selos de segurança intactos.
3. Remover toda sujeira e ferrugem externa.
4. Manômetro na faixa operacional.
5. Checar quanto ao peso correto.
6. Bico desobstruído.

Agentes extintores

A. Água e agentes à base de água.

A água pode ser combinada com compostos anticongelantes ou materiais que acelerem a penetração da água. A água é usada em materiais de carbono. Ela extingue o fogo, refriando o combustível abaixo da temperatura de combustão.

1. A soda-ácida e a espuma agem em um fogo da mesma maneira que a água, baixando a temperatura. A espuma age sobre o fogo em produtos do petróleo, evitando que o oxigênio chegue até ao foco do fogo.
2. Uma carga de fluxo contendo um anticongelante tão eficaz como um retardador de chama.

B. Pó químico seco.

Quatro tipos de produtos são usados:

1. Bicarbonato de sódio (fórmula H). Para incêndios classe B e C.
2. Fosfato de amônia (Multiuso). Para incêndios classe B e C.
3. Bicarbonato de potássio (Púrpura K). Para incêndio de alto risco classe B e C.
4. Pó químico multiuso (ABC). Para uso em incêndios classe A, B e C. O pó químico extingüe o fogo baixando-o, retirando o oxigênio; e a camada de pó evita o reacendimento do fogo. Ele também oferece ao operador alguma proteção contra o calor. Todos os pós químicos não conduzem eletricidade.

C. Gás.

1. Dióxido de Carbono (CO_2) - Possui uma toxicidade (Laboratório *Underwriter*) 5A, especialmente recomendado para uso em incêndios classe B e C. Ele extingue o fogo, dissipando o oxigênio na área do disparo.
2. Hidrocarbonos halogenados (Freon), são numerados de acordo com as fórmulas químicas e números do Halon.

Tetracloreto de Carbono (Halon 104). Fórmula CCL_4. Toxicidade UL, 3. Venenoso e tóxico. Vapores de Ácido Hidroclórico, clorine e fosgênio são produzidos sempre que o tetracloreto de carbono é usado.

A quantidade de gás fosgênio é aumentada sempre que o tetracloreto de carbono entra em contato direto com o metal quente, certas substâncias químicas ou um arco voltaico contínuo. Ele não é mais aprovado para o uso como extintor de incêndio.

Metil Bromido (Halon 1001). Fórmula CH_3Br - um gás liquefeito, toxicidade UL, 2. Efetivo, porém muito tóxico e, também, corrosivo em ligas de alumínio, magnésio e zinco. Não recomendado para uso aeronáutico.

Clorobromometano (Halon 1011). Fórmula CH_2ClBr - um gás liquefeito, toxicidade UL, 3. Não recomendado para uso aeronáutico.

GRUPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLO
6 (menos tóxico)	Gases ou vapores que em concentrações até pelo menos 20% do volume, para exposições por 2 horas, não produz danos.	Bromotrifluorometano (Halon 1301)
5a	Gases ou vapores muito menos tóxicos que o grupo 4, porém mais tóxicos que o 6.	Dióxido de Carbono
4	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% por 2 horas são letais ou produzem danos sérios.	Dibromodifluorometano (Halon 1202)
3	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% por 1 hora são letais ou produzem sérios danos.	Bromoclorometano (Halon 1011) Tetracloreto de carbono (Halon 104)
2	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 1/2 a 1% por ½ hora são letais ou produzem sérios danos	Brometo de Metila (Halon 1001)

Figura 11-10 Tabela de Toxicidade.

MATERIAL EXTINTOR	CLASSES DO FOGO				GERAÇÃO PRÓPRIA	EXPELENTE PRÓPRIO	CARTUCHO DE GÁS N_2	PRESSÃO ESTOCADA	MECANICAMENTE BOMBEADO	EXTINTOR MANUAL
	A	B	C	D						
ÁGUA E ANTIGONGELANTE	X						X	X	X	X
SODA-ÁCIDA (ÁGUA)	X				X					
AGENTE LÍQUIDO (ÁGUA)	X						X			
ESPUMA	X	X			X					
CARGA DE FLUXO COM ANTICON GELANTE	X	X +					X	X		
PÓ QUÍMICO MULTIUSO	X +	X	X				X	X		
DIÓXIDO DE CARBONO		X +	X			X				
PÓ QUÍMICO SECO		X	X				X	X		
BROMOTRIFLUOROMETANO - HALON 1301		X	X			X				
BROMOCLORODIFLUOROMETANO - HALON 1211		X	X					X		
PÓ QUÍMICO (FOGO EM METAIS)				X			X			X

Figura 11-11 Operação de extintores e métodos de expelir o agente.

Dibromodifluorometano (Halon 1202). Fórmula CBr_2F_2. Toxicidade UL, 4. Não recomendado para uso aeronáutico.

Bromoclorodifluorometano (Halon 1211) Fórmula $CBrClF_2$. - um gás liquefeito com toxicidade UL, 5.

Incolor, não-corrosivo e evapora rapidamente, não deixando resíduos. Ele não congela, e não danifica tecidos, metais ou outros materiais que toca.

O Halon 1211 age rapidamente, produzindo uma névoa pesada que elimina o ar da fonte de fogo, e mais importante, interfere quimicamente no processo de combustão. Ele possui a propriedade de evitar o reacendimento depois que o fogo for apagado.

Bromotrifluorometano (Halon 1301). Fórmula CF_3Br, é também um gás liquefeito com toxicidade UL 6. Possui todas as características do Halon 1211.

A diferença principal entre os dois é que o Halon 1211 forma uma pulverização semelhante ao CO_3, enquanto o Halon 1301 possui uma pulverização de vapor que é mais difícil de direcionar.

D. Pó Químico.

Pó químico para fogo em metais requer cuidados especiais. Se for jogada água no magnésio em combustão, a queima é acelerada.

Pós especiais estão disponíveis para uso onde houver possibilidade de fogo em metais; sendo ele, geralmente, despejado em grandes quantidades. Pós químicos multiuso (ABC) possuem uso limitado ao fogo em metais, tais como fogo no conjunto de freios ou no magnésio (ver figura 11-10 e 11-11).

MARCAS RECOMENDADAS PARA INDICAR A APLICABILIDADE DO EXTINTOR
(DO PADRÃO NFPA # 10)

As seguintes recomendações servem como um guia na marcação de extintores, e/ou locais de extinção, para indicar a adequabilidade do extintor para uma classe particular de fogo.

As marcas devem ser aplicadas por decalques, pinturas ou métodos semelhantes que possuam pelo menos uma legibilidade equivalente, assim como, também durabilidade.

Quando as marcas forem aplicadas no extintor, elas devem estar localizadas na frente do cilindro, acima ou abaixo da placa de identificação do extintor. As marcas devem ter um tamanho e formato facilmente legível a uma distância de 1 metro (3 pés). Quando as marcas forem aplicadas nas paredes, na proximidade dos extintores, elas devem ter tamanho e forma facilmente legíveis a uma distância de 7,5m (25 pés). (Ver figura 11-12 e 11-13.)

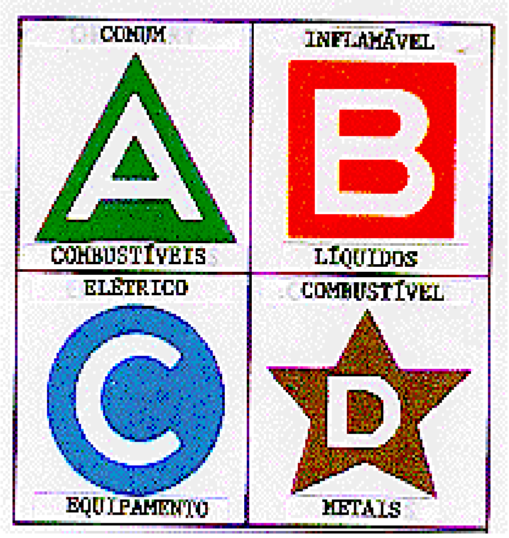


Figura 11-12 Identificação da localização dos tipos de extintores de incêndio.

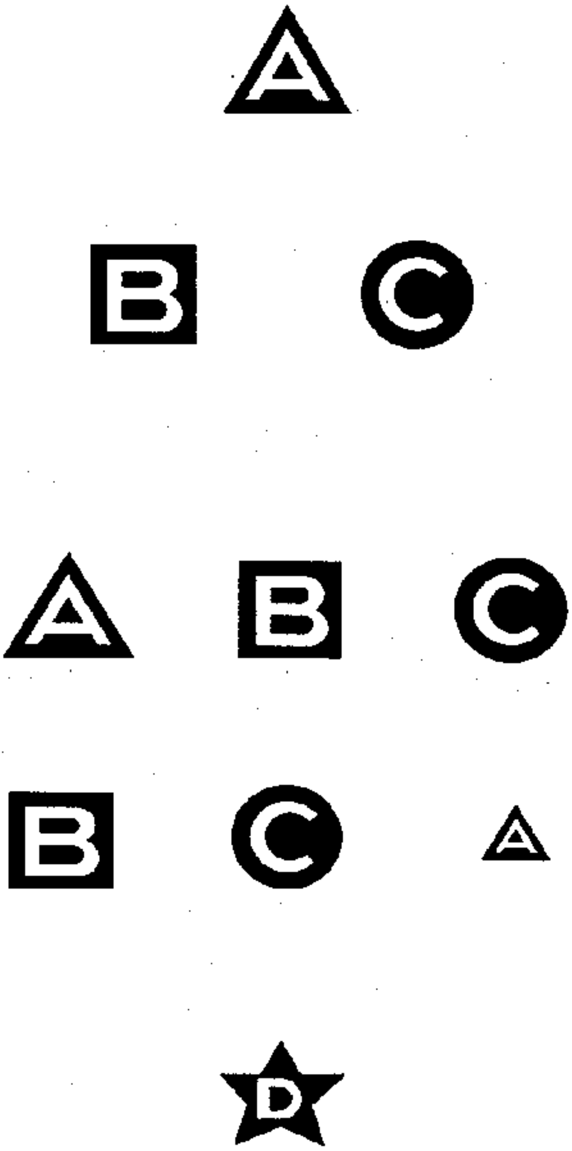


Figura 11-13 Marcações típicas de extintores.

EXTINTORES PARA AERONAVES

O fogo é uma das maiores ameaças para as aeronaves - tanto em vôo como no solo. Os sistemas de detecção e extinção de fogo, instalados nos motores e na célula, são projetados e instalados pelo fabricante em cumprimento aos RBHA's aplicáveis (FAR's).

Os requisitos dos extintores portáteis, instalados nos compartimentos da tripulação e passageiros, estabelece que os extintores devem ser aprovados, e adequados ao tipo de fogo mais provável de acontecer, e devem minimizar o perigo de gases tóxicos.

A Associação Nacional de Proteção Contra o Fogo indica o tipo, a capacidade, localização e quantidade dos extintores manuais para a proteção da aeronave, nos compartimentos ocupados por passageiros ou tripulantes.

A solução padrão dos extintores é composta de dióxido de carbono e água (solução de água).

Os extintores manuais são usados nos compartimentos de passageiros e o número de unidades é regulado pelo número de assentos de passageiros.

Dióxido de carbono é sugerido para o compartimento dos tripulantes.

O agente de extinção composto de hidrocarbono halogenado (Halon 1211 ou Halon 1301), de acordo com o Laboratório Underwriter; apresenta uma toxicidade na razão de 5 para mais de periculosidade, podendo ser substituído pelo dióxido de carbono.

Devido a eficiência do hidrocarbono halogenado ele pode ser usado em áreas livres com suficiente volume de ar, evitando dessa forma sérias irritações.

Os seguintes agentes de extintores não são recomendados para o uso aeronáutico:

1. Extintores com pó químico são muito usados em incêndios de classe B e C, mas eles deixam um resíduo de poeira ou pó. Essa composição é de difícil limpeza, e causa danos aos equipamentos eletrônicos, além de obstruir a visão.

2. O tetracloreto de carbono não é usado há muito tempo como agente de extintores de fogo. Eles produzem um gás tóxico quando em contato com metais quentes. A soda ácida e a espuma têm a condição de serem

tóxicas, e podem ser corrosivas para os materiais adjacentes.

3. O brometo de metila é mais tóxico que o CO_2, e não pode ser usado em áreas confinadas. Ele é também muito corrosivo em peças de alumínio, magnésio e zinco.
4. O clorobromometano, embora seja um agente eficaz de extinção de fogo, é bastante tóxico.

Extintores

Os extintores do tipo lata de aerosol comum são, definitivamente, inaceitáveis como extintores do tipo portátil para o uso a bordo de aeronaves.

Como exemplo, um extintor do tipo espuma em aerosol, localizado em uma bolsa, atrás da cadeira do piloto, explodiu destroçando o estofamento do assento.

O interior da aeronave foi danificado pela espuma. Isso ocorreu quando a aeronave estava no solo e a temperatura do ar exterior era de 32º C (90ºF).

Além do perigo de explosão, o tamanho do extintor é inadequado para o combate até mesmo dos menores incêndios.

Um extintor de pó químico foi instalado próximo a um aquecedor de ar do piso.

Por uma razão desconhecida a posição da unidade foi revertida, no que colocou o extintor diretamente na frente do aquecedor de ar.

Durante o vôo, com o aquecedor em operação, o extintor superaqueceu e explodiu, enchendo o compartimento com o pó químico. A proximidade dos aquecedores de ar deverá ser considerada, quando selecionando a localização de um extintor manual.

Informações adicionais relativas a extintores de incêndio de bordo, do tipo manual, poderão ser obtidas no DAC ou SERAC da região.

Extintores de solo - Tipo Manual

A seleção de extintores para instalação no solo, oficinas, pontos de abastecimento, etc., não é restrito, como os instalados a bordo de aeronaves. A gama de seleção de agentes químicos para os diversos tipos de extintores é mostrada na figura 11-11.(Veja também figuras 11-14 e 11-15.)

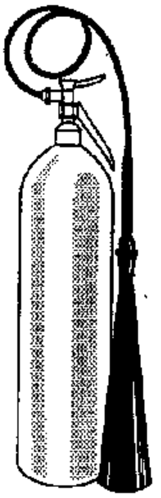


Figura 11-14 Extintor de CO_2.

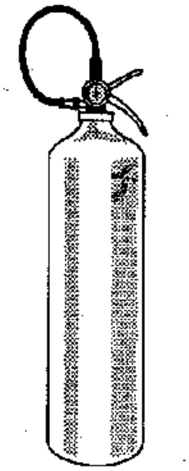


Figura 11-15 Extintor de pó químico.

Métodos de operação de extintores

Eles são convenientemente agrupados de acordo com os meios utilizados para expelir os agentes. Existem seis métodos mais comuns em uso.

1. Geração própria - A atuação causa a geração dos gases que fornecem a energia para expelir o agente.

2. Expelente próprio - Os agentes têm uma pressão de vapor, na temperatura normal de operação, para serem expelidos por eles mesmos.

3. Cartucho ou cilindro de gás - O expelente a gás é confinado sob pressão num recipiente separado do cilindro principal, até que o operador o dispare, pressurizando o agente do cilindro principal para o extintor.

4. Pressão estocada - O material de extinção e o gás expelente são armazenados num único recipiente.

5. Mecanicamente bombeado - O operador consegue energia para expelir o agente por meio de uma bomba, colocada no cilindro, que contém o agente não pressurizado.

6. Extintor manual - O agente é aplicado, despejando com balde ou bomba manual, com o tubo introduzido no balde.

Diversos materiais de extinção de fogo são utilizados por cada um dos meios citados acima.

Extintores de incêndio fora de uso (Ver figuras 11-16 e 11-17)

Existem, entretanto nos dias atuais milhões de extintores de fogo, de um formato que não é mais fabricado, sendo usados.

Eles são extintores líquidos de 5, 10 e 20 litros, do tipo "inverta e use". O último deste tipo foi feito para a capacidade de 10 litros.

Os agentes usados nesses extintores são:

1 - Soda-ácida.
2 - Espuma.
3 - Água com cartucho.
4 - Carregado sob pressão e com cartucho.

As razões que influenciaram para a decisão de não fabricarem mais esses extintores são:

1. Inverter para usar - Dificuldade para o uso devido ao peso, e um método pouco comum de ativação.

2. Limitado para os tipos de fogo para o qual ele tem aplicação. Principalmente fogo "Classe A", muito limitado a aplicação de espumas no fogo "Classe B".

3. Não aprovado para fogo de origem elétrica.

4. Aprovado somente para pequenos incêndios.

5. O recipiente não contém a pressão encontrada nos recipientes padronizados. Este é o mais importante de todos.

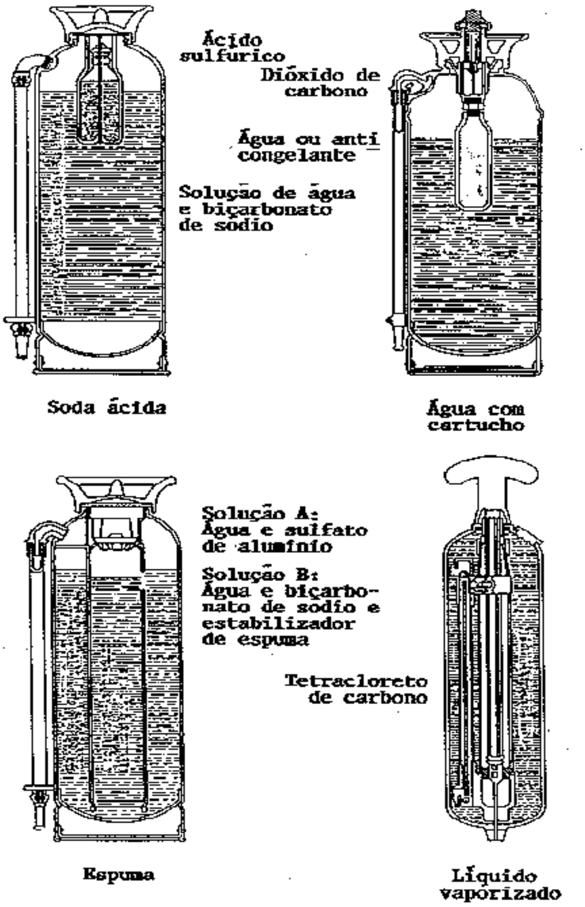

Ácido sulfúrico
Dióxido de carbono
Água ou anti congelante
Solução de água e biçarbonato de sódio
Soda ácida
Água com cartucho
Solução A: Água e sulfato de alumínio
Solução B: Água e biçarbonato de sódio e estabilizador de espuma
Tetracloreto de carbono
Espuma
Líquido vaporizado

Figura 11-16 e 11-17 Extintores de incêndio fora de uso.

Fatores de comparação de segurança

Diversos tipos de extintores, obsoletos, usam uma razão de pressão variável entre 350 até 500 p.s.i. Entretanto, quando esses extintores são invertidos para operarem, as pressões geralmente são prejudicadas, totalmente diferentes das pressões dos outros tipos de cilindros.

As pressões podem variar de 100 a 300 p.s.i. para soda-ácida; e de 100 para 350 p.s.i. para extintores de espuma.

ABASTECIMENTO DE ÓLEO NAS AERONAVES

Os tanques de óleo das aeronaves são normalmente checados ao mesmo tempo em que se abastece com o combustível. Existe uma única exceção para essa regra geral, é quando os fabricantes recomendam que o nível de óleo em certos motores à reação seja checado depois de um tempo da parada do motor.

Em todos os casos, as instruções, do fabricante devem ser seguidas para o especifico tipo da aeronave, não somente para os procedimentos de abastecimento, mas também para o tipo e o grau do óleo a ser usado.

Os tanques de óleo das aeronaves nunca devem ser enchidos até sua capacidade máxima, ou acima da marca de cheio, no instrumento indicador ou na vareta.

Isto é devido a expansão térmica do óleo, quando aquecido, ou em grandes altitudes em que ele se expande.

O espaço extra nos tanques de óleo permite essa expansão e previne o transbordamento.

As especificações do óleo devem ser checadas nas instruções dos fabricantes da aeronave ou motor, e em hipótese alguma devem ser substituídos por um outro óleo não aprovado por eles para o uso.

Quando abastecendo o tanque de óleo, devemos nos certificar que panos de limpeza ou pedaços de estopa, ou outras substâncias estranhas, não penetrem no tanque.

Materiais estranhos no sistema de óleo restringem o fluxo do óleo, e podem causar falha no motor.

O óleo lubrificante não é explosivo, ele é muito difícil de atingir o ponto de ignição em bruto e, não é, normalmente, capaz de uma combustão espontânea. Entretanto se o óleo for inflamado, produzirá um fogo de maior temperatura do que o da gasolina.

O vapor do óleo, contudo, é explosivo quando misturado com o ar em certas proporções. Os vapores de muitos produtos do petróleo são altamente tóxicos quando inalados ou ingeridos. É necessária muita precaução ao manusearmos o óleo lubrificante.

SEGURANÇA NA MANUTENÇÃO

Um bom suprimento no hangar, nas oficinas, e na linha de vôo, é essencial para a segurança e uma manutenção eficiente.

Um alto padrão de sequência de trabalho e limpeza deverão ser observados durante a manutenção da aeronave. Onde serviços continuados com troca de turnos são estabelecidos, o turno que sai, deve conferir e guardar na ferramentaria, suas ferramentas pessoais, caixas rolantes, todos os equipamentos de apoio, todo material de pista, extensões elétricas e caixas, as quais serão supérfluas para o término do serviço.

Faixas de segurança

Faixas para pedestres e locais de extintoes de incêndio devem ser pintados em torno do perímetro interno dos hangares. Devem ser marcadas, também, as faixas para manter os pedestres fora das áreas de trabalho.

Fios de força:

1. Os fios de força devem ser do tipo industrial pesado, os quais estão protegidos para resistir a corrosões e impacto.
2. Os fios de força não devem ser passados sobre qualquer equipamento.
3. As lâmpadas devem ser à prova de explosão.
4. Todas as lâmpadas ou equipamentos deverão ser desligados, para evitar a formação de arco antes de conectar ou desconectar.
5. Os fios de força deverão ser esticados, enrolados e estocados propriamente, quando não estiverem em uso.

O descumprimento das sugestões ou normas acima pode resultar em explosões e incêndios, com perdas de milhões de reais, ou, até mesmo, perda de vidas.

Sistema de ar comprimido

Ar comprimido é idêntico a eletricidade, e um excelente sistema de auxílio quando operado sob controle.

1. Tubos de ar devem ser inspecionados frequentemente quanto a entupimentos, desgastes e rachaduras.
2. Todas as conexões devem ser mantidas sem vazamento.
3. Lubrificadores, se instalados, devem ser mantidos em condições de operação.
4. O sistema deve ter drenos de água instalados, e eles devem ser drenados em intervalos de tempo regulares.
5. O ar usado para pintura com pistola deve ser filtrado para remover óleo e água.

6. Nunca usar o ar comprimido para limpar as mãos ou as roupas. A pressão pode forçar partículas para dentro da pele, causando infecções.
7. Nunca brinque com ar comprimido.
8. As mangueiras de ar comprimido devem ser esticadas e enroladas e, adequadamente, guardadas quando não estiverem em uso.

Poças de óleo e graxa

Óleo, graxa e outras substâncias derramadas no chão do hangar, ou da oficina, devem ser removidas imediatamente, ou cobertas com um material absorvente, para evitar fogo ou danos pessoais.

Devem ser posicionadas bandejas embaixo dos motores sempre que haja algum vazamento. O óleo usado e o fluido de limpeza sujo devem ser estocados em tambores, para posterior recuperação.

Esses líquidos jamais devem ser despejados no ralo do assoalho, pois os vapores desse tipo de lixo podem pegar fogo e causar graves danos à propriedade.

Montagem de pneus de aeronave

Para prevenir possíveis danos pessoais, carrinhos para pneus e outros equipamentos apropriados ao levantamento e montagem, devem ser usados na montagem e remoção de pneus pesados. Durante o enchimento de pneus em rodas equipadas com anéis de travamento, deve-se sempre usar uma "gaiola". Devido à possibilidade de danos pessoais, deve-se ter extrema cautela para evitar uma pressão excessiva em pneus de alta-pressão. Deve-se usar reguladores de pressão adaptados às garrafas de alta pressão, para eliminar a possibilidade de estouro do pneu.

Não é necessário usar a "gaiola" durante a regulagem da pressão dos pneus, instalados na aeronave.

Soldagem

A soldagem só deve ser realizada em áreas designadas para esse fim. Qualquer peça a ser soldada, deve ser removida da aeronave sempre que possível.

O reparo será, então, realizado na oficina de soldagem sob condições de ambiente controladas. Uma oficina de soldagem deve estar equipada com mesas, ventilação, ferramental e equipamentos adequados de prevenção e extinção de incêndios.

A soldagem em uma aeronave deve ser realizada, se possível, em área externa. Se for necessário uma soldagem dentro de hangar, estas precauções devem ser observadas:

1. Não haver tanques de combustível abertos ou qualquer serviço no sistema de combustível em progresso.
2. Nenhuma pintura deve estar sendo feita.
3. Nenhuma aeronave em um raio de 35 pés. - 10 metros.
4. A área ao redor do reparo deve estar limpa.
5. Somente um soldador qualificado pode realizar o trabalho.
6. A área deve ser demarcada e identificada.
7. Um extintor de incêndio tipo 20B deve estar à mão do soldador, e um extintor 80B deve estar nas imediações.
8. Deve haver pessoal qualificado para operar os extintores acima.
9. A aeronave deve estar em condição de ser rebocada com um trator conectado, com freios soltos, com um motorista a postos e com mecânicos disponíveis para auxiliar o reboque. As portas do hangar deverão estar abertas.

ABASTECIMENTO DE SISTEMAS DE OXIGÊNIO DE AERONAVES

Antes de abastecemos qualquer aeronave, consultamos o manual de manutenção específico, para determinar o tipo adequado de equipamento a ser usado. São necessárias duas pessoas para abastecer o sistema de oxigênio gasoso.

Uma pessoa deve operar as válvulas de controle do carrinho de oxigênio, enquanto outra deve ficar em um local de onde possa observar a pressão no sistema da aeronave. É necessária comunicação bilateral para o caso de uma emergência. A aeronave não deve ser abastecida de oxigênio durante o abastecimento de combustível, de destanqueio ou outro serviço de manutenção que possa gerar uma fonte de ignição. O abastecimento de oxigênio deve ser feito fora do hangar.

Os perigos do oxigênio

O oxigênio gasoso é quimicamente estável e não-inflamável, contudo os materiais combustíveis queimam mais rapidamente e mais intensamente em uma atmosfera rica em oxigênio. Além disso, o oxigênio combina-se com óleo, graxa ou materiais betuminosos para formar uma mistura altamente explosiva, sensível a impacto. Danos físicos ou falhas de garrafas, válvulas ou tubulações de oxigênio podem resultar em uma ruptura explosiva, com perigo para a vida e a propriedade. É imperativo que o mais alto grau de organização seja observado no manuseio do oxigênio, e que somente pessoas autorizadas abasteçam a aeronave.

Além de aumentar o risco de incêndio, o oxigênio líquido causa graves queimaduras quando entra em contato com a pele, devido à baixa temperatura (ele ferve a 297º F).

Somente o oxigênio rotulado como "oxigênio para uso aeronáutico", que cumpra a especificação federal BB-O-925a, Tipo A ou equivalente pode ser usado em sistemas de respiração de aeronaves.

ANCORAGEM DE AERONAVES

A ancoragem é uma parte muito importante do manuseio no solo. O tipo de amarração será determinado pelas condições meteorológicas predominantes. Em condições normais usa-se uma amarração limitada ou normal, porém quando houver notificação de tempestades, deve-se utilizar uma amarração especial para àquela condição.

Procedimento normal de ancoragem

Pequenas aeronaves devem ser ancoradas depois de cada vôo para evitar danos, devido a tempestades súbitas. A aeronave deve ser estacionada de frente para o vento predominante.

A direção da aeronave dependerá da localização dos pontos de amarração no pátio de estacionamento.

O espaçamento dos pontos de amarração deverá deixar uma boa folga entre as pontas de asa (figura 11-18). Depois que posicionarmos corretamente a aeronave, calçamos a roda do nariz ou a bequilha, à frente e atrás da(s) roda(s).

Pontos para amarração

Todas as áreas de estacionamento devem ser equipadas para amarrações em 3 pontos. Na maioria dos aeroportos isso é facilitado pela existência de pátios concretados, com a instalação de argolas. Essas argolas ficam niveladas com o piso, ou uma polegada, acima do mesmo. Há diversos tipos de amarrações em uso.

O tipo escolhido dependerá do tipo de material usado na pavimentação do pátio, pois ele pode ser de concreto, asfalto ou não ser pavimentado.

A localização dos pontos é geralmente indicada, ou por marcas pintadas em branco, ou em amarelo, ou circundando o ponto de ancoragem com pedra moída.

As argolas de amarração para pequenos monomotores devem suportar pelo menos 3.000 libras cada. Apesar desse mínimo poder ser atingido através de estacas enfiadas em solo seco, tais estacas se soltarão assim que a terra for molhada em uma chuva torrencial, que geralmente acompanha furacões e algumas tempestades.

Cordas de amarração

Devem ser usadas cordas capazes de suportar pelo menos 3.000 libras de tração, para aeronaves pequenas.

Deve-se usar cabos de aço ou correntes para ancorar aeronaves de grande porte.

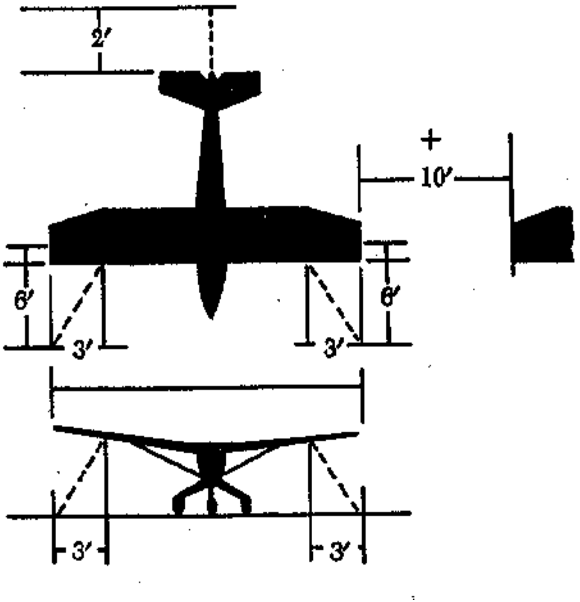


Figura 11-18 Diagrama das dimensões da amarração.

	SISAL	NYLON	DACRPM	POLYPROPYLENE AMARELO		
MEDIDA (POL.)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TORCIDA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TRANÇADA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TORCIDA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TRANÇADA)
3/16	-	960	850	730	800	600
1/4	600	1,500	1,440	980	1,300	1,100
5/16	1,000	2,400	2,200	1,650	1,900	1,375
3/8	1,350	3,400	3,120	2,300	2,750	2,025
7/16	1,750	4,800	4,500	2,900	-	-
1/2	2,650	6,200	5,500	3,800	4,200	3,800
5/8	4,400	10,000	-	-	-	-
3/4	5,400	-	-	-	-	-
1	9,000	-	-	-	-	-

Figura 11-19 Comprovação entre as cordas comuns de amarração.

Cabo de ancoragem

Os cabos de aço são comumente usados, especialmente no caso de grandes aeronaves.

A maioria das amarrações com cabo de aço são feitas com algum tipo de esticador, para uma amarração rápida e segura de todos os tipos de aeronaves.

A figura 11-20 ilustra a operação de um típico esticador de carretel.

No item "A" da figura 11-20 o cabo é solto pressionando-se a manopla de soltura. Uma das pontas do cabo é, então, presa ao ponto de amarração da aeronave, e a outra extremidade é presa em argolas no piso do pátio.

A estrela do esticador ("B" da figura 11-20) é girada no sentido horário para apertar o cabo.

O punho de travamento é fixado à barra, quando o cabo está esticado na tensão desejada ("C" da figura 11-20).

Finalmente, como mostrado no item "D" da figura 11-20, o came de travamento é preso para completar o procedimento de ancoragem.

Correntes de amarração

As correntes são, às vezes, utilizadas como uma amarração melhor e mais forte para prender aeronaves mais pesadas.

Essa ancoragem é composta de um mecanismo de liberação rápida, um esticador e uma corrente com ganchos nas extremidades (Figura 11-21).

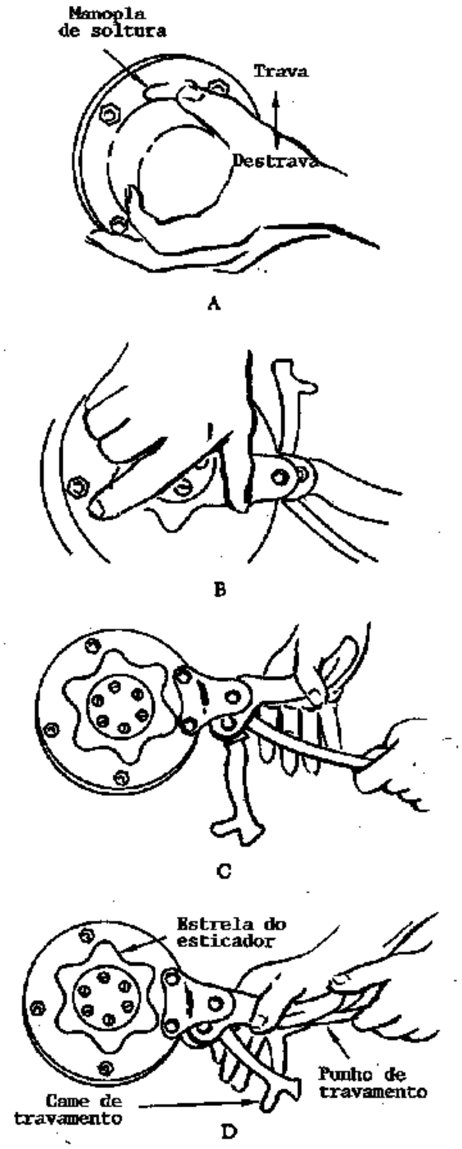


Figura 11-20 Operação de um esticador tipo carretel.

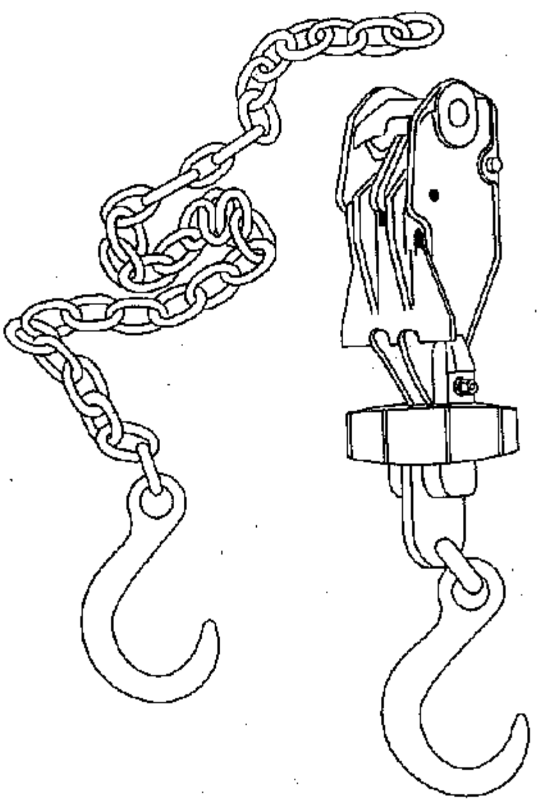


Figura 11-21 Sistema de amarração com corrente.

ANCORAGEM DE AERONAVES LEVES

As aeronaves leves são geralmente ancoradas com cordas, amarradas somente numa argola existente na parte inferior da asa e um ponto fixo no solo. As cordas nunca devem ser amarradas de tal maneira que levante a estrutura, visto que, na prática pode danificar a estrutura se a corda for amarrada muito frouxa. Braceletes de amarração evitam que a corda encolha quando molhada. Mais ou menos 2 cm deve fica aliviado para o movimento da asa. Também deve-se permitir uma oscilação da aeronave que ocasionará trancos pequenos no ponto fixo do solo. Cordas amarradas com muita tensão podem inverter a tensão para a aeronave, danificando-a.

Uma amarração de cordas, para aguentar melhor, depende do tipo de nó que é aplicado.

Nós antiescorregadios, semelhantes ao nó de arco ou nó quadrado, são fáceis de serem aplicados e fáceis de se desfazerem (Figura 11-22). Aeronaves não equipadas com argolas sob as asas deverão ser ancoradas de acordo com as instruções do fabricante.

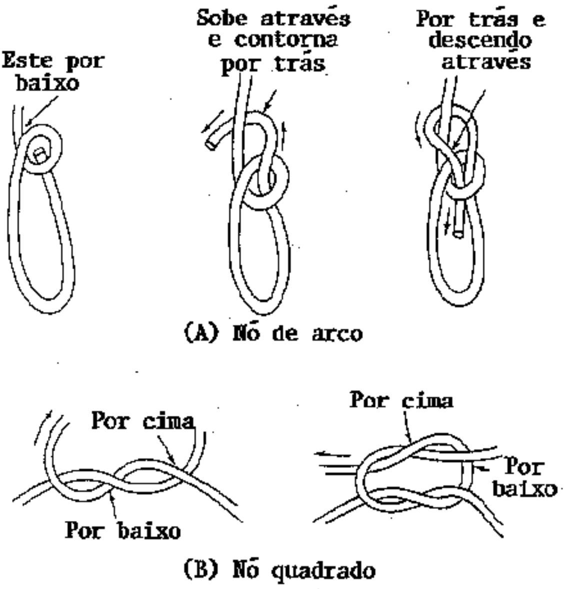


Figura 11-22 Tipos de nós comuns para amarração de aeronaves.

As cordas deverão ser presas nos finais externos dos montantes, nas aeronaves monoplanas de asa alta. Argolas adequadas deverão ser preparadas, quando as condições estruturais permitirem, caso o fabricante não tenha providenciado.

SEGURANÇA DE AERONAVES PESADAS

O procedimento normal de ancoragem para as aeronaves pesadas pode ser executado com cordas ou cabos de ancoragem. O número deles a serem utilizados depende das condições do tempo.

A maioria das aeronaves pesadas são equipadas com travas para as superfícies de controle, as quais deverão ser acopladas ou instaladas quando a aeronave estiver segura.

Uma vez que o método de travamento dos controles varia nos diferentes tipos de aeronaves, as instruções do fabricante para a instalação adequada ou procedimentos de acoplamento devem ser checadas. No caso de previsão de ventos fortes, os quais poderão danificar as superfícies de controle ou os mecanismos de travamento, outros tipos de trava podem ser instalados nas superfícies de comando para evitar danos. A figura 11-23 ilustra quatro pontos de ancoragem nas aeronaves pesadas.

Em geral, os procedimentos normais de ancoragem para aeronaves pesadas, devem incluir o seguinte:

1. O nariz da aeronave direcionado para o vento predominante, sempre que possível.
2. Instalar as travas dos controles, todas as capas e proteções.
3. Calçar na frente e atrás das rodas.
4. Fixar as cordas nos pontos de ancoragem da aeronave e nas argolas do solo ou nas estacas de ancoragem. O uso das estacas é somente temporário. Para ancoragem poderá ser usado cabo de 1/4 de polegada, ou corda de sisal de 1 1/2 de polegada.

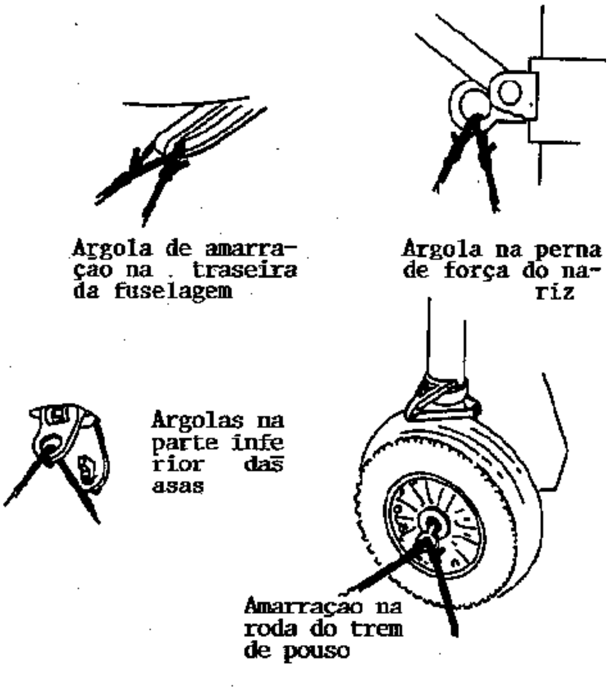

Argola de amarração na traseira da fuselagem
Argola na perna de força do nariz
Argolas na parte inferior das asas
Amarração na roda do trem de pouso

Figura 11-23 Pontos normais de amarração.

ANCORAGEM DE AERONAVES EM CONDIÇÕES DE TEMPESTADES

A cada ano muitas aeronaves são danificadas desnecessariamente, devido à negligência e deficientes procedimentos de ancoragem ao solo.

Uma tempestade ou vendaval pode transformar um estacionamento de aeroporto em um pátio de ferro velho em poucos minutos. Se uma aeronave for danificada durante um vendaval é porque ela estava ancorada de maneira inadequada, ou não estava totalmente amarrada.

Os serviços de meteorologia dos aeroportos informam com relativa antecedência a aproximação de tempestades, devendo as equipes responsáveis pelo serviço, providenciar os equipamentos e os procedimentos de segurança com relação às aeronaves estacionadas.

Precauções contra danos de tempestades

A melhor proteção contra danos causados pelas tempestades é sem dúvida, retirar a aeronave do local, se houver suficiência de tempo. O próximo meio de proteção é proteger a aeronave em um hangar à prova de tempestades ou outro abrigo conveniente. A última alternativa é assegurar uma ancoragem perfeita.

Quando se protege uma aeronave contra tempestades, todas as portas e janelas são trancadas adequadamente para minimizar os danos ao interior da aeronave.

As aberturas dos motores (entrada e escapamento), tanto convencionais como à turbina, deverão ser cobertos para evitar a entrada de matérias estranhas. Os tubos pitot-estático deverão também ser cobertos para evitar danos.

Preparar-se sempre para as piores condições de tempo; por exemplo, chuva muito forte, rajadas de vento com intermitentes torrentes de água através da pista, estacionamento e outras áreas, estando, provavelmente sem apoio disponível no hangar.

Com semelhantes condições em mente, a equipe responsável pelo serviço deverá planejar com antecedência, a familiarização com as instruções dos fabricantes das aeronaves presentes, no que se refere a: (1) cordas de ancoragem; (2) instalação de anéis de amarração para a fixação das cordas de ancoragem; (3) segurança de aeronave com roda de nariz contra aeronave com bequilha; (4) peso das aeronaves e velocidade relativa do vento, que deverão alterar os procedimentos necessários à ancoragem durante as emergências.

As sugestões a seguir, reduzirão muito os danos materiais das aeronaves durante os vendavais:

1. Aeronaves parcialmente desmontadas, que estejam fora de abrigo (particularmente aeronaves leves, com motores removidos) deverão ser recolhidas ao hangar, tão logo seja recebido o aviso do temporal. Asas soltas nunca deverão ser amarradas contra a fuselagem; elas deverão ser estocadas dentro do hangar.

2. Sempre que for possível, levar a aeronave para uma localidade fora da zona perigosa. Se for impossível, recolher a aeronave em um hangar à prova de temporal.

3. Manter a mínima tensão recomendada para as cordas de ancoragem.
4. Uma fileira simples, de sacos de areia devidamente amarrados, ou uma prancha como "spoiler" (de 2" x 2') na parte superior do bordo de ataque da asa, atuará como um eliminador de sustentação da asa. As asas com os sacos de areia não deverão ser sobrecarregadas. Se os ventos esperados forem com maior valor que a velocidade de decolagem da aeronave, os sacos de areia ou o pranchão ("*spoler*"), deverão ocupar toda a extensão das asas.

Um outro processo de ancoragem de aeronaves leves (de vários tipos e tamanhos) é a utilização de contínuas extensões de corda, passadas através de olhais presos aos pontos de ancoragem do solo (figuras 11-24 e 11-25).

Correntes de amarração são fixadas às cordas com olhais presos aos pontos de ancoragem do solo (figuras 11-24 e 11-25).

Correntes de amarração são fixadas às cordas com olhais galvanizados. Isto permite que as correntes deslizem ao longo das cordas, permitindo uma distância variável entre os pontos de ancoragem, para que uma variedade de aeronaves possa usar uma amarração vertical, economizando espaço.

A ancoragem vertical reduz significativamente a carga de impacto que pode ocorrer durante as condições de vento de rajada muito forte. A distância entre as cordas dependerá dos tipos de aeronaves que usarão os pontos de ancoragem da área.

O diagrama na figura 11-25 apresenta uma adequada ancoragem vertical usando o sistema de corda de ancoragem, ligada à asa da aeronave por uma corrente.

Uma argola da ponta livre da corrente é passada então por um dos elos da parte esticada, e um tipo de presilha de segurança mantém a argola presa. Alguma carga na corrente é suportada por ela mesma, em vez da presilha.

Segurança de aeronaves multimotoras

Uma aeronave multimotora requer ancoragens resistentes, devido ao peso adicional dessas aeronaves. A amarração deve ser capaz de suportar uma força de 4.000 libras para cada ponto das aeronaves leves, bimotoras do tipo executivo.

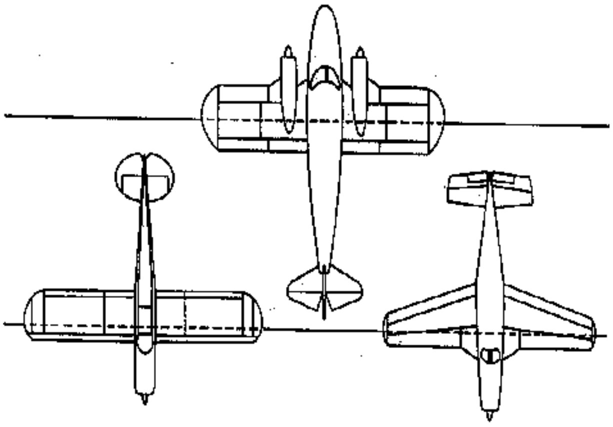


Figura 11-24 Sistema típico de amarração com cabos.

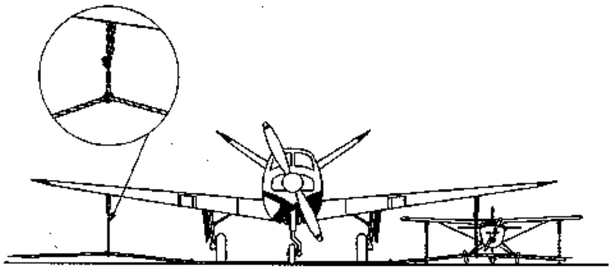


Figura 11-25 Amarração com cabos em ancoragem vertical.

Muito maior capacidade de carga é requerida para as pesadas aeronaves de transporte.

Não depende do peso, das aeronaves multimotoras, para se protegerem de danos causados pelas tempestades. Isso é possível acontecer quando um repentino e severo vendaval movimentar, danificar ou virar a aeronave.

As aeronaves multimotoras deverão, portanto, sempre estar ancoradas e com calços, quando forem permanecer estacionadas por algum espaço de tempo. Travas de comando deverão ser usadas para proteger as superfícies móveis. Se o trem de pouso usar pinos, estes deverão estar colocados enquanto a aeronave estiver estacionada.

Segurança de helicópteros

Danos estruturais poderão ocorrer, causados por ventos de superfície de alta velocidade. Portanto, se possível, os helicópteros deverão ser removidos para uma área segura se tornados ou furacões forem esperados.

Quando possível, os helicópteros deverão ser protegidos em hangares, se não, eles deverão ser ancorados seguramente. Helicópteros que estejam bem ancorados poderão suportar, normalmente, ventos de aproximadamente 65 m.p.h.

Como proteção adicional, os helicópteros deverão ser levados para uma área livre, de modo que não sejam danificados por objetos jogados pelo vento ou galhos de árvores próximas.

Se houver previsão de ventos fortes, com o helicóptero estacionado em campo aberto, os rotores principais deverão ser amarrados. As instruções detalhadas para a segurança e ancoragem de cada tipo de helicóptero podem ser obtidas no aplicável manual de manutenção.

Os métodos de segurança de helicópteros variam com as condições do tempo, o espaço de tempo que a aeronave deverá permanecer no solo, a localização e as características da aeronave.

Para a segurança de helicópteros são usados calços nas rodas, travas nos comandos, cordas para ancoragem, capas, amarrações de pás, conjuntos de ancoragem, freios de estacionamento e freios do rotor.

Os procedimentos típicos de segurança são os seguintes:

1. O nariz do helicóptero deverá estar voltado para a direção da qual está prevista a chegada do vento.
2. Localizar o helicóptero com um pouco mais de distância, do que a envergadura ou diâmetro do rotor principal, de outras aeronaves.
3. Colocar calços, quando aplicável, na frente e atrás de todas as rodas. Em helicópteros equipados com esquis, recolher as rodas de reboque, apoiar o helicóptero nos esquis e instalar os pinos de trava das rodas.
4. Instalar o dispositivo de amarração na ponta da pá (figura 11-26), e alinhar a pá com o cone de cauda. Prender as tiras de amarração, sob os tubos estruturais do cone. Apertar as tiras firmemente, porém sem excesso. Durante um período chuvoso, permitir alguma folga para evitar a possibilidade das tiras ficarem muito apertadas.
5. Atar as cordas ou cabos de ancoragem, para a frente e para trás, nos tubos atravessados do trem de pouso, prendendo-os ao solo em estacas ou argolas de amarração.

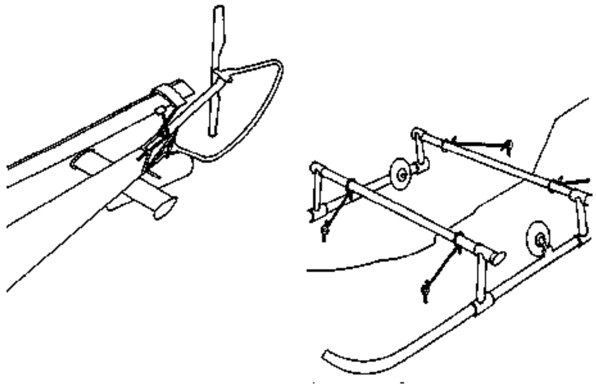


Figura 11-26 Amarração de helicópteros.

Segurança de hidroaviões e de aeronaves com esqui

Aeronaves montadas em flutuadores ou esquis deverão ser mantidas seguras, amarrando-as em âncoras ou pesos submersos na água ou no gelo.

Quando for recebido um aviso de uma iminente tempestade, e não for possível voar a aeronave para fora da área de perigo, alguns compartimentos do hidroavião poderão ser inundados, aumentando seu peso.

Além disso, a aeronave deverá ser bem presa às âncoras. Hidroaviões ancorados ao solo têm menos possibilidade de danos, se os flutuadores forem abastecidos com água, além da amarração usual. Aeronaves equipadas com esquis, algumas vezes são protegidas pelos operadores, formando blocos de neve macia em torno dos esquis para congelá-los, prendendo-os ao solo. Esse procedimento, além da amarração usual, auxilia na prevenção de danos em tempestades.

MOVIMENTAÇÃO DA AERONAVE

Generalidades

O movimento de uma grande aeronave no aeroporto, entre a linha de vôo e o hangar, é normalmente executado por um trator rebocador (algumas vezes chamado de "mula"). No caso de pequenas aeronaves, a maioria é movimentada pela mão, sendo empurrada em certas áreas da superfície da aeronave.

A aeronave poderá também ser taxiada de um lado para o outro da linha de vôo, mas somente por pessoas qualificadas.

Reboque de aeronaves

Rebocar uma aeronave pode ser uma operação perigosa, causando danos à aeronave e às pessoas, se for feita descuidadamente. Os parágrafos seguintes contêm os procedimentos gerais para rebocar uma aeronave; mas as instruções específicas para cada modelo de aeronave são detalhadas nas instruções de manutenção do fabricante, que deverão ser seguidas em todas as operações.

Antes de movimentar a aeronave que vai ser rebocada, uma pessoa qualificada deverá estar na cabine, para operar os freios no caso de falha do garfo de reboque, ou no caso de soltar-se do trator. A aeronave poderá então ser parada, evitando possíveis danos.

Alguns tipos de garfos de reboque disponíveis para uso geral (figura 11-27), podem ser usados para vários tipos de operações de reboque. Esses garfos são projetados com suficiente resistência à tensão para puxar a maioria das aeronaves, mas não têm como objetivo se sujeitarem a cargas de torção. Embora a maioria dos garfos tenha rodinhas que permitem que eles sejam puxados pelo trator até o local de onde sairá a aeronave, os garfos sofrerão menos danos e desgaste se forem carregados e não arrastados pelo trator até a aeronave.

Quando o garfo estiver conectado na aeronave, todos os mecanismos de engrazamento deverão ser inspecionados quanto a danos ou mal funcionamento, antes de movimentar a aeronave.

Alguns garfos de reboque são projetados para rebocar vários tipos de aeronaves; porém outros tipos especiais só podem ser usados em particulares tipos de aeronaves.

Esses garfos são normalmente projetados e fornecidos pelo fabricante da aeronave.

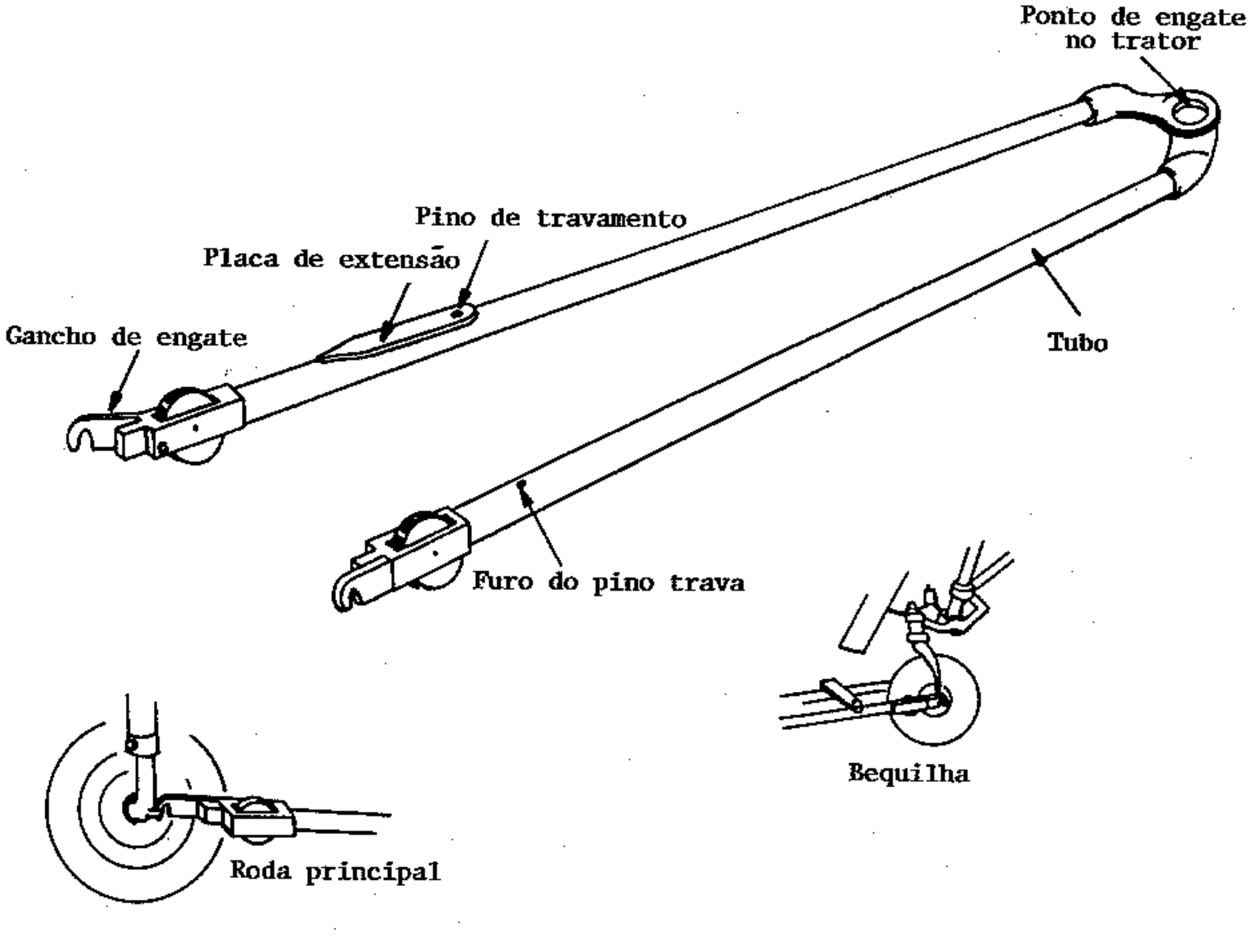


Figura 11-27 Garfo de reboque de aeronaves.

Quando rebocando a aeronave, o trator rebocador deverá manter uma velocidade moderada, e todas as pessoas envolvidas na operação deverão permanecer em alerta todo o tempo.

Quando a aeronave estiver parada, os freios do trator apenas não devem ser confiáveis em parar a aeronave. O homem na cabine deverá coordenar o uso do freio da aeronave com o do trator. Um trator típico é mostrado na figura 11-28.

A fixação do garfo de reboque varia de acordo com os diferentes tipos de aeronaves. Aeronaves equipadas com bequilhas são geralmente rebocadas pela frente, conectando o garfo em argolas próprias para o reboque, existentes nas pernas de força principais. Na maioria dos casos é permitido rebocar a aeronave de costas, conectando o garfo no eixo da bequilha. Algumas vezes quando uma aeronave equipada com bequilha é rebocada, esta deve ser destravada, ou o mecanismo de trava será danificado ou quebrado.

Aeronaves equipadas com trem de pouso, do tipo triciclo, geralmente são rebocadas pela parte dianteira, conectando um garfo de reboque no eixo da roda do nariz. Elas podem também ser rebocadas para frente ou para trás, conectando-se cabos de reboque ou mesmo garfos especialmente projetados para serem conectados nas argolas de reboque, nas pernas de força principais do trem de pouso.

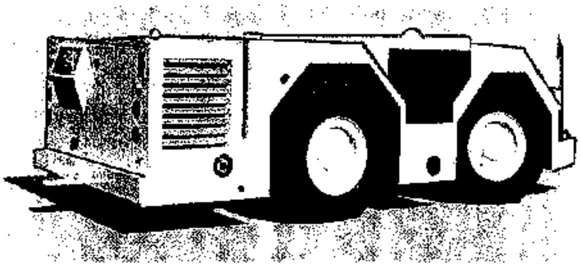


Figura 11-28 Trator de reboque.

Quando uma aeronave estiver sendo rebocada dessa maneira, um garfo de reboque deverá ser fixado na perna de força do nariz para direcionar a aeronave.

Os procedimentos a seguir, de reboque e estacionamento, são típicos de um tipo de operação. Eles são apenas exemplos, e não são necessariamente para todo tipo de operação. O pessoal de manuseio de aeronaves no solo deverá estar familiarizado com os todos o procedimentos pertinentes ao tipo de aeronave que está sendo rebocada, e aos padrões de operação do local em que a aeronave está sendo local em que a aeronave está sendo manejada. Somente pessoas competentes e propriamente checadas devem dirigir uma equipe de reboque de aeronave.

1. O motorista do veículo rebocador é responsável pela operação do seu veículo de uma maneira segura e, obedecendo as instruções, dadas por algum membro da equipe, de parada em emergência.

2. A pessoa em comando deverá nomear dois membros da equipe como controladores das asas, eles deverão permanecer um em cada ponto da asa, em tal posição que possam assegurar adequada distância, de alguma obstrução no caminho da aeronave. Um controlador de cauda deverá ser escalado, quando curvas acentuadas tiverem que ser executadas, ou quando a aeronave tiver que ser recuada.

3. Uma pessoa qualificada deverá ocupar o assento do piloto, da aeronave rebocada, para observar e operar os freios, quando requerido. Quando necessário, uma outra pessoa deverá ser escalada para vigiar e manter a pressão do sistema hidráulico da aeronave.

4. A pessoa em comando da operação de reboque deverá verificar que, em uma aeronave com um sistema de direção da roda do nariz, a tesoura de travamento deverá estar selecionada para o curso total em reboque.

   O mecanismo de travamento deverá ser reestabelecido após a remoção do garfo de reboque.

   Pessoas envolvidas com a aeronave não deverão tentar acionar a direção da roda do nariz, ou direcionar a própria roda, quando o garfo de reboque estiver conectado na aeronave.

5. Sob circunstância nenhuma deverá ser permitido a qualquer pessoa andar ou ser transportada entre a roda do nariz da aeronave e o veículo rebocador, nem viajar na parte externa de uma aeronave em movimento, ou no veículo rebocador.

   No interesse da segurança, nenhuma tentativa de embarcar ou de saltar de uma aeronave em movimento, ou de um veículo rebocador, deverá ser permitido.

6. A velocidade de reboque de uma aeronave não deverá exceder a dos membros da equipe que controlam a segurança da aeronave andando ao seu lado.

   Os motores da aeronave, normalmente não são operados, quando a aeronave estiver sendo rebocada.

7. O sistema de freio da aeronave deverá ser carregado antes de cada operação de reboque. Aeronave com falha de freios deverá ser rebocada somente para os reparos do sistema de freios, em tal caso, somente com pessoal de sobreaviso, com calços para uso em emergência.

   Os calços devem estar disponíveis imediatamente, no caso de uma emergência, durante qualquer operação de reboque.
8. Para evitar possíveis danos pessoais e prejuízos materiais para a aeronave durante as operações de reboque, as portas de entrada deverão estar fechadas, as escadas recolhidas e as travas do sistema de retração do trem instaladas.

9. Antes de rebocar alguma aeronave, checar todos os pneus e amortecedores do trem de pouso por inflação adequada. A inflação dos amortecedores do trem de pouso de uma aeronave em revisão geral e estocagem não devem ser considerados.

10. Quando movimentando uma aeronave, não andar e parar repentinamente. Para uma segurança adicional, os freios da aeronave nunca devem ser aplicados durante o reboque, exceto em emergências, e nesse caso, somente pelo comando de um dos membros da equipe de reboque.

11. A aeronave deverá ser estacionada somente em áreas específicas. Geralmente a distância entre as fileiras de aeronaves estacionadas deverá ser grande o suficiente para permitir imediato acesso dos veículos de emergência no caso de fogo, bem como livre movimento de equipamentos e de materiais.

12. Os calços das rodas deverão ser colocados à frente e atrás das rodas das pernas de força principais de uma aeronave estacionada.

13. As travas internas e as externas dos controles (travas contra vento ou blocos) deverão ser usadas enquanto a aeronave estiver estacionada.

14. Antes de qualquer movimento da aeronave para cruzar pistas de decolagem ou de táxi, comunicar com a torre de controle, na frequência apropriada, para a liberação dos procedimentos.

15. Uma aeronave não deverá ser estacionada em um hangar, sem que seja imediatamente ligada à terra estaticamente.

Taxiando a aeronave

Como regra geral, somente pilotos com licença, e mecânicos habilitados em célula e grupo motopropulsor, são autorizados a dar partida, fazer teste de motores e taxiar aeronaves

LUZES	SIGNIFICADO
Verde piscando	Livre para o táxi
Vermelha fixa	Pare
Vermelha piscando	Livre o táxi da pista em uso
branca piscando	Retorne ao ponto de partida
Vermelha alternando com verde	Tenha extremo cuidado

Figura 11-29 Sinais padrão para o táxi.

. Todas as operações deverão ser executadas de acordo com os aplicáveis regulamentos locais. A figura 11-29 contém os sinais luminosos de táxi padronizados, usados pelas torres para autorizar e controlar o táxi das aeronaves.

A seção seguinte, "sinais de táxi", refere-se às instruções detalhadas de todos os sinais, e as instruções relativas às operações de táxi.

Sinais de táxi

Muitos acidentes de solo têm ocorrido como resultado de técnica inadequada nas operações de táxi de aeronaves. Embora o piloto seja fundamentalmente responsável pela aeronave até que o motor seja desligado, um sinaleiro de táxi pode assistí-lo em torno da linha de vôo. Em alguns tipos de aeronaves, a visão do piloto é obstruída, enquanto ele está no solo. Ele não pode ver obstáculos próximos das rodas nem sob as asas, e tem uma pequena idéia do que está por trás dele. Consequentemente, ele depende do sinaleiro de táxi para direcionar-se.

A figura 11-30 mostra um sinaleiro indicando sua prontidão em assumir a direção da aeronave, estendendo ambos os braços em toda extensão sobre sua cabeça, com as palmas voltada uma para a outra.

A posição padrão para um sinaleiro é ligeiramente à frente e em linha com a ponta da asa esquerda da aeronave. Quando o sinaleiro olha para a aeronave, o nariz da aeronave está a sua esquerda (figura 11-31).

O sinaleiro deve ficar afastado o bastante à frente da ponta da asa para que o piloto possa vê-lo facilmente, e deverá seguir um teste à prova de enganos para certificar-se de que o piloto está vendo sua sinalização.

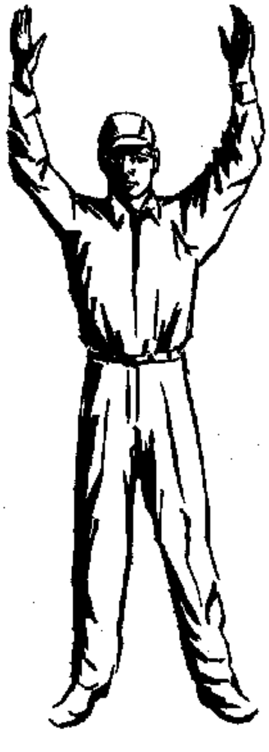


Figura 11-30 Sinaleiro.

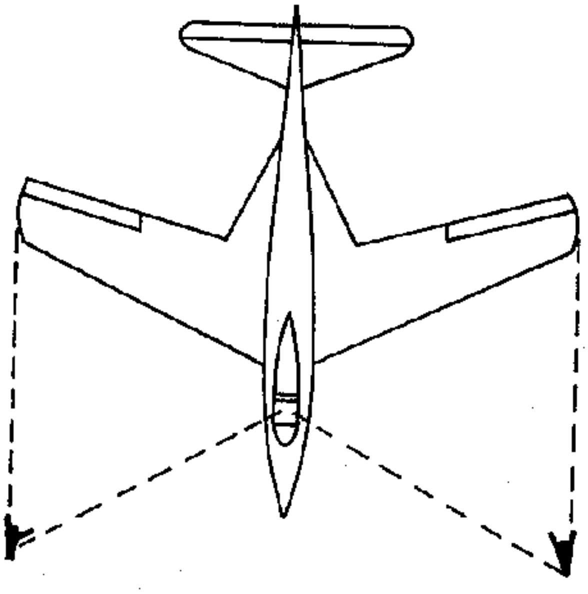


Figura 11-31 Posição dos sinaleiros.

A figura 11-32 apresenta os sinais padronizados para aeronaves em táxi, publicados no Manual de Informação dos tripulantes pela F.A.A. Deverá ser enfatizado que existem outros sinais padronizados, semelhantes aos publicados pelas Forças Armadas. Adicionalmente, as condições de operação em muitas áreas podem determinar uma série de modificações dos sinais de táxi.

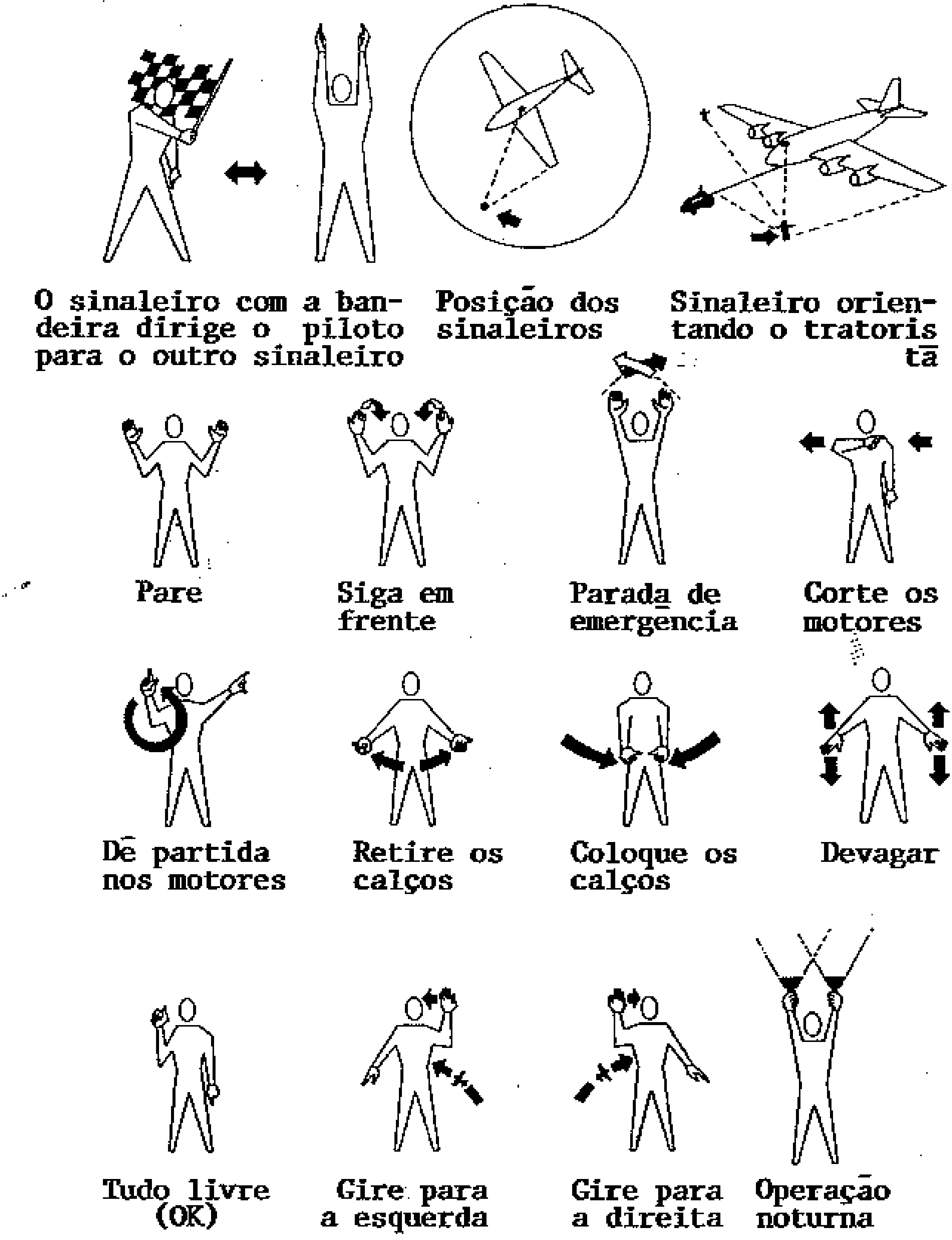
Os sinais mostrados na figura 11-32, representam um número mínimo dos mais comuns sinais usados. Se este conjunto de sinais ou um conjunto modificado for usado, não é considerado de muita importância, desde que o Centro Operacional de Vôo utilize um conveniente e adequado conjunto de sinais.

A figura 11-33 ilustra alguns dos mais comuns sinais usados nas operações com helicópteros.

Os sinais das operações de táxi, para serem usados, deverão ser estudados até que o sinalizador possa executá-los claramente e com precisão.

Os sinais devem ser transmitidos de tal maneira, que o piloto não se confunda com o seu significado. O que deve ser lembrado, é que o piloto está recebendo os sinais, sempre de alguma distância, e terá, muitas vezes, que olhar para fora e para baixo de um ângulo difícil.

Então, o sinaleiro deverá manter suas mãos bem afastadas, e os sinais deverão ser feitos de modo exagerado, para não correr o risco de não serem identificados.



O sinaleiro com a bandeira dirige o piloto para o outro sinaleiro

Posição dos sinaleiros

Sinaleiro orientando o tratorista

Pare

Siga em frente

Parada de emergencia

Corte os motores

Dê partida nos motores

Retire os calços

Coloque os calços

Devagar

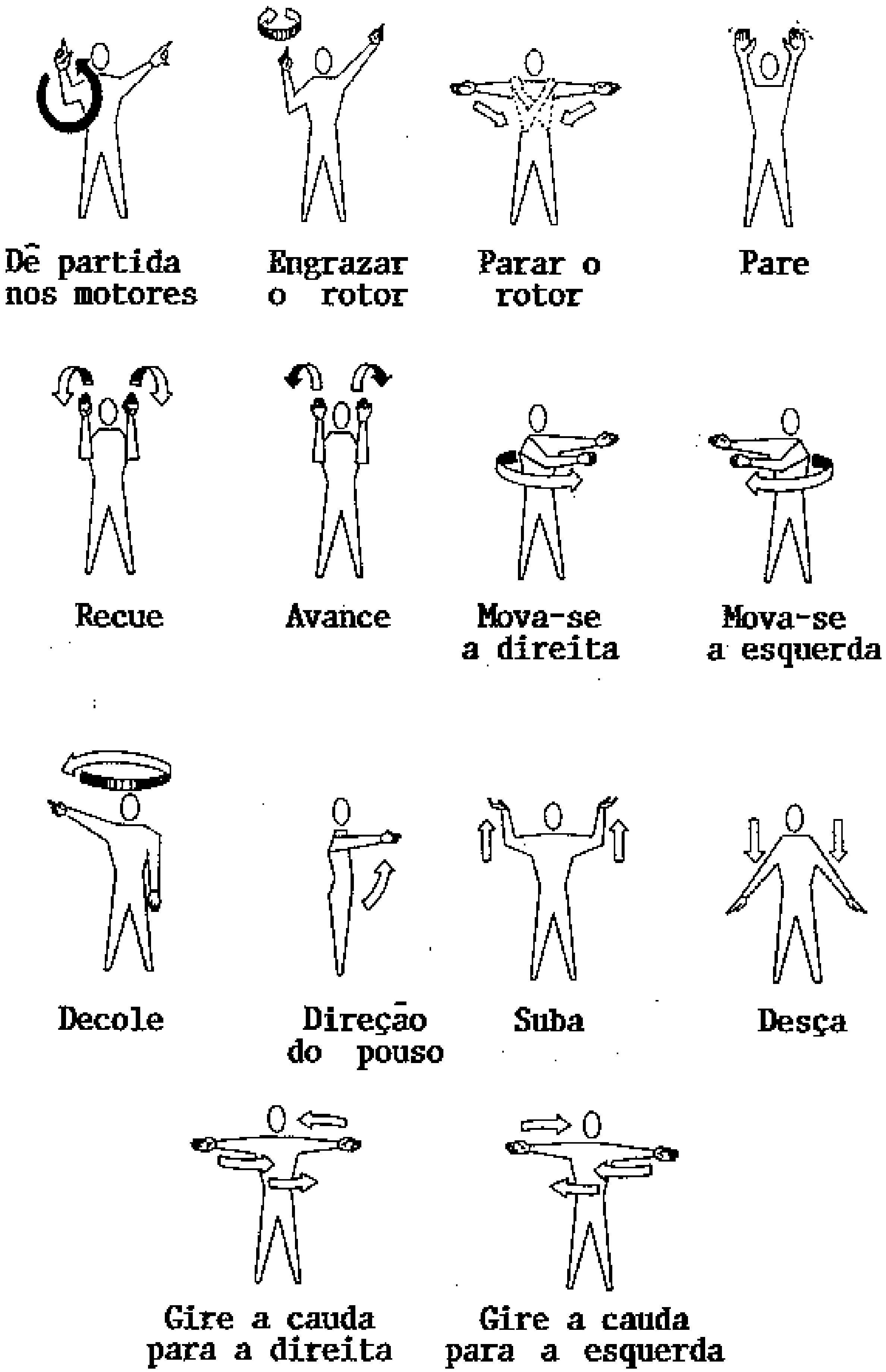
Tudo livre (OK)

Gire para a esquerda

Gire para a direita

Operação noturna

Figura 11-32 Sinais padronizados para aeronaves em táxi.



Dê partida nos motores

Engrazar o rotor

Parar o rotor

Pare

Recue

Avance

Mova-se a direita

Mova-se a esquerda

Decole

Direção do pouso

Suba

Desça

Gire a cauda para a direita

Gire a cauda para a esquerda

Figura 11-33 Sinais comuns em operações de helicópteros.

Se houver dúvida sobre um sinal, ou se o piloto não o estiver seguindo, o sinal de "pare" deverá ser usado e a série de sinais ser iniciada novamente.

O sinaleiro deverá sempre esforçar-se para fornecer ao piloto uma indicação da área aproximada, na qual a aeronave deverá estacionar.

O sinaleiro deverá, de relance, olhar à sua retaguarda, freqüentemente, quando andando de costas, para evitar acidentes com hélices, calços, extintores de incêndio, dispositivos de amarração ou outros obstáculos.

Os sinais de táxi à noite são, usualmente, dados com o auxílio de tubos iluminados, presos a lanternas (figura 11-34).

Os sinais noturnos são feitos da mesma maneira que os diurnos com excessão do sinal de "pare". Esse sinal usado à noite é o de "parada de emergência". Ele é feito pelo cruzamento das lanternas (com a extensão de tubos) formando um "X" à frente da cabeça.

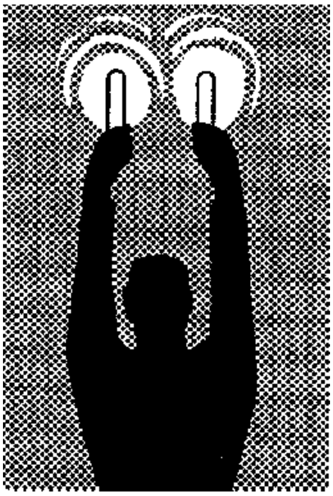


Figura 11-34 Sinais noturnos.

LEVANTAMENTO DA AERONAVE NOS MACACOS

O mecânico de aviação deve estar familiarizado com o levantamento de aeronaves nos macacos, com a finalidade de executar serviços de manutenção e inspeção. Como os procedimentos e precauções de segurança variam para os diferentes tipos de aeronaves, somente os procedimentos gerais de levantamento serão discutidos. Consultamos as instruções de manutenção do fabricante da aeronave, aplicáveis aos procedimentos específicos da utilização de macacos.

Grandes avarias nas aeronaves e danos pessoais têm resultado da falta de cuidado, ou procedimentos inadequados na utilização de macacos. Como medida de segurança adicional, os macacos deverão ser inspecionados antes do uso, para determinar a capacidade específica de levantamento, o funcionamento adequado das travas de segurança, condição dos pinos, e capacidade de trabalho em geral. Antes de levantar uma aeronave nos macacos, todas as bancadas e outros equipamentos deverão ser removidos de baixo e das proximidades da aeronave. Ninguém deverá permanecer na aeronave enquanto ela estiver sendo levantada ou abaixada, a menos que os procedimentos do manual de manutenção exijam um observador para os instrumentos de nivelamento na aeronave.

A aeronave a ser levantada deverá ser colocada em uma posição nivelada, bem protegida do vento. Um hangar deverá ser usado, se possível. As instruções de manutenção do fabricante, para a aeronave que está sendo levantada, deverão ser consultadas para a localização dos pontos de levantamento. Esses pontos, são localizados normalmente em relação ao centro de gravidade da aeronave, para que ela fique equilibrada quando suspensa nos macacos. Porém existem algumas excessões quanto a isso. Em algumas aeronaves pode ser necessário adicionar pesos no nariz ou na cauda da aeronave para conseguir um equilíbrio seguro. Normalmente são usados sacos de areia para essa finalidade.

Macacos semelhantes ao mostrado na figura 11-35 (tripé), são usados quando a aeronave completa tiver que ser levantada.

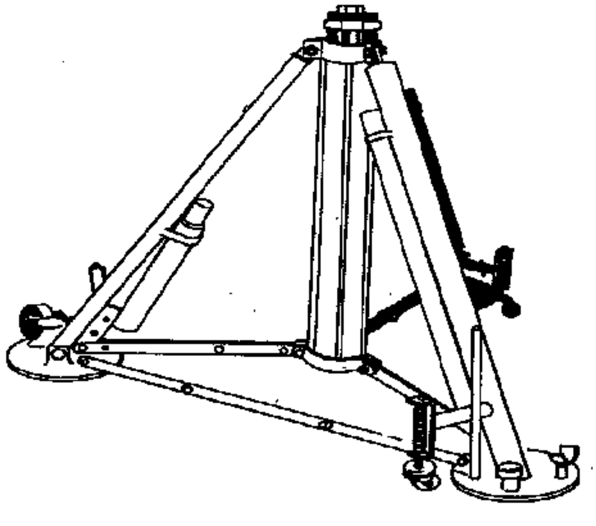


Figura 11-35 Macaco para levantamento de aeronave completa.

Um macaco pequeno, de base simples, semelhante ao mostrado na figura 11-36 é usado quando somente uma das rodas tiver que ser levantada. Os macacos usados para levantar aeronaves devem ser mantidos em boas condições; um macaco com vazamento, ou danificado, nunca deverá ser usado. Também, cada macaco tem uma capacidade máxima, a qual nunca deverá ser excedida.

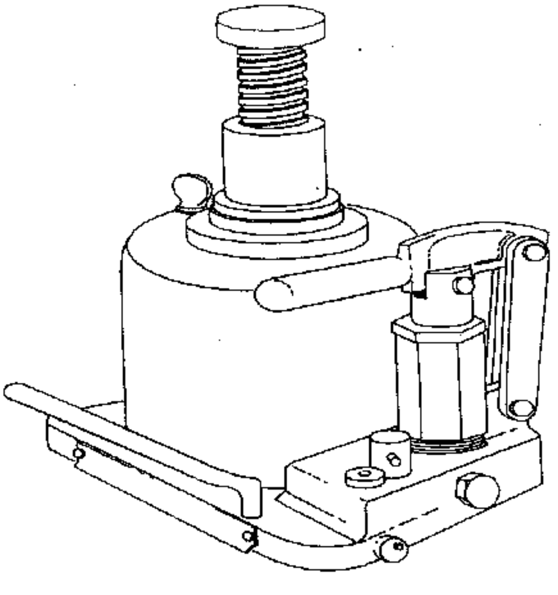


Figura 11-36 Macaco para levantamento apenas de uma roda.

Levantando a aeronave completa

Antes de levantar uma aeronave, um estudo em toda a extensão, da completa situação, deverá ser feito para determinar se existe algum perigo para a aeronave ou para o pessoal envolvido. Macacos do tipo tripé, de tamanho apropriado para a aeronave que será suspensa, deverão ser colocados sob os pontos de levantamento da aeronave e, perfeitamente centralizados, para evitar que eles se desequilibrem quando a aeronave for suspensa. As pernas dos macacos deverão ser checadas quanto a possíveis interferências com as operações que serão executadas, após o levantamento da aeronave, como por exemplo, a retração do trem de pouso.

Pelo menos três lugares ou pontos estão preparados na aeronave para a finalidade de levantamento em macacos; um quarto local em algumas aeronaves é usado para estabilizar a aeronave enquanto ela estiver sendo levantada pelos outros três pontos. Os dois locais principais são nas asas, e o terceiro de menor tamanho, na fuselagem, próximo da cauda ou do nariz, dependendo do tipo de configuração do trem de pouso.

A maioria das aeronaves tem apoios para os macacos localizados nos pontos de suspensão. Algumas têm apoios removíveis, que são inseridos em receptáculos aparafusados no lugar, antes da suspensão. O correto apoio deverá ser usado em todos os casos. A função do apoio é assegurar que a carga da aeronave esteja distribuída adequadamente nos pontos de levantamento; e, para proporcionar uma superfície de apoio convexo para ecaixar-se com a parte côncava do macaco. A figura 11-37 ilustra dois tipos de apoios para macacos.

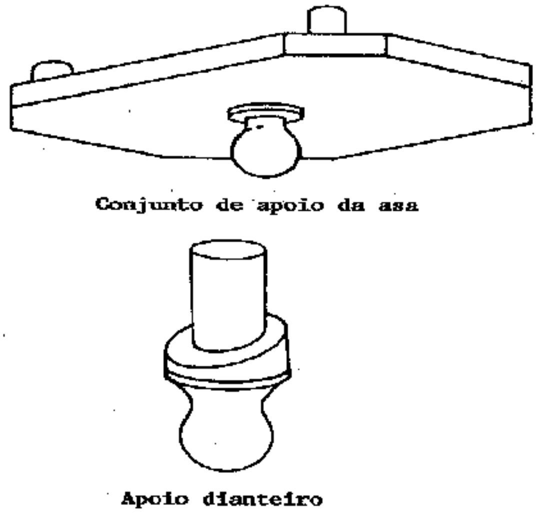


Figura 11-37 Apoios para macacos.

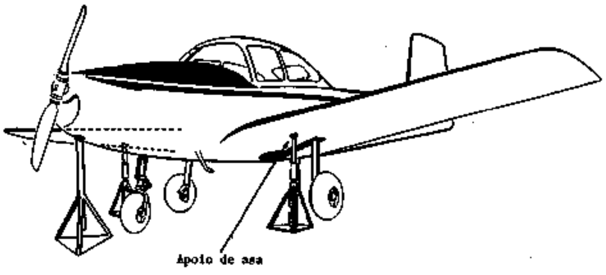


Figura 11-38 Aeronave sobre macacos.

Antes do levantamento nos macacos, determinamos se a configuração da aeronave permitirá o levantamento. Pode ser um equipamento ou algum combustível que tenha que ser removido, se sérios danos estruturais forem esperados durante o levantamento.

Se algum outro trabalho estiver sendo realizado na aeronave, nos certificamos se algum painel crítico terá que ser removido. Em algumas aeronaves os painéis de esforço, ou placas, devem estar em seus lugares, quando a aeronave for levantada para evitar danos estruturais.

Estendemos os macacos até que eles encostem nos seus apoios. Um cheque final, quanto ao alinhamento dos macacos, deverá ser feito antes do levantamento, porque a maioria dos acidentes durante o levantamento são causados pelo desalinhamento dos macacos.

Quando a aeronave estiver pronta para ser levantada, uma pessoa deverá ficar estacionada em cada macaco. Os macacos deverão ser operados simultaneamente para manter a aeronave tão nivelada quanto possível, e para evitar uma sobrecarga em qualquer um dos macacos. Isso pode ser conseguido, mantendo o líder da equipe na frente da aeronave, dando as instruções aos operadores dos macacos. A figura 11-38 mostra uma aeronave sobre macacos.

Muito cuidado deve ser tomado, porque em alguns macacos o pistão pode ser levantado além do ponto de segurança; portanto nunca levantamos uma aeronave mais do que o necessário para a execução de um serviço.

A área em torno da aeronave deverá ser mantida em segurança enquanto ela estiver sobre os macacos. A subida de alguém na aeronave deve ser mantida em um mínimo absoluto, e nenhum movimento brusco deverá ser feito pelas pessoas que estão a bordo. Alguns cavaletes ou suportes necessários deverão ser colocados sob a fuselagem ou asas da aeronave tão cedo quanto for possível, particularmente se a aeronave for permanecer nos macacos por um longo tempo.

Nos macacos equipados com porcas de travamento, estas devem ser mantidas entre as duas roscas do tubo levantador durante o levantamento, e apertadas para baixo firmemente no cilindro após completado o levantamento, para evitar o abaixamento.

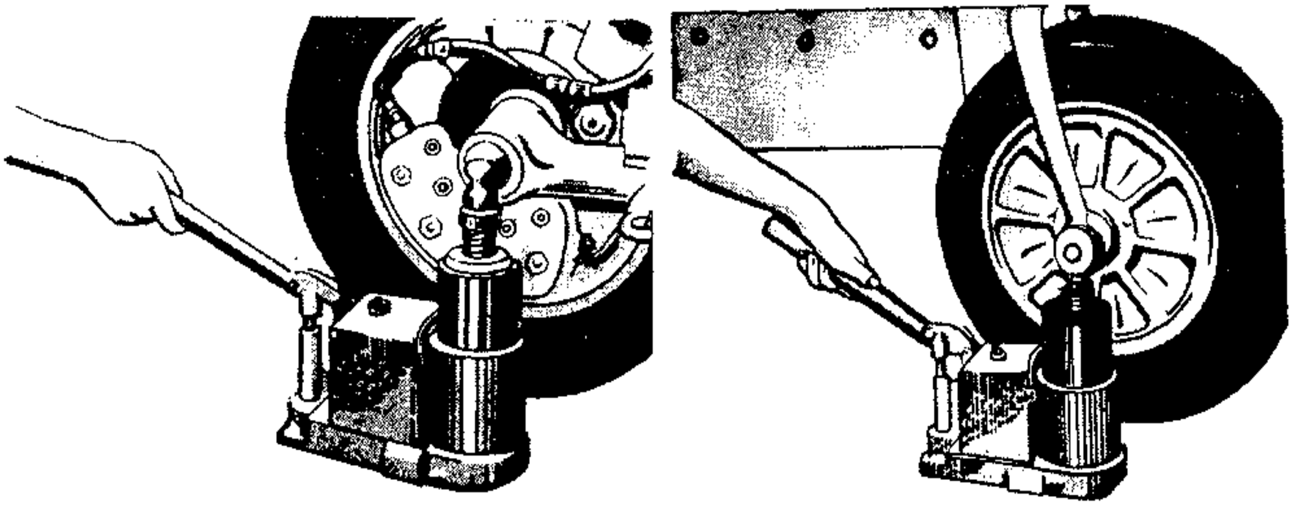
Antes de aliviar a pressão do macaco para o abaixamento da aeronave, nos certificamos de que todos os cavaletes, bancadas, equipamentos e pessoas estão fora do alcance da aeronave, que o trem de pouso esteja baixado e travado, e que todas as travas de solo estejam propriamente instalados.

Levantando apenas uma das rodas da aeronave

Quando apenas uma das rodas tiver que ser levantada para a troca de pneus ou lubrificação de rolamentos, um pequeno macaco de base simples deve ser usado. Antes que a roda seja levantada, as outras rodas deverão ser calçadas na frente e atrás, para evitar que a aeronave se movimente.

Se a aeronave for equipada com bequilha (roda de cauda), ela deverá ser travada. A roda deverá ser suspensa somente o bastante para livrar a superfície do concreto.

A figura 11-39 mostra uma roda sendo levantada pelo uso de um macaco de base simples.



Levantamento da roda da perna de força principal

Levantamento da roda do nariz

Figura 11-39 Levantamento apenas de uma roda.

SUGESTÃO SOBRE TEMPO FRIO

Quando uma aeronave tiver que ser exposta a uma temperatura extremamente fria, por algum espaço de tempo, cuidados extras deverão ser tomados para que a aeronave esteja preparada para o inverno. Todas as capas dos motores, entradas do sistema de ar condicionado, aberturas do sistema estático e do pitot, e entradas de ar por impacto deverão ser instaladas para evitar acúmulo de gelo e de neve. As coberturas de pequeno tamanho deverão ser marcadas de maneira bem visível, ou com faixas para que não sejam esquecidas no lugar e sejam removidas antes do vôo.

Se a aeronave tiver que ser estacionada na neve ou no gelo, algumas vezes nessas condições, tempo e homens-horas podem ser economizados, com a aplicação de compostos anticongelantes de glicol, em torno das portas e dos painéis de acesso de abertura freqüente. O glicol pode ser aplicado nas superfícies sob camada de neve, para evitar que a camada congele sobre a superfície. Ele pode também ser usado com muita eficácia nas superfícies da asa ou da empenagem, evitando elas próprias a formação de gelo. Porém se a neve for esperada, a aplicação do composto nas superfícies expostas é raramente usada, porque a lama de neve que se forma será mais problemática do que a neve seca.

Outra coisa que pode economizar tempo é estacionar a aeronave com as rodas sobre pranchas de madeira, do que sobre o gelo ou neve acumulada; ou ainda, quando geada ou lama de neve são esperadas, com a possibilidade de congelar o pneu ao solo. A areia pode ser usada para essa finalidade, mas deverá ser limitada à área das rodas, e não distribuída em locais onde ela poderá ser sugada pelos motores na partida.

Os flapes e os freios aerodinâmicos deverão ser recolhidos. Aeronave com estabilizador horizontal móvel, deverá ser estacionada com o comando acionado para a posição próxima de zero. Todo o sistema de água e lixo deverá ser drenado ou, quando aplicável, ser abastecido com uma solução anticongelante.

Se uma aeronave tiver que ser estacionada por um longo período de tempo, uma janela deverá ser mantida parcialmente aberta para permitir a circulação de ar na parte interna, e auxiliando a não formação de geada nas janelas. O melhor meio de remover a neve é varrendo, tanto quanto possível. Um outro método é jogar uma corda sobre a fuselagem e arrastá-la, removendo a neve. Uma escova ou vassoura podem ser usadas nas superfícies da asa e da empenagem. Cuidados deverão ser tomados, para não danificar os geradores de vortex nas aeronaves que os possuem.

Uma certa quantidade de neve pode congelar na superfície da aeronave, tornando difícil a sua remoção. É importante que todas as superfícies estejam inteiramente livres do gelo antes da decolagem.

Na maioria das casas comerciais especializadas são encontrados equipamentos vaporizadores, para aplicação de líquidos de degelo, os quais são usualmente dissolvidos na água e algumas vezes aquecidos. Compactos anticongelantes de glicol são frequentemente identificados por números de especificação militar, tendo sido materialmente melhorado. O composto recomendado para uso comercial é o MIL-A-8243A. Este é o etileno glicol e propileno glicol na proporção de 3 para 1, com a adição de um agente inibidor da corrosão; ele é pouco tóxico, não causa danos aos metais da aeronave, e não causa efeito algum à maioria dos plásticos, pintura ou borracha.

Se ar quente for usado para o degelo, particularmente de uma unidade de solo para partida, as áreas de revestimento não deverão ser superaquecidas. Um grande fluxo de ar quente é mais eficaz do que um jato de ar quente. Qualquer temperatura abaixo do ponto de ebulição da água é aceitável.

A última camada de gelo ou neve deverá ser derretida da fuselagem, ou do bordo de ataque das asas, pelo aquecimento interno, oriundo de fontes de solo, porque a água, escorrendo e sendo recongelada, provavelmente será mais difícil de ser removida outra vez.

Qualquer que seja o método de degelo inspecionamos as áreas dos mecanismos do bordo de fuga das asas e da empenagem, para nos certificarmos de que a água ou lama não tenha escorrido e penetrado nas aberturas para recongelar-se.

Quando as condições exigirem, um pré-aquecimento deverá ser usado nas seguintes seções ou partes da aeronave: seção de acessórios, seção do nariz, válvula dreno em "Y", todas as linhas de óleo, tanque de óleo, motores de partida, instrumentos, pneus, cabines e compensadores do profundor.

Todas as válvulas dreno, tanques de óleo, drenos de óleo, filtros de combustível, linhas de suspiro, e todas as dobradiças e superfícies dos controles principais e auxiliares, deverão ser checadas quanto a existência de gelo ou neve endurecida. Verificamos inteiramente todos os equipamentos de degelo para assegurar-se de sua operação adequada. Os tanques de álcool devem ser checados quanto ao nível apropriado do álcool degelador.

O uso de um aquecedor externo é permissível em temperaturas abaixo de 0º C, para o aquecimento do óleo e dos motores. Se não houver um aquecedor disponível para o aquecimento do óleo, ele deverá ser drenado, aquecido, e colocado de volta no sistema.

Quando girando um motor convencional em tempo frio, experimentamos dar a primeira partida, tentando evitar a formação de gelo nas velas de ignição. Se o gelo tiver sido formado, removemos a vela de ignição, aquecendo-a e reinstalando-a.

No tempo extremamente frio, o gelo pode formar-se nas hélices, enquanto o motor estiver sendo aquecido. Usando o degelador da hélice (se disponível), durante o aquecimento do motor, eliminará esta condição.

O motor a turbina deverá ser mais fácil de dar partida, em temperatura adversa, do que a média dos motores a pistão. Os motores a turbina não necessitam diluição de óleo, escorva de combustível, ou um longo aquecimento.

Os rotores do compressor de um motor a turbina deverão ser checados quanto a formação interna de gelo. Isso é particularmente necessário quando um motor tiver sido cortado durante condição de chuva ou neve.

Precisamos de muito cuidado ao girarmos um motor, se existir uma condição de gelo. Com o pavimento congelado os calços deslizarão facilmente, e se a aeronave, começar a se mover, será difícil pará-la.

Após o vôo, o óleo deve ser diluído antes do corte, nos motores convencionais que forem equipados com sistema diluidor, se a temperatura estiver próxima ou abaixo do ponto de congelamento, antes ou na hora da próxima partida. Quando for necessário diluir o óleo, consultamos as instruções do fabricante para àquela aeronave. Essas instruções deverão ser estritamente seguidas; caso contrário, o motor poderá ser danificado.

Quando reabastecendo a aeronave, os tanques deverão ser deixados cerca de 3 a 5 por cento abaixo da capacidade máxima. Isso é para permitir a expansão, caso a aeronave seja removida para o hangar, antes do próximo vôo. O combustível se expande aproximadamente 1 por cento para cada aumento de 10º C de temperatura.

Se os tanques forem reabastecidos para o nível normal, a uma temperatura aproximada de 0º a 10º C, e depois a aeronave for removida para o hangar aquecido (20º C) a expansão resultante transbordará os tanques, causando um perigo de incêndio.

Os pneus deverão ser inflados para a carga padrão, sem considerar a possibilidade de aumento na pressão sob condições mais quentes. A pressão mais baixa que o padrão, rapidamente causará superaquecimento, que poderá resultar em um dano maior para o pneu, e maior possibilidade de estouro, do que se estivesse com um pouco mais de pressão que o padrão.

Se um pneu estiver colado ao solo pelo congelamento, ele deverá ser liberado com ar ou água quente e movimentado antes do recongelamento.

É muito fácil exceder-se o limite de carga na roda do nariz, quando rebocando a aeronave sobre a neve ou a lama.

Se tiver que ser rebocada nestas condições, a aeronave deve ser puxada por cabos fixados às pernas de força principais do trem de pouso.

A bateria da aeronave não deverá requerer atenção especial, que não seja o serviço normal de rotina.

CAPÍTULO 12

FERRAMENTAS MANUAIS E DE MEDIÇÃO

INTRODUÇÃO

Este capítulo contém informações sobre algumas ferramentas manuais usadas por um mecânico de aviação. Este é um esboço dos conhecimentos básicos necessário ao uso das ferramentas manuais e de medição mais comuns, usadas no reparo de aeronaves. Esta informação, no entanto, não pode substituir um julgamento correto por parte do indivíduo. Há muitos casos em que a habilidade e o desembaraço podem superar as regras básicas. Um conhecimento dessas regras e, em que situações elas se aplicam é necessário.

O uso das ferramentas pode variar, mas as boas práticas de segurança, cuidado e estocagem das ferramentas permanecem as mesmas.

FERRAMENTAS DE USO GERAL

Martelos e macetes

A figura 12-1 apresenta alguns dos martelos que o mecânico de aviação pode ter necessidade de usar. Martelos de cabeça metálica têm suas medidas de acordo com o peso da cabeça sem o cabo.

Ocasionalmente será necessário usar um martelo de face macia, o qual tenha uma superfície feita de madeira, latão, chumbo, couro cru, borracha dura ou plástico.

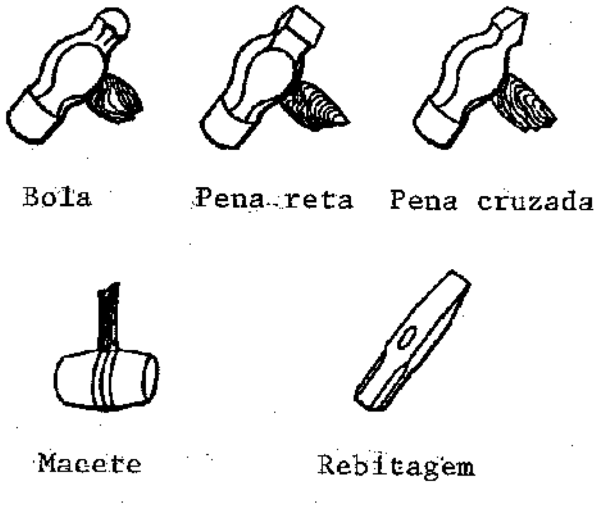


Figura 12-1 Martelos.

Esses martelos devem ser utilizados apenas nos trabalhos em metais macios e, para bater em superfícies que facilmente se danificam. Os martelos macios não devem ser usados em trabalhos grosseiros. Bater em cabeças de punções, parafusos ou cantos vivos, rapidamente arruinarão este tipo de martelo.

O macete é uma ferramenta semelhante ao martelo com a cabeça feita de madeira (Nogueira), couro cru ou borracha. Ele é manejado para formar partes delgadas de metal sem deixar mossas. Usamos sempre um macete de madeira quando tivermos que bater em um formão ou goiva.

Quando usando um martelo ou um macete, aquele que melhor atende ao trabalho é escolhido. É preciso que o cabo esteja firme. Quando damos uma pancada com o martelo, usamos o antebraço como se fosse uma extensão do cabo. Quando utilizamos um martelo, dobramos o cotovelo e não apenas o pulso, usando totalmente a face do martelo.

É bom manter as faces do martelo e do macete sempre lisas, e sem dentes para evitar que o trabalho se danifique.

Chaves de fenda

A chave de fenda pode ser classificada pelo seu formato, tipo e comprimento da haste. Elas são feitas apenas para uma finalidade, apertar e afrouxar parafusos. A figura 12-2 mostra diferentes tipos de chaves de fenda. Quando se usa uma chave de fenda comum, a maior chave cuja haste dará uma boa fixação no parafuso, que deverá ser girado, é selecionada.

Uma chave de fenda comum deve preencher pelo menos 75% da fenda do parafuso. Se a chave de fenda for de tamanho incorreto, cortará e deixará rebarbas na fenda do parafuso, inutilizando-o. Uma chave de fenda de medida incorreta poderá deslizar e danificar peças adjacentes da estrutura.

A chave de fenda comum é usada somente onde existirem na aeronave, prendedores ou parafusos com fenda na cabeça. Um exemplo de prendedor que requer o uso de uma chave de fenda comum é o *Airloch*, que é usado para prender as carenagens dos motores de algumas aeronaves.

Os dois tipos de parafusos com encaixe na cabeça de uso mais comum são: o Phillips e o *Reed and Prince*. Tanto o encaixe Phillips como o *Reed and Prince* são opcionais nas cabeças dos parafusos.

Como mostra a figura 12-2, o encaixe Reed and Prince forma uma perfeita cruz na cabeça do parafuso. A chave de fenda usada com este parafuso tem a ponta aguçada. Como o parafuso com encaixe Phillips tem o centro da cruz mais largo, a chave de fenda Phillips tem a ponta rombuda. As duas chaves de fenda não são intercambiáveis. O uso de uma chave de fenda do tipo errado resultará em mutilação da ferramenta ou do encaixe da cabeça do parafuso.

Quando girando um parafuso com encaixe na cabeça, usamos somente a ferramenta apropriada e de medida correta.

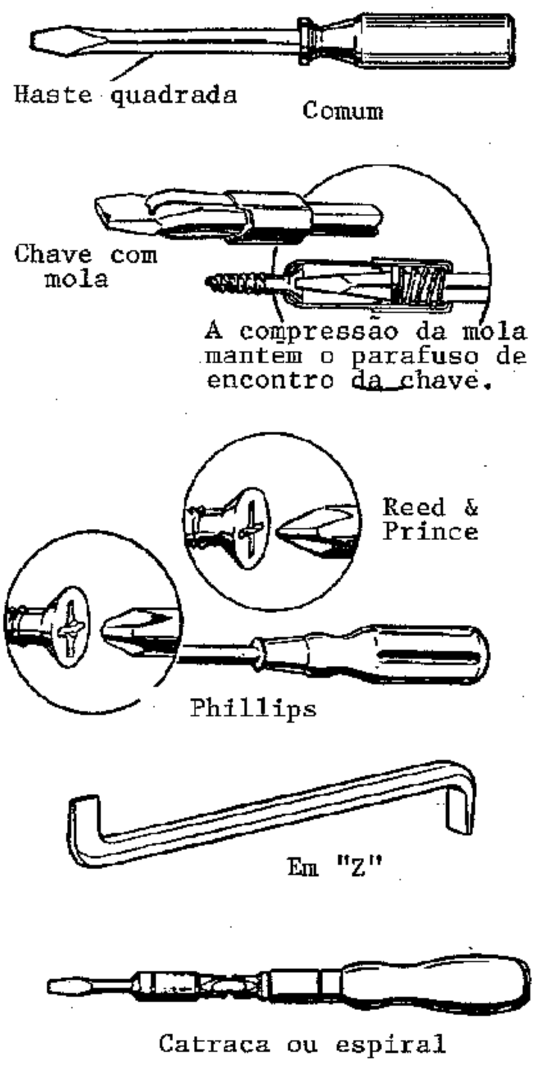


Figura 12-2 Chaves de Fenda.

Quando o espaço vertical for limitado pode-se usar uma chave de fenda em "Z". As chaves de fenda em "Z" são construídas com ambas as pontas dobradas a 90º da haste. Pelo uso alternado de cada uma das pontas, a maioria dos parafusos podem ser apertados ou afrouxados, sempre que o espaço para o giro for limitado. As chaves de fenda em "Z" são feitas tanto para os parafusos de fenda comuns como para os de encaixe em cruz.

Uma chave de fenda não deverá ser usada como alavanca ou ferramenta de corte. Não use uma chave de fenda para testar um circuito elétrico, porque o arco elétrico queimará a ponta, inutilizando-a. Em alguns casos, o arco elétrico poderá fundir a haste da chave na unidade que está sendo testada.

Quando se usa uma chave de fenda em uma peça pequena, mantemos sempre a peça presa na morsa ou apoiada na bancada. Não mantemos a peça nas mãos porque a chave de fenda poderá deslizar e causar sérios danos pessoais.

A chave de fenda de catraca ou espiral é de ação rápida, e gira o parafuso quando o punho é empurrado para baixo e depois puxado para cima. Ela pode ser selecionada para girar o parafuso tanto no sentido de apertar como no de afrouxar e, pode também ser travada, e ser usada como uma chave de fenda comum. A chave de fenda de catraca não é própria para serviços pesados e deverá ser usada apenas em trabalhos mais leves. Um aviso: quando usando uma chave de fenda de catraca ou espiral, extremo cuidado deverá ser tomado para manter uma pressão constante e evitar o deslizamento da chave na fenda do parafuso. Se isto ocorrer a região em volta estará sujeita a danos.

Alicates

Existem vários tipos de alicates, mas os mais usados em trabalhos de reparos de aeronaves são: diagonal, ajustável, de ponta e bico de pato. O tamanho dos alicates é determinado pelo seu comprimento total, usualmente entre 5 e 12 polegadas.

O alicate ajustável combinado de 6 polegadas é o tamanho preferido para o uso em trabalhos de reparo. Ele permite uma grande abertura dos mordentes, deslizando no eixo, para agarrar objetos de grandes diâmetros. Os alicates combinados são encontrados nos tamanhos de 5 a 10 polegadas. Os melhores da série, são de aço forjado.

Os alicates de bico chato são os mais adequados para fazer flanges. Os mordentes são quadrados, bastante compridos e, usualmente, bem ranhurados, e a sua articulação é firme. Estas são características que permitem fazer curvas perfeitas e agudas.

Os alicates de bico redondo são usados para torcer o metal. Eles não foram feitos para trabalhos pesados porque demasiada pressão torcerá as pontas, as quais muitas vezes são envolvidas para evitar marcar o metal.

Os alicates de ponta fina têm os mordentes redondos até a metade e, de vários comprimentos. Eles são usados para segurar objetos ou fazer ajustes em lugares de espaço reduzido.

Os alicates de bico de pato, assemelham-se ao bico de um pato por ter os mordentes finos, chatos e com o formato de bicos de pato.

Eles são usados exclusivamente para executar frenagens com arame.

Os alicates gasistas, bico de papagaio ou para bomba de água, são alicates ajustáveis, com o eixo deslizante e os mordentes em ângulo com os punhos.

O tipo mais popular tem a junta deslizante canelada dando-lhe o nome de trava canelada. Estes alicates são usados para apertar porcas serrilhadas do sistema elétrico, tubos e inúmeras partes.

Os alicates em diagonal são usualmente chamados de "diagonal" e possuem mordentes curtos com lâminas de corte, formando um pequeno ângulo com o punho.

Esta ferramenta pode ser usada para cortar arames, fios, rebites, pequenos parafusos e contrapinos, sendo, além disso, praticamente indispensável para instalação e remoção de frenagens com arame.

Duas regras importantes para o uso de alicates:

1 - Não utilizar alicates em trabalhos que excedam sua capacidade. Os alicates de bico longo são especialmente delicados; muito fáceis de torcer ou quebrar, ou mesmo fazer mossas nas bordas. Se isto ocorrer, estarão praticamente inúteis.

2 - Não usar alicates para girar porcas. Em poucos segundos, um alicate pode danificar uma porca muito mais do que vários anos de serviço.

Punções

Os punções são usados para marcar centros de desenhos de círculos, iniciar pontos de furação, para abrir furos em chapas de metal, para transferir localização de furos em gabaritos e para remover rebites, pinos ou parafusos.

Sólidos ou ocos são os dois tipos geralmente usados. Os sólidos são classificados de acordo com o formato de suas pontas. A figura 12-3 apresenta os diversos tipos de punção.

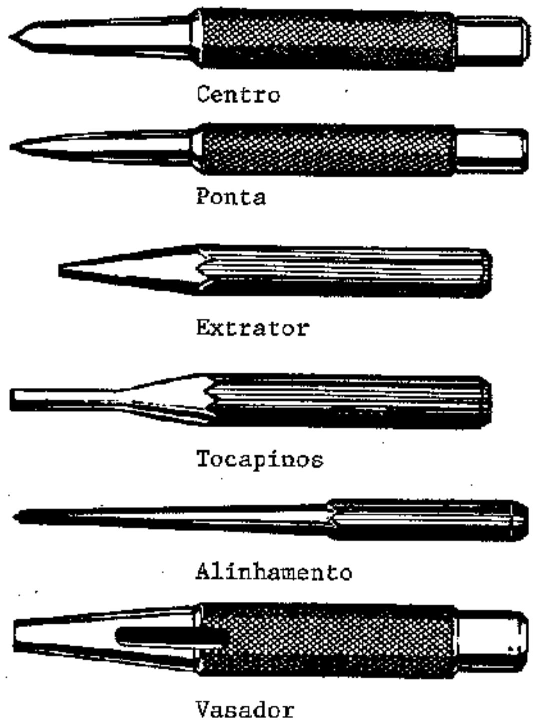


Figura 12-3 Punções.

O punção de bico é usado para fazer marcas de referência no metal. Esse punção é usado muitas vezes para transferir medidas de um desenho no papel diretamente para o metal. Para fazer isto, inicialmente colocamos o papel como modelo diretamente sobre o metal. Então, acompanhando a linha externa do desenho com o punção de ponta, batendo suavemente com um pequeno martelo, fazemos pequenas marcações no metal, nos pontos mais exteriores do desenho. Essas marcações poderão ser usadas como referências para o corte do metal. Um punção de ponta nunca deverá ser golpeado fortemente com um martelo, porque ele poderá envergar ou causar grandes danos ao material que está sendo trabalhado.

Profundas marcações no metal, que são necessárias para o início de uma furação, são feitas com o punção de centro. Ele nunca deverá ser martelado com demasiada força, para não afundar o material que circunda a marcação, ou ocasionar uma protuberância no outro lado da chapa de metal. O punção de centro tem um corpo mais pesado do que o punção de bico e a ponta é afiada com um ângulo de aproximadamente 60º.

O punção extrator, que também é chamado de punção cônico, é usado para extrair rebites danificados, pinos e parafusos que algumas vezes ficam presos em orifícios. O punção extrator é feito com uma face plana no lugar da ponta. A medida do punção é determinada pela largura da face, que é usualmente de 1/8 a 1/4 de polegada.

O punção para pinos, também chamado de "tocapinos", é semelhante ao punção extrator e tem a mesma finalidade. A diferença entre os dois é que o punção extrator tem os lados cônicos em direção à face, enquanto o tocapinos tem a haste paralela. Os tocapinos são medidos pelo diâmetro da face, em 1/32 de polegada, variando este diâmetro de 1/16 a 3/8 de polegada.

Na prática geral, um pino ou parafuso, que tenha que ser removido, é usualmente através de um punção extrator, até que os lados dele toquem a borda do orifício. O tocapino é então usado para completar a remoção do pino ou parafuso do orifício. Em pinos difíceis de serem removidos, o início da remoção pode ser feito com um pedaço fino de cobre, latão ou alumínio de sucata, colocado diretamente de encontro ao pino e, então, bate-se com um martelo até que o pino comece a mover-se.

Nunca se deve usar um punção de bico ou de centro para remover objetos de orifícios, porque a ponta do punção dilatará o objeto, dificultando a sua remoção cada vez mais.

O punção de transferência tem, normalmente 4 polegadas de comprimento. É um tipo especial usado para marcar orifícios para rebites quando um gabarito é usado para a traçagem de um revestimento novo. O diâmetro da espiga do punção é igual ao furo para o rebite e na face da extremidade, existe uma pequenina ponta no centro exato. O metal é puncionado através do furo do gabarito para que o metal novo seja posteriormente furado no local adequado.

O punção automático é o tipo mais conveniente quando existe um grande número de furos a serem localizados com precisão. A ponta do punção é colocada no local exato do furo e o seu cabo é pressionado manualmente para baixo. Uma mola é comprimida e, ao final do seu curso, ela é liberada repentinamente, dando um golpe na ponta e marcando o metal. A força do golpe pode ser ajustada, apertando-se a extremidade roscada do punção.

Chaves

As chaves que são usadas com mais freqüência em manutenção de aeronaves são classificadas como: chaves de boca, chaves de caixa, colar ou estrela, chaves soquetes, chaves ajustáveis e chaves especiais. A chave Allen, embora seja usada, raramente é necessária em um tipo especial de cabeça de parafuso. Um dos metais amplamente usados na fabricação destas ferramentas é o aço cromo-vanádio. As chaves feitas com este metal são consideradas inquebráveis.

As chaves sólidas, não ajustáveis com a abertura paralela em um ou ambos os lados, são conhecidas como chaves de boca. Essas chaves podem ter suas aberturas paralelas com o punho, ou formando um ângulo de 90º; a maior parte delas tem um ângulo de 15º.

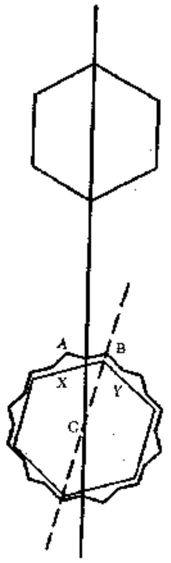


Figura 12-4 Uso da chave colar.

Basicamente as chaves são destinadas a fixar ou a afrouxar porcas, cabeças de parafusos ou outros objetos que permitam que elas exerçam a ação de girar.

As chaves de colar são ferramentas muito utilizadas por causa da sua vantagem em lugares estreitos. Elas são chamadas de caixa ou colar porque envolvem completamente a porca ou a cabeça do parafuso. Praticamente todas as chaves colar são feitas com 12 pontos para que possam ser usadas em lugares que só permitem um deslocamento de 15º.

Embora a chave colar seja ideal para afrouxar ou apertar porcas, muito tempo é perdido girando a porca no parafuso após aliviar o aperto. Somente quando existir suficiente espaço para um círculo completo da chave, este vagaroso processo será evitado.

Após o aperto da porca ter sido aliviado, ela poderá ser completamente removida, mais rapidamente com uma chave de boca do que com uma de colar. Neste caso, a chave combinada é a ideal, porque possui em uma das pontas uma chave colar e na outra, uma de boca, sendo ambas da mesma medida. A figura 12-5 mostra uma chave colar e uma combinada.

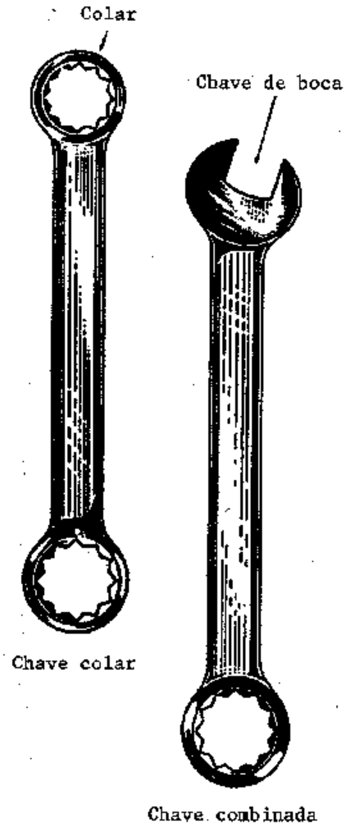


Figura 12-5 Chave colar e combinada colar e boca.

A chave soquete é feita em duas partes: 1) Soquete, que é a parte colocada sobre a porca ou a cabeça do parafuso, e 2) Punho, que é encaixado na soquete. Muitos tipos de punhos, extensões e uniões são disponíveis para tornar possível o uso da chave soquete em quase todas as localizações ou posições. As soquetes são feitas, tanto com o punho fixo, como destacável. Chaves soquete com o punho fixo são usualmente fornecidas como um acessório para uma máquina. Elas têm encaixe de quatro, seis ou doze pontos para fixar uma porca ou cabeça de parafuso que necessite uma exata adaptação.

Soquetes com punhos destacáveis normalmente vêm em conjuntos com vários tipos de cabos como o "T", catraca, encaixe de chave de fenda e arco de velocidade. Os cabos de chave soquete têm um encaixe quadrado em uma das pontas, para embutir no encaixe da soquete. As duas partes são mantidas juntas por uma pequena esfera sob ação de mola. Dois tipos de soquetes, um conjunto de cabos e uma barra de extensão são mostrados na figura 12-6.

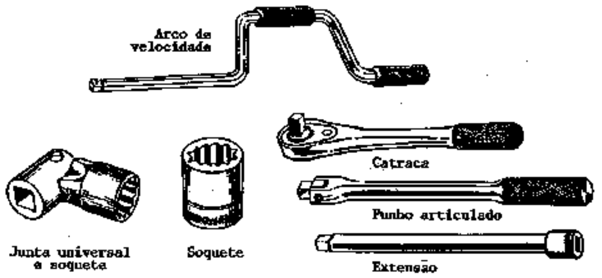


Figura 12-6 Conjunto de chaves e soquetes.

A chave ajustável é uma ferramenta de utilização manual que possui mordentes lisos e é utilizada como uma chave de boca. Um mordente é fixo, mas o outro pode ser movimentado por um sem-fim, em um setor dentado no punho. A abertura dos mordentes pode variar de zero a 1/2 polegada ou mais. O ângulo de abertura do punho é de 22 1/2º em uma chave ajustável, e ela pode executar o trabalho de várias chaves de boca. Embora versátil, ela não é destinada a substituir as chaves de boca, colar ou soquete padronizadas. Quando usando qualquer chave ajustável, a força de tração no lado do punho, que tem o mordente fixo da chave, é sempre exercida.

Chaves especiais

A categoria de chaves especiais inclui a chave de gancho, o torquímetro e a chave *allen*. A chave de gancho é para uma porca redonda com uma série de entalhes cortados no bordo exterior. Essa chave consiste de um cabo, com uma parte em arco e um gancho na extremidade, o qual é encaixado no entalhe da porca. Quando o gancho estiver encaixado no entalhe da porca, o punho da chave deverá estar indicando a direção em que a porca deverá ser virada.

Algumas chaves de gancho são ajustáveis para fixar em porcas de vários diâmetros. A chave de gancho em forma de "U" tem dois ganchos na face da chave para adaptarem-se aos entalhes da face da porca ou plugue.

A extremidade das chaves de gancho assemelha-se a uma chave soquete, mas tem uma série de ressaltos que encaixam nos correspondentes entalhes de uma porca ou de um plugue.

As chaves de pino têm um pino no lugar de um ressalto, e este pino encaixa-se em um orifício circular na borda de uma porca.

Existem ainda as chaves de gancho e chave de pino para face, que são semelhantes à chave em "U", com a diferença de que elas têm os pinos colocados em plano vertical com relação ao cabo e não no mesmo plano.

Existem ocasiões em que uma determinada pressão deve ser aplicada em uma porca ou parafuso.

Nestes casos uma chave de torque, ou torquímetro, deve ser usada. A chave de torque é uma ferramenta de precisão consistindo de um punho com indicador de torque e adaptadores apropriados.

Ele mede a quantidade de força de torção ou de giro a ser aplicada em uma porca ou parafuso.

Os três tipos mais comuns de chaves de torque ou torquímetro são: barra flexível, estrutura rígida e o de catraca.

Quando usando o de barra flexível ou o de estrutura rígida (com instrumento indicador), o torque é lido visualmente na escala ou no indicador, montados no punho da chave. O torquímetro de catraca deve ser ajustado para o valor de torque desejado e, quando, este torque é alcançado, um repentino impulso é sentido, avisando ao operador.

Antes de cada uso, a chave de torque deverá ser visualmente inspecionada quanto a danos.

Se houver um ponteiro torcido, quebrado, ou o vidro quebrado (no do tipo com instrumento), ou forem encontrados sinais de uso inadequado, a chave deverá ser testada.

As chaves de torque devem ser testadas em intervalos periódicos para nos assegurarmos da exatidão.

A maioria dos parafusos sem cabeça são do tipo Allen e, devem ser instalados e removidos com uma chave Allen. Elas são barras hexagonais com a forma de um "L"; têm as medidas entre 3/64 a 1/2 polegada e são introduzidas no encaixe hexagonal daqueles tipos de parafusos.

FERRAMENTAS DE CORTAR METAL

Tesouras manuais

Existem muitos tipos de tesouras manuais, e cada um tipo executa um trabalho diferente. Tesouras retas, curvas, bico de falcão e de aviação, são as mais comuns em uso (ver figura 12-7).

Tesouras retas são usadas para cortar em linha reta, quando a distância não for grande o suficiente para utilizar uma guilhotina, e para cortar a parte externa de uma curva. Os outros tipos são usados para cortar a parte interna de uma curva ou raios. As tesouras nunca devem ser usadas para cortar chapas de metal muito duro.

As tesouras de aviação são designadas especialmente para cortar ligas de alumínio tratadas a quente e aço inoxidável.

Elas são também adaptáveis para alargar pequenos furos. As lâminas têm pequenos dentes na face de corte e são fabricadas para cortar círculos bem pequenos e linhas irregulares.

Os punhos são componentes de uma alavanca, que fazem quando possível o corte em materiais com espessura de 0,051 de polegada. As tesouras de aviação são encontradas em dois tipos, aquelas que cortam da direita para a esquerda e as que cortam da esquerda para a direita.

Ao contrário das serras, a tesoura não remove qualquer material quando o corte é feito, mas diminutas fraturas muitas vezes ocorrem ao longo do corte.

Portanto, cortes deverão ser feitos a 1/32 de polegada, afastados da linha marcada, e o acabamento deve ser feito com uma lima de mão até a linha marcada.

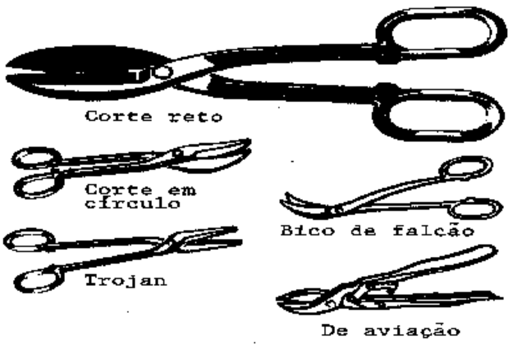


Figura 12-7 Tesouras.

Arcos de serra

O arco de serra comum tem uma lâmina, um arco e um punho. O punho pode ser encontrado em dois estilos, o cabo tipo de pistola e o cabo reto (ver a figura 12-8).

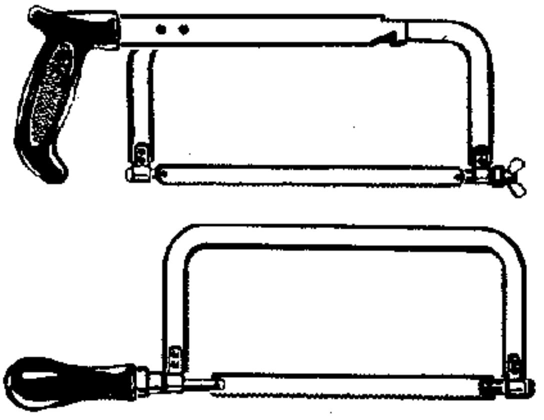


Figura 12-8 Arcos de Serra.

As lâminas de serra têm orifícios em ambas extremidades e são montadas em pinos presos ao arco. Quando instalamos uma lâmina de serra em um arco, colocamos a serra com os dentes apontando para frente, partindo do punho.

As lâminas são feitas, de aço de alto teor ou de aço tungstênio, e são encontradas em tamanhos que variam de 15 a 40 centímetros (6 a 16 polegadas) de comprimento. A lâmina de 25 centímetros (10 polegadas) é a mais comum. Existem dois tipos de lâminas, a dura e a flexível. Na flexível, apenas os dentes são endurecidos. A seleção da melhor lâmina de serra para a execução de um trabalho envolve encontrar o tipo correto e o passo. Uma lâmina dura é mais adequada para serrar latão, aço de ferramentas, ferro fundido e materiais de seção sólida. Uma lâmina de serra flexível é mais adequada para serrar peças ocas e metais de seção delgada.

O passo de uma lâmina de serra indica o número de dentes por polegada. Passos de 14, 18, 24 e 32 dentes por polegada são os mais utilizados.

Uma lâmina com 14 dentes por polegada é indicada para serrar aço de máquina, aço laminado ou aço estrutural.

Uma lâmina com 18 dentes por polegada é indicada para serrar barras sólidas de alumínio, bronze, aço de ferramentas e ferro fundido. Usamos uma lâmina com 24 dentes por polegada para serrar perfis finos de tubulações e chapas de metal.

Quando usando um arco de serra, procedimentos observados são os seguintes:

1 - Selecionar a lâmina de serra apropriada para o serviço.

2 - Instalar a lâmina no arco de maneira, em que a parte cortante dos dentes apontem para frente, partindo do cabo.

3 - Ajustar a tensão da lâmina no arco para evitar que entorte e desalinhe.

4 - Prender o trabalho na morsa, de tal maneira, que proporcione a maior superfície de apoio possível; e utilizar a mais adequada quantidade de dentes.

5 - Indicar o ponto de partida, fazendo um pequeno sulco, na borda da superfície, com a quina de uma lima para quebrar o corte da aresta que poderia danificar os dentes. Esta marca também auxiliará a serra no caminho certo.

6 - Manter a serra em um ângulo que permita manter os últimos dois dentes em contato com o trabalho todo o tempo. Depois, começar o corte com um leve e firme impulso para frente, exatamente na parte externa da linha de corte. Ao final do curso, aliviar a pressão e puxar a serra para trás (o corte é feito no impulso para frente).

7 - Após os primeiros impulsos, fazer cada movimento o mais longo que a serra permitir. Isto evitará que a serra superaqueça. Aplicar a pressão necessária ao corte somente no impulso para frente, para que cada dente remova uma pequena quantidade de metal. Os impulsos deverão ser longos e constantes e, com uma velocidade não maior do que 40 a 50 golpes por minuto.

8 - Após completar o corte, remover as limalhas da lâmina, aliviar a tensão da lâmina, e colocar o arco de serra no seu devido lugar.

Talhadeiras

Talhadeiras são ferramentas de corte feitas de aço duro, e que podem ser usadas para cortar e desbastar qualquer metal mais macio do que elas próprias. Elas podem ser usadas em áreas restritas, e em trabalhos, como cortar rebites ou retirar porcas presas ou danificadas de parafusos (ver figura 12-9).

A medida de uma talhadeira laminada a frio é determinada pela largura da parte cortante. O comprimento pode variar, mas raramente são encontradas talhadeiras menores do que 12 centímetros (5 polegadas) ou maiores do que 20 centímetros (8 polegadas).

As talhadeiras normalmente são feitas de barras de aço com a forma octogonal, cuidadosamente endurecidas e temperadas. Como a parte cortante é ligeiramente convexa, a porção central absorve o maior impacto quando cortando e as extremidades menos resistentes são protegidas. O ângulo de corte deverá ser de 60º a 70º para uso geral, ou seja, para cortar arames ou fios, tiras de ferro, ou pequenas barras ou varas.

Quando usando uma talhadeira, devemos mantê-la firme com uma das mãos, enquanto que, com a outra mão, batemos na cabeça da talhadeira com um martelo de bola ou de pena.

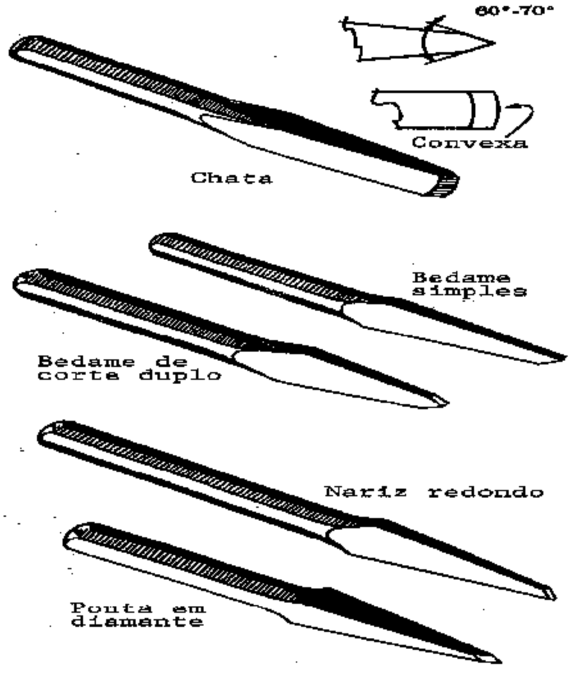


Figura 12-9 Talhadeiras.

Quando cortando cantos em esquadro ou ranhuras, deverá ser usada uma talhadeira especial, laminada a frio, chamada de bedame chato. Ela é semelhante à talhadeira chata, exceto na medida da área de corte, que é bem estreita. Ela tem o mesmo ângulo de corte e, é mantida e usada da mesma maneira que qualquer outra talhadeira.

Ranhuras redondas ou semicirculares e cantos arredondados deverão ser cortados com uma talhadeira de ponta arredondada. Esta talhadeira é também usada para recentrar uma broca que tenha saído do local previsto.

A talhadeira com ponta em diamante é cônica, de quatro faces até a ponta de corte, que é afiada em um ângulo que permite uma ponta aguda na forma diamante. Ela é usada para cortar ranhuras e ângulos internos agudos.

Limas

A maioria das limas é feita de aço de alto teor e são endurecidas e temperadas. As limas são fabricadas em uma grande variedade de formatos e tamanhos. Elas são identificadas tanto pela forma da seção reta, como pelo formato geral, ou ainda pelo uso em particular. O corte das limas deve ser considerado, quando selecionando-as para os vários tipos de trabalhos e de materiais.

As limas são usadas para extremidades em esquadro, limar arestas arredondadas, remover rebarbas e lascas de metais, retificar bordas irregulares, limar orifícios e ranhuras e alisar superfícies ásperas.

As limas têm três classificações distintas: 1) Seus comprimentos que são medidos excluindo a espiga, que é a parte da lima a ser fixada no cabo (ver figura 12-10); 2) Suas espécies ou nomes têm referência com a relativa grossura dos dentes; e 3) Seus cortes.

As limas são, usualmente, feitas em dois tipos de cortes, que são o corte simples e o duplo. A lima de corte simples tem uma fileira simples de dentes estendendo-se através da face em um ângulo de 65º a 85º com o seu comprimento. A medida do corte depende da grossura da lima. A lima de corte duplo tem duas fileiras de dentes que se cruzam. Para um trabalho comum, o ângulo da primeira fileira é de 40º a 45º, e esta fileira é geralmente chamada de (1º corte) "*Overcut*", enquanto a segunda fileira como "*Upcut*"; esta é um pouco mais fina e não tão profunda quanto àquela.

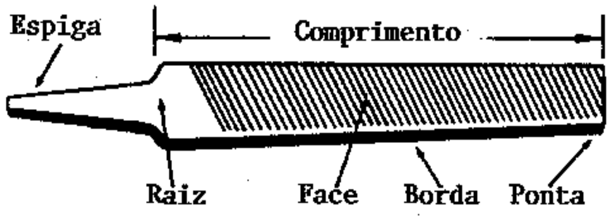


Figura 12-10 Lima de mão.

Uso das limas

Limas e grosas são catalogadas de três maneiras:

Comprimento - Medido da ponta para base do cabo. A espiga que entra no cabo nunca é incluída no comprimento.

Forma da seção reta - Refere-se a configuração física da lima (circular, retangular, triangular ou uma variação destas).

Corte - Refere-se tanto às características do dente, como à grossura; muito grossa, grossa e bastarda para o uso na classe de trabalho pesado e de corte médio; mursa e mursa fina, para trabalhos de acabamento.

Limas mais usadas (ver fig. 12-11)

Lima de mão - São limas paralelas na largura e adelgaçada na espessura. Elas têm uma das bordas laterais lisa, para permitir limar em cantos e em outros trabalhos, onde uma borda lisa é necessária. As limas de mão são de corte duplo e usadas principalmente para acabamento de superfícies planas e trabalhos semelhantes.

Limas chatas - Essas limas são ligeiramente adelgaçadas a partir da ponta, tanto na largura como na espessura. Elas cortam tão bem nas bordas quanto nos lados e são as mais utilizadas normalmente. As limas chatas têm duplo corte em ambos os lados e corte simples em ambas as bordas.

Limas MILL - Elas são ligeiramente adelgaçadas na espessura e na largura, por cerca de um terço do seu comprimento. Os dentes são normalmente de corte simples. Essas limas são usadas para acabamentos e para limar algumas partes de metais macios.

Limas quadradas - Essas limas podem ser adelgaçadas ou não, e são de corte duplo. Elas são usadas principalmente para limar ranhuras, encaixes de chavetas e para limar superfícies.

Limas redondas - Essas possuem a seção circular e podem ser afiladas ou rombudas, de corte simples ou duplo e são usadas, principalmente, para limar aberturas circulares ou superfícies côncavas.

Limas triangulares - Essas possuem a seção triangular, são de corte simples e são usadas para limar o espaço entre os dentes de serras ou serrotes. O limatão triangular, que possui corte duplo, pode ser usado para limar ângulos internos, limar fios de rosca e ferramentas de corte.

Lima meia-cana - Essa lima corta no lado plano e no lado curvo. Elas podem ter corte simples ou corte duplo. O seu formato permite que sejam usadas em locais impossíveis para outras limas.

Lima para chumbo - São limas especialmente fabricadas para o uso em metais moles. Elas são de corte simples e são feitas em vários tamanhos.

Lima retangular pontiaguda - Lima de seção retangular, adelgaçando-se até formar uma ponta estreita. Usada para espaços estreitos onde outras limas não podem ser usadas.

Lima faca - Seção em forma de faca. Usada para fazer ferramentas e moldes em trabalhos que tenham ângulos agudos.

Grosa - Tem a mesma seção de uma lima meia-cana. Tem dentes grossos e é especialmente, adaptável ao uso em madeira.

Limas Vixen (limas de dentes curvos) - São especialmente designadas para serviços rápidos de lima e acabamentos finos em metais macios e madeira.

O corte regular é adaptado para trabalhos duros em ferro fundido, aço macio, cobre, latão, alumínio, madeira, ardósia, mármore, fibra, borracha etc.

O corte fino dá excelentes resultados em aço, ferro fundido, bronze fosforoso, latão branco e todos os metais duros.

O corte fino é usado onde a quantidade de material a ser removido é bem pequena, mas onde é desejado um superior acabamento.

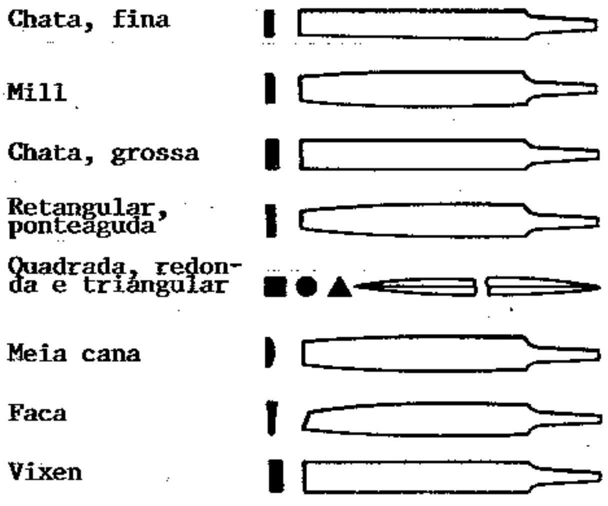


Figura 12-11 Tipos de Lima.

Os seguintes métodos são recomendados para o uso de limas:

1. Limagem reta - Antes de utilizar-se de uma lima, colocamos um cabo na espiga. Isto é essencial para direcionar a lima e trabalhar em segurança.

Ao movimentar a lima ao longo da peça ligeiramente na diagonal (normalmente chamado de limagem cruzada) seguramos o punho, de modo que a ponta fique de encontro à parte carnuda da palma da mão, e com o polegar apoiado ao longo de parte superior do cabo, na direção do comprimento.

A seguir, agarramos a outra ponta da lima com o polegar e com os outros dois primeiros dedos. Para evitar um inadequado desgaste, aliviamos a pressão durante o retorno da lima.

2. Limagem por arrasto - Uma lima é algumas vezes usada segurando-se em cada ponta, atravessada sobre o trabalho e movimentada no sentido do comprimento da peça.

Quando feito acertadamente, o trabalho poderá ter um acabamento bem mais fino do que usando a mesma lima em uma limagem reta. Na limagem por atrito, os dentes da lima produzem um efeito de cisalhamento.

Para executar esse efeito, o ângulo em que a lima deve ser mantida, com relação a sua linha de movimento, varia de acordo com os diferentes tipos de lima, dependendo do ângulo no qual o dente corta.

A pressão deverá ser aliviada durante o retorno do movimento da lima.

3. Quinas arredondadas - O método usado para limar superfícies arredondadas, varia com a largura e o ângulo da superfície. Se a superfície é estreita e somente uma porção dela é curva, começamos o primeiro golpe da lima com a ponta inclinada para baixo em um ângulo aproximado de 45º. Usando um movimento de cadeira de balanço, terminamos o golpe com a parte lisa da lima (próxima do cabo) próxima à superfície curva. Este método permite utilizar todo o comprimento da lima.

4. Removendo rebarbas ou bordas rachadas - Praticamente todas as operações de corte em chapas de metal produzem rebarbas ou pequenas rachaduras. Elas devem ser removidas para evitar danos pessoais, arranhões e avarias das partes a serem montadas. Rebarbas e rachaduras evitam a perfeita fixação de peças, e deverão sempre ser removidas do trabalho, como se fosse um hábito.

LIMAGEM NO TORNO

É uma operação em que a lima deve ser mantida de encontro a um trabalho que está girando em um torno.

A lima não deverá ser mantida rígida ou estacionária, mas em golpes constantes, com um leve deslizamento ou movimento lateral ao longo do trabalho.

Uma lima Mill, padrão, pode ser usada para esta operação, mas a lima de grande ângulo para torno oferece um corte bem melhor e uma ação de auto-limpeza. Usa-se uma lima com as bordas lisas para proteger o trabalho, que tenha parte lateral, de ser danificado.

Cuidados com as limas

Estas são algumas precauções que um bom mecânico deverá tomar ao lidar com suas limas:

1. Escolher a lima adequada ao material e ao trabalho a ser executado.
2. Manter as limas separadas umas das outras para não se danificarem.

3. Manter as limas em locais secos porque a ferrugem corroerá a ponta dos dentes.
4. Manter as limas limpas - bater com a ponta da lima contra a bancada depois de executar cada cinco golpes, para soltar e remover as limalhas. Usar a escova de limpar para mantê-las limpas - uma lima suja é uma lima que não corta.

Partículas de metal presas entre os dentes de uma lima podem provocar profundos arranhões no material que está sendo limado.

Quando essas partículas de metal estão depositadas muito firmemente entre os dentes e, não puderem ser removidas pelas batidas da ponta da lima na bancada, usar uma escova de limpar limas ou uma escova de arame (figura 12-12).

Escovamos a lima para que as cerdas da escova removam as limalhas dos espaços entre os dentes.

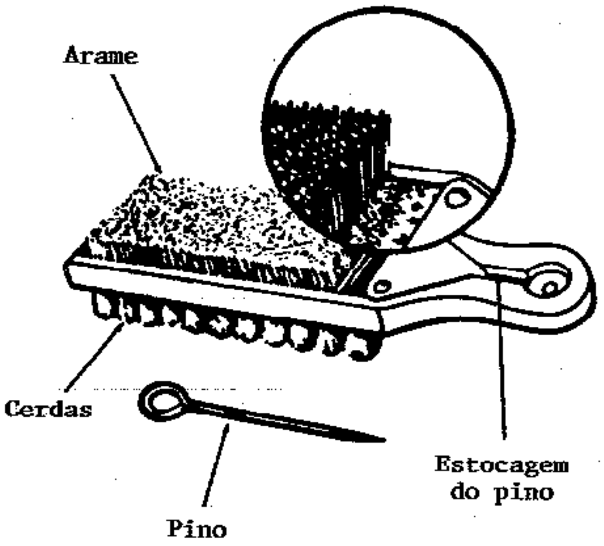


Figura 12-12 Escova para limas.

MÁQUINAS DE FURAR

Em aviação são usadas geralmente quatro tipos de máquinas portáteis de furar, para prender e fazer girar as brocas. Furos de 1/4 de polegada e abaixo do diâmetro podem ser feitos, usando-se a máquina manual pequena. Essa máquina é normalmente chamada de "batedeira de ovos".

Geralmente, a máquina manual maior é mais adequada para prender brocas maiores do que a máquina pequena.

Adicionando-se um apoio para o peito na máquina de furar manual maior, ele permitirá o uso do peso do corpo para aumentar a força de corte da broca. Máquinas de furar elétricas e pneumáticas são disponíveis em vários formatos e tamanhos para atender a maioria das necessidades.

As máquinas pneumáticas são as preferidas para o uso próximo a materiais inflamáveis, porque as centelhas provocadas pelas máquinas elétricas constituem um perigo de fogo ou explosão.

Brocas

A broca é uma ferramenta pontiaguda que é girada para executar furos nos materiais. Ela é feita de uma barra cilíndrica de aço endurecido tendo estrias em espiral (canais) em volta de todo o comprimento do corpo, e uma ponta cônica com arestas cortantes formadas pelo final das estrias.

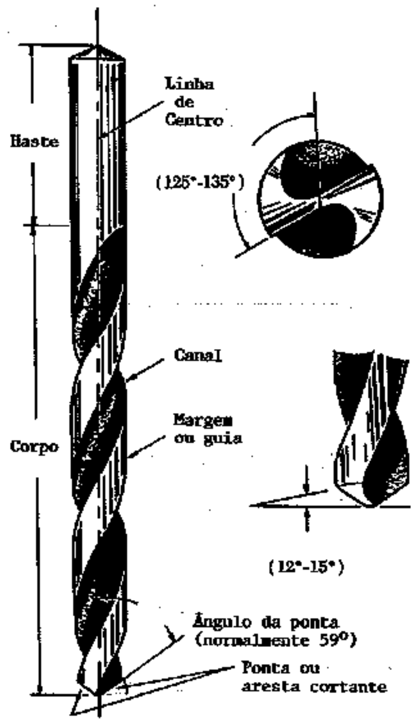


Figura 12-13 Nomenclatura de brocas.

A haste da broca é a ponta que será fixada ao mandril da máquina de furar manual, elétrica ou pneumática. Os dois formatos de haste mais usados em máquinas manuais são: a haste reta e a quadrada ou pua (figura 12-14).

A haste reta é geralmente usada nas máquinas de furar manuais (pequenas e grandes) e nas portáteis elétricas; a haste quadrada foi feita para ser usada em arcos de pua.

Hastes cônicas são geralmente usadas em máquinas de furar de de coluna ou de bancada.

A coluna de metal, formando a parte central da broca é o corpo. A área do corpo, logo depois da margem ou guia, tem o diâmetro ligeiramente menor do que ela (margem), para reduzir o atrito entre a broca e as laterais do furo

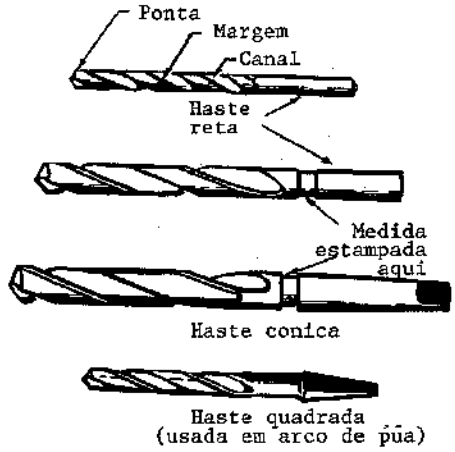


Figura 12-14 Brocas.

Milimetro	Dec. Equival.	Fraçao	Nº	Milimetro	Dec. equival.	Fraçao	Nº	Milimetro	Dec. equival.	Fraçao	Nº	Milimetro	Dec. equival.	Fraçao	Nº	Milimetro	Dec. equival.	Fraçao
.1	.0039			1.75	.0689			....	.1570		22	6.8	.2677			10.72	.4219	27/64
.15	.0059			....	.0700		50	4.0	.1575			6.9	.2716			11.0	.4330	
.2	.0079			1.8	.0709			....	.1590		21	....	.2720		I	11.11	.4375	7/16
.25	.0098			1.85	.0728			....	.1610		20	7.0	.2756			11.5	.4528	
.3	.0118			....	.0730		49	4.1	.1614			....	.2770		J	11.51	.4531	29/64
....	.0135		80	1.9	.0748			4.2	.1654			7.1	.2795			11.91	.4687	15/32
.35	.0138			....	.0760		48	....	.1660		19	....	.2811		K	12.0	.4724	
....	.0145		79	1.95	.0767			4.25	.1673			7.14	.2812	9/32	....	12.30	.4843	31/64
.39	.0156	1/64	....	1.98	.0781	5/64	....	4.3	.1693			7.2	.2835			12.5	.4921	
.4	.0157			....	.0785		47	....	.1695		18	7.25	.2854			12.7	.5000	1/2
....	.0160		78	2.0	.0787			4.37	.1719	11/64	....	7.3	.2874			13.0	.5118	
.45	.0177			2.05	.0807			....	.1730		17	....	.2900		L	13.10	.5156	33/64
....	.0180		77	....	.0810		46	4.4	.1732			7.4	.2913			13.49	.5312	17/32
.5	.0197			....	.0820		45	....	.1770		16	....	.2950		M	13.5	.5315	
....	.0200		76	2.1	.0827			4.5	.1771			7.5	.2953			13.89	.5469	35/64
....	.0210		75	2.15	.0846			....	.1800		15	7.54	.2968	19/64	....	14.0	.5512	
.55	.0217			....	.0860		44	4.6	.1811			7.6	.2992			14.29	.5625	9/16
....	.0225		74	2.2	.0866			....	.1820		14	....	.3020		N	14.5	.5709	
.6	.0236			2.25	.0885			4.7	.1850		13	7.7	.3031			14.68	.5781	37/64
....	.0240		73	....	.0890		43	4.75	.1870			7.75	.3051			15.0	.5906	
....	.0250		72	2.3	.0905			4.76	.1875	3/16	....	7.8	.3071			15.08	.5937	19/32
.65	.0256			2.35	.0925			4.8	.1890		12	7.9	.3110			15.48	.6094	39/64
....	.0260		71	....	.0935		42	....	.1910		11	7.94	.3125	5/16	....	15.5	.6102	
....	.0280		70	2.38	.0937	3/32	....	4.9	.1929			8.0	.3150			15.88	.6250	5/8
.7	.0276			2.4	.0945			....	.1935		10	....	.3160		O	16.0	.6299	
....	.0292		69	....	.0960		41	....	.1960		9	8.1	.3189			16.27	.6406	41/64
.75	.0295			2.45	.0964			5.0	.1968			8.2	.3228			16.5	.6496	
....	.0310		68	....	.0980		40	....	.1990		8	....	.3230		P	16.67	.6562	21/32
.79	.0312	1/32	....	2.5	.0984			5.1	.2008			8.25	.3248			17.0	.6693	
.8	.0315			....	.0995		39	....	.2010		7	8.3	.3268			17.06	.6719	43/64
....	.0320		67	....	.1015		38	5.16	.2031	13/64	....	8.33	.3281	21/64	....	17.46	.6875	11/16
....	.0330		66	2.6	.1024			....	.2040		6	8.4	.3307			17.5	.6890	
.85	.0335			....	.1040		37	5.2	.2047			....	.3320		Q	17.86	.7031	45/64
....	.0350		65	2.7	.1063			....	.2055		5	8.5	.3346			18.0	.7087	
.9	.0354			....	.1065		36	5.25	.2067			8.6	.3386			18.26	.7187	23/32
....	.0360		64	2.75	.1082			5.3	.2086			....	.3390		R	18.5	.7283	
....	.0370		63	2.78	.1094	7/64	....	....	.2090		4	8.7	.3425			18.65	.7344	47/64
.95	.0374			....	.1100		35	5.4	.2126			8.73	.3437	11/32	....	19.0	.7480	
....	.0380		62	2.8	.1102			....	.2130		3	8.75	.3445			19.05	.7500	3/4
....	.0390		61	....	.1110		34	5.5	.2165			8.8	.3465			19.45	.7656	49/64
1.0	.0394			....	.1130		33	5.56	.2187	1/32	....	....	.3480		S	19.5	.7677	
....	.0400		60	2.9	.1141			5.6	.2205			8.9	.3504			19.84	.7812	25/32
....	.0410		59	....	.1160		32	....	.2210		2	9.0	.3543			20.0	.7874	
1.05	.0413			3.0	.1181			5.7	.2244			....	.3580		T	20.24	.7969	51/64
....	.0420		58	....	.1200		31	5.75	.2263			9.1	.3583			20.5	.8071	
....	.0430		57	3.1	.1220			....	.2280		1	9.13	.3594	23/64	....	20.64	.8125	13/16
1.1	.0433			3.18	.1250	1/8	....	5.8	.2283			9.2	.3622			21.0	.8268	
1.15	.0452			3.2	.1260			5.9	.2323			9.25	.3641			21.03	.8281	53/64
....	.0465		56	3.25	.1279			....	.2340		A	9.3	.3661			21.43	.8437	27/32
1.19	.0469	3/64	....	....	.1285		30	5.95	.2344	15/64	....	....	.3680		U	21.5	.8465	
1.2	.0472			3.3	.1299			6.0	.2362			9.4	.3701			21.83	.8594	55/64
1.25	.0492			3.4	.1338			....	.2380		B	9.5	.3740			22.0	.8661	
1.3	.0512			....	.1360		29	6.1	.2401			9.53	.3750	3/8	....	22.23	.8750	7/8
....	.0520		55	3.5	.1378			....	.2420		C	....	.3770		V	22.5	.8858	
1.35	.0531			....	.1405		28	6.2	.2441			9.6	.3780			22.62	.8906	57/64
....	.0550		54	3.57	.1406	9/64	....	6.25	.2460		D	9.7	.3819			23.0	.9055	
1.4	.0551			3.6	.1417			6.3	.2480			9.75	.3838			23.02	.9062	29/32
1.45	.0570			....	.1440		27	6.35	.2500	1/4	E	9.8	.3858			23.42	.9219	59/64
1.5	.0591			3.7	.1457		....	6.4	.2520			....	.3860		W	23.5	.9252	
....	.0595		53	....	.1470		26	6.5	.2559			9.9	.3898			23.81	.9375	15/16
1.55	.0610			3.75	.1476			....	.2570		F	9.92	.3906	25/64	....	24.0	.9449	
1.59	0.625	1/16	....	....	.1495		25	6.6	.2598			10.0	.3937			24.21	.9531	61/64
1.6	.0629			3.8	.1496			....	.2610		G	....	.3970		X	24.5	.9646	
....	.0635		52	....	.1520		24	6.7	.2638			....	.4040		Y	24.61	.9687	31/32
1.65	.0649			3.9	.1535			6.75	.2657	17/64	....	10.32	.4062	13/32	....	25.0	.9843	
1.7	.0669			....	.1540		23	6.75	.2657			....	.4130		Z	25,03	.9844	63/64
....	.0670		51	3.97	.1562	5/32	....	....	.2660		H	10.5	.4134			25.4	1.0000	1

Figura 12-15 Medidas de brocas.

O ângulo no qual a ponta da broca é afiada é chamado de ângulo da ponta da broca. Nas brocas padrão, usadas para cortar aço e ferro fundido, o ângulo deverá ser de 59º a partir do eixo da broca. Para furações rápidas em materiais macios, deve-se usar ângulos afiados.

O diâmetro de uma broca pode ser considerado de três maneiras: (1) por frações, (2) letras, ou (3) números.

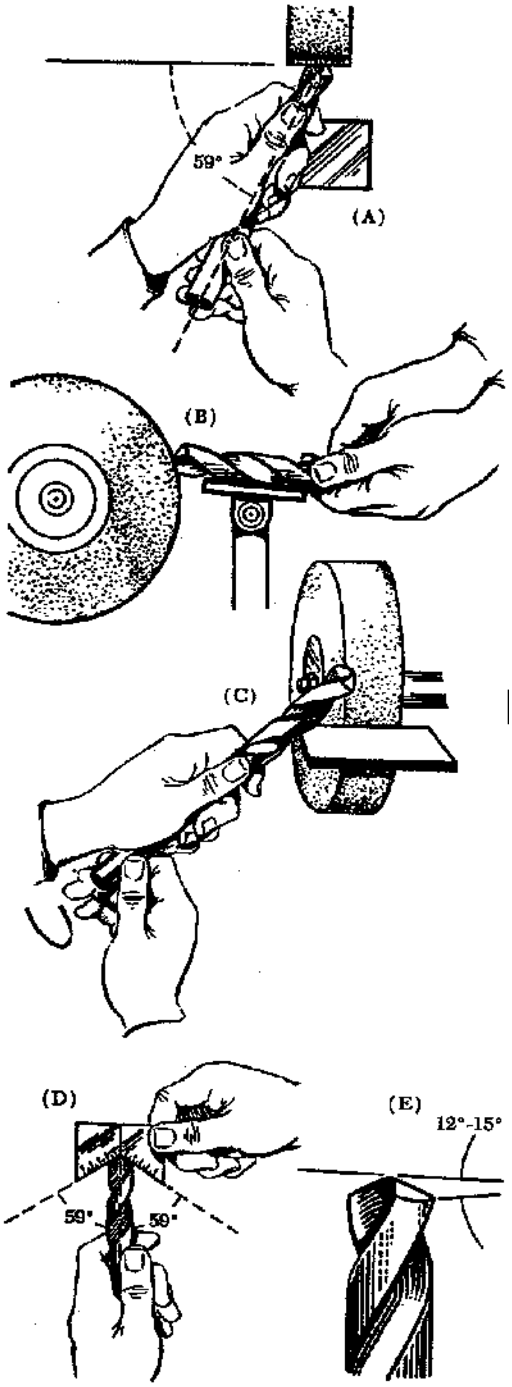


Figura 12-16 Procedimentos para afiar brocas.

Fracionamento eles são classificados em 16 avos de polegada (de 1/16 a 3 1/2 de polegada), em 32 avos de polegada (de 1/32 a 2 1/2 de polegada), ou em 64 avos de polegada (de 1/64 a 1 1/4 de polegada).

Para uma medição mais exata, um sistema de letras é usado com equivalentes decimais: A (0,234 de polegada) até Z (0,413 de polegada)

O sistema de classificação por números é mais acurado: nº 80 (0,0314 de polegada) para nº 1 (0,228 de polegada). O tamanho das brocas e seus equivalentes decimais são mostrados na figura 12-15.

As brocas deverão ser afiadas ao primeiro sinal de perda do corte.

Para a maioria das máquinas de furar, uma broca com o ângulo de corte de 118º (59º de cada lado do centro) será suficiente; no entanto, quando furando materiais macios, um ângulo de corte de 90º pode ser mais eficiente.

Procedimentos típicos para afiação de brocas são apresentados na figura 12-16:

1 - Ajustar o apoio de ferramentas do esmeril para uma altura conveniente para apoiar as costas da mão enquanto esmerilha.

2 - Manter a broca entre o polegar e o indicador da mão direita ou da esquerda; e agarrar o corpo da broca, próximo à haste com a outra mão.

3 - Colocar a mão no apoio de ferramentas com a linha de centro da broca, formando um ângulo de 59º com a face de corte da pedra do esmeril. Abaixamos ligeiramente a ponta da haste da broca.

4 - Vagarosamente colocar a aresta cortante da broca de encontro com a pedra do esmeril. Gradualmente vá abaixando a haste da broca, enquanto ela é girada no sentido dos ponteiros do relógio. Manter a pressão contra a superfície do esmeril, somente até que se atinja a parte lateral da broca.

5 - Conferir o resultado da afiação com um calibre, para determinar se as arestas de corte estão ou não do mesmo comprimento, e se o ângulo é de 59º.

Alargadores

São ferramentas usadas para ajustar e alargar orifícios para uma medida exata. Os alargadores manuais têm a ponta da haste em um formato quadrado para que possam ser girados com um desandador ou punho semelhante. Os vários tipos de alargadores são mostrados na figura 12-17.

Um orifício que tenha que ser ajustado para uma exata medida, deve ser furado com 0,003 a 0,007 de polegada, a menos, da medida desejada. Um corte que remova mais do que 0,007 de polegada oferece muita resistência ao alargador e não deverá ser tentado.

Os alargadores são feitos de aço carbono ou aço rápido. As lâminas de corte, ou navalhas de um alargador de aço rápido perdem o seu corte antes do que os de aço carbono; no entanto após a primeira super-afiação ter-se acabado ele ainda é utilizável. O alargador de aço rápido, usualmente é muito mais durável do que o tipo de aço carbono.

As lâminas dos alargadores são endurecidas até o ponto de ficarem quebradiças, e devem ser manuseadas cuidadosamente para evitar que elas se quebrem.

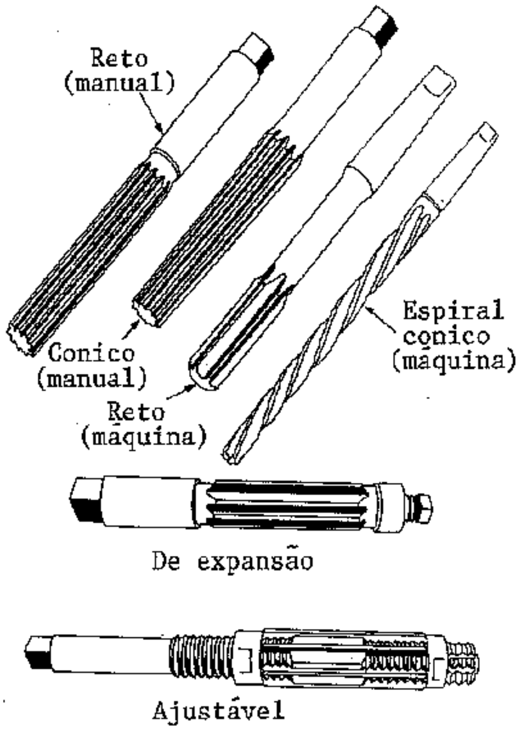


Figura 12-17 Alargadores.

Quando ajustando um furo, giramos o alargador somente na direção do corte.

Girando-o firme e constantemente evitarmos vibração ou marcas e cortes nas paredes do furo.

Os alargadores são encontrados em algumas medidas padronizadas. O de estrias retas é mais barato do que o de estrias helicoidais, mas o tipo helicoidal tem uma menor tendência de vibração.

Ambos os tipos são cônicos, em um pequeno espaço da ponta, para auxiliar o início do trabalho. Alguns tipos de alargadores, sem conicidade, são usados para ajustar até o final de orifícios cegos.

Para o uso geral, o mais prático é o alargador de expansão. Esse tipo é encontrado nas medidas padrão de 1/4 de polegada a 1 polegada, aumentando o diâmetro em incrementos de 1/32 de polegada.

Alargadores cônicos, tanto operados manualmente como por meio de máquinas, são usados para orifícios lisos e de exata conicidade ou em encaixes.

Escareadores

São ferramentas que cortam em forma cônica uma depressão ao redor de um furo, para permitir que um rebite ou parafuso fique no mesmo plano da superfície do material.

Escareadores são feitos com vários ângulos, para que estes se correspondam com os das cabeças escareadas dos rebites e dos parafusos. O ângulo do escareador padrão mostrado na figura 12-18 é de 100º.

Existem escareadores especiais com batentes limitadores (figura 12-18) que são ajustáveis para qualquer profundidade desejada, e, cujos cortadores são intercambiáveis, para que possam ser feitos orifícios com os mais variados ângulos de conicidade.

Alguns escareadores com batente têm um dispositivo de regulagem micrométrica (em incrementos de 0,001 de polegada) para ajustagem da profundidade do corte.

Quando usando um escareador, muito cuidado deve ser tomado para não remover uma excessiva quantidade de material, porque isto reduz a resistência de uma junta embutida.

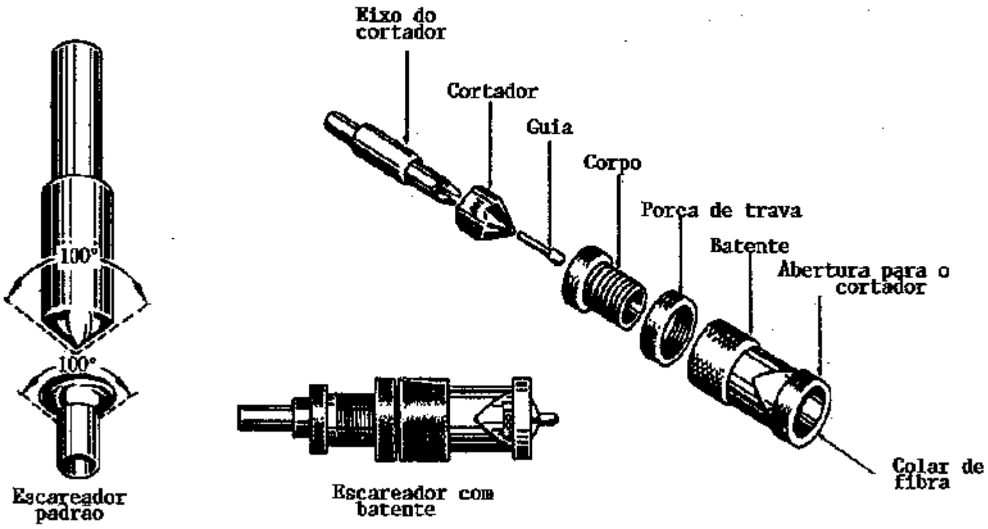

Eixo do cortador
Cortador
Guia
Corpo
Porça de trava
Batente
Abertura para o cortador
100°
100°
Escareador padrão
Escareador com batente
Colar de fibra

Figura 12-18 Escareadores.

FERRAMENTAS DE MEDIÇÃO

As ferramentas de medição são consideradas ferramentas de precisão. Elas são cuidadosamente maquinadas, acuradamente marcadas e em muitos casos, são compostas por muitas partes delicadas.

Quando usando essas ferramentas, precisamos ter cuidado em não deixa-las cair, entortar, ou arranhar.

O produto acabado não será mais exato do que as medidas ou o desenho; portanto é muito importante entender como ler, usar e cuidar destas ferramentas.

Réguas

As réguas são feitas de aço e podem ser rígidas ou flexíveis. As flexíveis não devem ser dobradas intencionalmente, porque podem partir-se facilmente.

Em trabalhos de aviação, a unidade de medida mais comum é a polegada, porém veremos também as medições pelo sistema métrico.

A polegada pode ser dividida em pequenas partes, tanto em frações comuns como em decimais.

As divisões fracionadas são encontradas pela divisão da polegada em partes iguais - metades (1/2), quartos (1/4), oitavos (1/8), dezesseis avos (1/16), trinta e dois avos (1/32) e sessenta e quatro avos (1/64) - como é mostrado na figura 12-19.

As frações de uma polegada podem ser expressas em decimais, chamados decimais equivalentes de uma polegada; por exemplo: 1/8 de polegada é expresso como 0,0125 (cento e vinte e cinco décimos de milésimos de uma polegada).

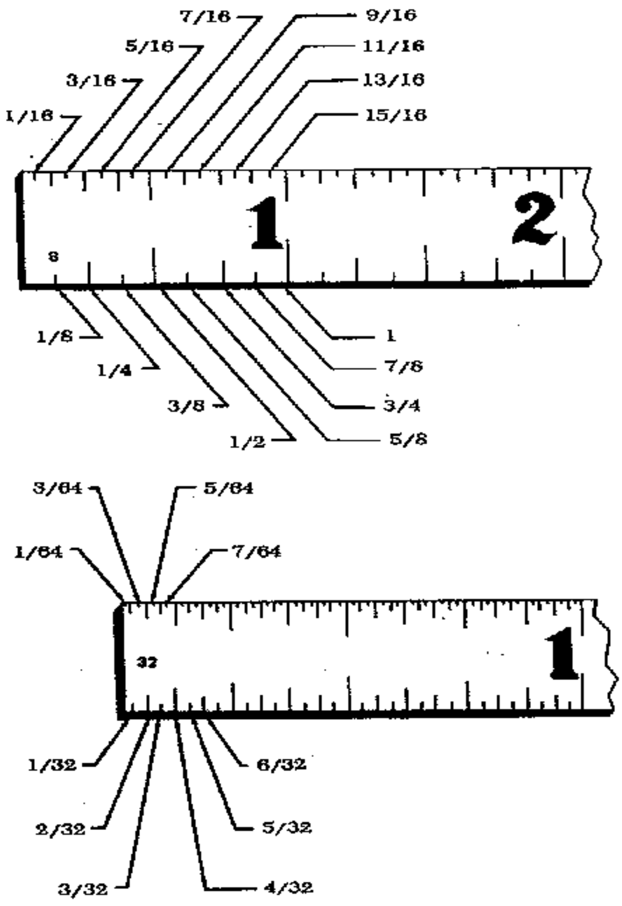

7/16
9/16
5/16
11/16
3/16
13/16
1/16
15/16
1
2
8
1/8
1
1/4
7/8
3/8
3/4
1/2
5/8
3/64
5/64
1/64
7/64
32
1
1/32
6/32
2/32
5/32
3/32
4/32

Figura 12-19 Réguas.

As réguas são fabricadas em dois estilos básicos, uma dividida ou marcada em frações comuns (figura 12-19), e a outra dividida ou marcada em decimais, ou divisões de um centésimo de uma polegada. Uma régua pode ser usada tanto como ferramenta de medição como de desenho.

As réguas graduadas pelo sistema métrico têm como menor divisão o milímetro e na maioria das vezes, são graduadas em polegadas na borda oposta, como mostra o exemplo da figura 12-19.

Esquadro combinado

A figura 12-20 apresenta o esquadro combinado, e como seu nome indica, é uma ferramenta que tem várias utilidades. Ela pode ser usada para as mesmas finalidades de um esquadro comum, mas com a diferença de poder mudar de posição na régua onde está encaixada e ser fixada na posição ideal. Combinado com o esquadro estão um nível de bolha e um riscador. O esquadro desliza em uma ranhura central da régua, a qual pode ser usada também separadamente.

O nível de bolha na cabeça do esquadro torna-o conveniente para colocar uma peça em esquadro, ao mesmo tempo em que informa a condição de nível de ambos os lados da peça. A cabeça do esquadro pode ser usada separadamente da régua, como um nível comum.

A combinação da cabeça do esquadro com a régua pode ser usada, também, para traçagem de linhas em ângulos de 45º, como medidor de profundidade ou de altura.

Um conveniente riscador é mantido sob pressão na cabeça do esquadro, por meio de uma bucha de latão.

A cabeça de centrar ou esquadro de centrar é usado para determinar o centro de eixos ou de outros trabalhos cilíndricos.

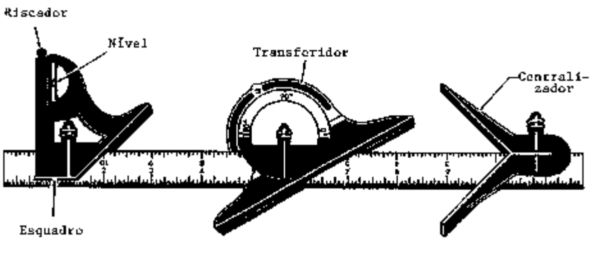


Figura 12-20 Esquadro combinado.

O transferidor pode ser usado para conferir ângulos e, também, pode ser regulado para qualquer ângulo desejado, quando traçando linhas em desenhos.

Riscador

O riscador é indicado para servir ao mecânico de aviação, da mesma maneira que o lápis ou a caneta servem para escrever. Em geral ele é usado para escrever ou marcar linhas nas superfícies metálicas. O riscador (fig.12-21) é feito de aço para ferramentas, com 4 a 12 polegadas de comprimento, e tem as duas extremidades pontiagudas bem finas. Uma das pontas é dobrada a 90º para poder atingir e marcar através de furos.

Antes de usar um riscador, sempre inspecionamos as pontas quanto a afiação. Certificamos-nos de que a régua está assentada na superfície e na posição de riscar. O riscador é ligeiramente inclinado na direção em que será movimentado e se mantém como um lápis. A ponta do riscador deve ser mantida encostado na borda da régua. O traço deve ser forte o suficiente para ficar visível, porém não mais profundo do que o necessário para aquela finalidade.

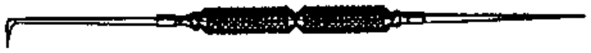


Figura 12-21 Riscador.

Compassos

Os compassos são usados para desenho de arcos ou círculos, para transferir medidas do desenho para o trabalho, para medições de diâmetros internos ou externos, e comparação de medidas de uma régua para um trabalho.

Os compassos têm duas pernas unidas na parte superior por um eixo, e a maioria deles possui um dispositivo de fixação da regulagem.

Os compassos para desenho podem ter uma das pernas pontiaguda, e a outra com uma fixação para grafite ou para um lápis; e um outro tipo possui as duas pernas pontiagudas.

Quando usando os compassos para desenho, sugerimos os seguintes procedimentos:

1 - Inspecionar as pontas para certificar-se de que estão afiadas.

2 - Para selecionar uma medida, manter uma das pontas do compasso na graduação da régua; afastar a outra perna do compasso, atuando no dispositivo de fixação da regulagem, se for o caso, até que seja alcançada a graduação da régua que indica a medida requerida.

3 - Para desenhar um arco ou um círculo, manter a parte superior do compasso com o dedo polegar e o indicador e colocar uma das pontas no ponto que será o centro do desenho. Exercendo pressão em ambas as pernas, girar o compasso na direção dos ponteiros do relógio e riscar o desejado arco ou círculo.

4 - A tendência que as pernas têm de deslizar, é evitado, inclinando-se o compasso na direção para a qual ele está sendo deslocado. Nos trabalhos com metal, os compassos de pontas metálicas são usados para traçar arcos ou círculos somente quando os riscos forem removidos pelo corte. Todos os outros arcos ou círculos devem ser riscados com o compasso, com grafite ou lápis, para evitar arranhões no material.

5 - Nos desenhos em papel, os compassos com grafite ou lápis são usados para riscar arcos ou círculos. Os compassos de pontas são usados para transferir medidas críticas, porque eles são mais exatos do que o compasso com grafite ou lápis.

Os compassos em mecânica são usados para medir diâmetros e distâncias, ou para comparar distâncias e medidas.

Os três tipos mais comuns são: o compasso para medidas internas, o compasso para medidas externas; e o hermafrodita, que pode realizar as duas funções. (ver figura 12-22).

Compassos para medidas externas são usados para medir, por exemplo, o diâmetro de uma barra de seção circular.

Os compassos para medidas internas têm as pontas curvadas para permitir a medição de diâmetros internos de tubos ou furos, a distância entre duas superfícies, a largura de ranhuras e outras medidas semelhantes.

Um compasso hermafrodita é usado, geralmente, como um instrumento de traçagem de linhas paralelas ou transferência de medidas.

O compasso hermafrodita não deve ser usado em medições de precisão.

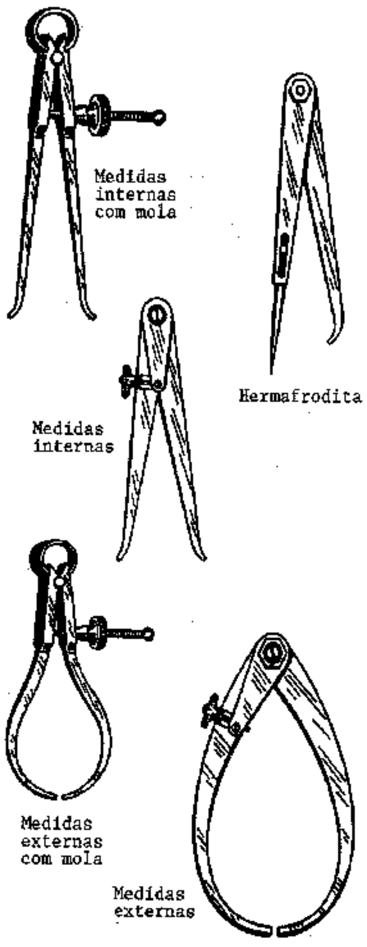


Figura 12-22 Compassos.

Os compassos para medidas internas têm as pontas curvadas para permitir a medição de diâmetros internos de tubos ou furos, a distância entre duas superfícies, a largura

Paquímetro

O paquímetro, também chamado de Calibre Vernier, é um instrumento para medidas de precisão, da ordem de um décimo de milímetro, geralmente feito de aço inoxidável e com escalas graduadas em milímetros ou frações de polegada. A figura 12-23 apresenta um paquímetro com as duas graduações.

Os vários tipos de paquímetros são utilizados para verificação de medidas externas, internas, de profundidade e de roscas.

O paquímetro consiste de uma haste, semelhante a uma régua, que contém a escala (em milímetros, frações da polegada ou ambas) com um bico fixo para as medidas externas; e uma orelha, também fixa, para as medidas internas.

Um cursor, que desliza ao longo da haste, possui o bico e a orelha móveis para as medidas externas e internas, e uma haste fina para as medidas de profundidade.

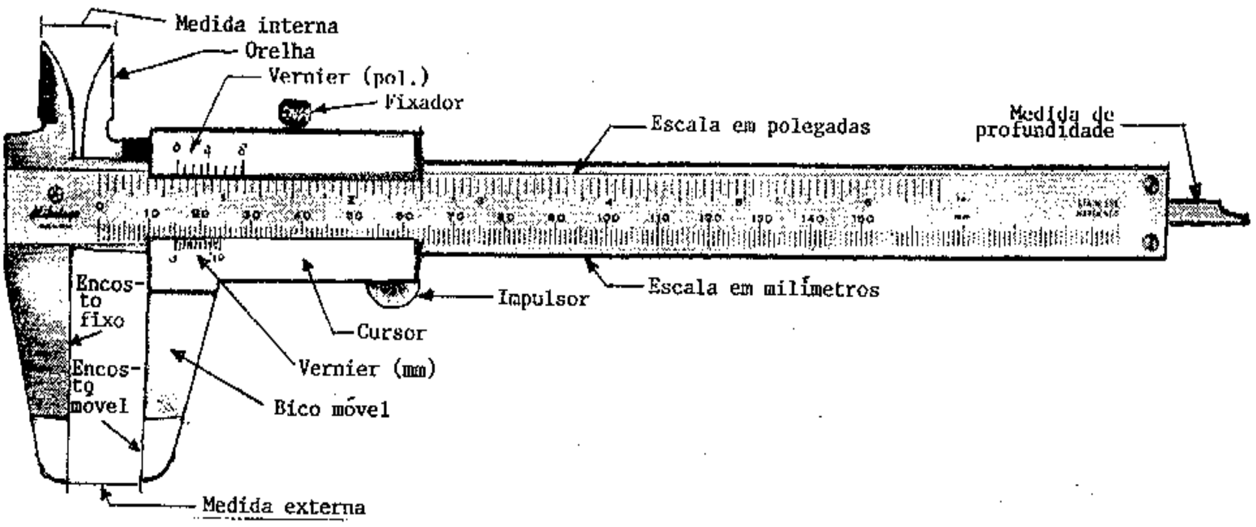

Medida interna
Orelha
Vernier (pol.)
Fixador
Escala em polegadas
Medida de profundidade
Encosto fixo
Encosto móvel
Impulsor
Escala em milímetros
Cursor
Vernier (mm)
Bico móvel
Medida externa

Figura 12-23 - Paquímetro.

Um botão impulsor permite o comando do cursor, e um parafuso de trava impede o seu deslocamento durante a leitura.

Ainda no cursor encontramos a graduação Vernier, que para a escala em milímetros tem a medida de nove milímetros divididos em dez partes iguais (cada parte correspondendo a 9/10 ou seja, 0,9 milímetros); para a escala em frações de polegada a graduação Vernier tem o comprimento de 7/16 de polegada, divididos em oito partes iguais (cada parte corresponde a 1/128 da polegada).

LEITURA DO PAQUÍMETRO

Colocamos a peça a ser medida entre os bicos do paquímetro acionando o cursor por meio do botão impulsor, suavemente para que toque na peça sem forçar. Travamos se então, o cursor apertando o parafuso para este fim.

Lê-se o número de milímetros existentes antes do zero do cursor. Na figura 12-24 o número de milímetros anteriores ao zero é 29.

Para sabermos a fração de milímetro até o zero, basta verificamos qual o traço da graduação Vernier do cursor que coincide com um dos traços da escala de milímetros.

No exemplo "A" da figura 12-24 é o traço número quatro, portanto aos 29 milímetros teremos que acrescentar quatro décimos, ou seja, 0,4 milímetros. A medida final será de 29 + 0,4 = 29,4 milímetros.

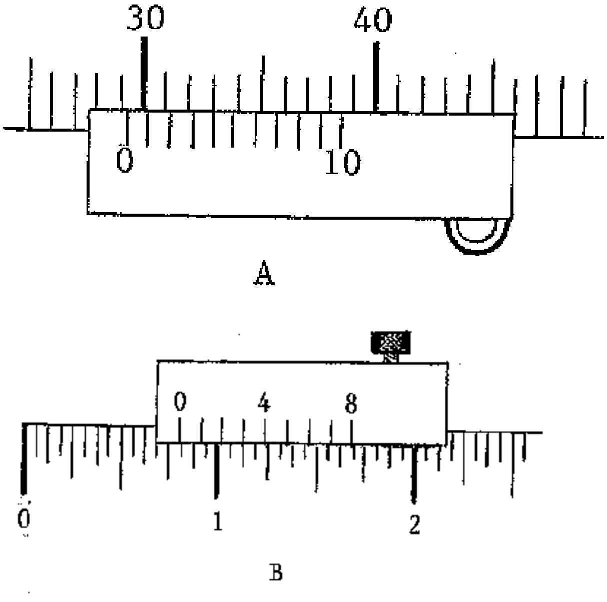

30
40
0
10
A
0
4
8
0
1
2
B

Figura 12-24 Leituras do Paquímetro.

No paquímetro graduado em frações de polegada o procedimento é o mesmo, porém a polegada está dividida em 16 avos. Antes do zero do cursor, encontramos 12/16 avos que, simplificando, chegaremos a 3/4 de polegada.

Para sabermos a fração até o zero do cursor, basta verificarmos qual o traço da graduação Vernier que coincide com um dos traços da escala da haste em frações de polegada.

No exemplo "B" da figura 12-24, é o traço número três, portanto aos 3/4 de polegada teremos que acrescentar 3/128" (cada traço da graduação Vernier corresponde a 1/128"). A medida final será $\frac{3}{4}+\frac{3}{128}=\frac{96+3}{128}=\frac{99}{128}pol$

Para verificação de medidas com uma régua, a leitura é imprecisa quando se trata de aproximações pequenas, como 1/32 ou 1/64 de polegada, porque os traços são muito próximos e pouco nítidos. Com um paquímetro as leituras, além de mais práticas, são mais precisas, porque podem ser medidas as aproximações de 1/128 ou seja, a metade de 1/64 de polegada.

Micrômetros

Existem quatro tipos de micrômetros, cada um designado para um uso específico. Eles são conhecidos como sendo: para medidas externas, para medidas internas, de profundidade e para roscas.

Os micrômetros são encontrados com graduações para polegadas ou para milímetros, e em uma variedade de medidas como de 0 a 1/2", 0 a 1", 1 a 2", 2 a 3", 3 a 4", 4 a 5" ou 5 a 6"; os de leitura em milímetros são de 0 a 25 mm, 25 a 50 mm e outros menos comuns para maiores capacidades de medida.

O micrômetro, para medidas externas (figura 12-25), é usado pelo mecânico mais freqüentemente do que qualquer outro tipo.

Este pode ser usado para medir as dimensões externas de eixos, espessuras de chapas de metal, diâmetro de brocas, e para muitas outras aplicações.

A menor medida que pode ser verificada com o uso de uma régua de aço é de 1/64 de polegada e com um paquímetro é de 1/128 de polegada, porém quando for necessário medir mais rigorosamente (em milésimos ou décimos de milésimos de polegada) deverá ser usado o micrômetro.

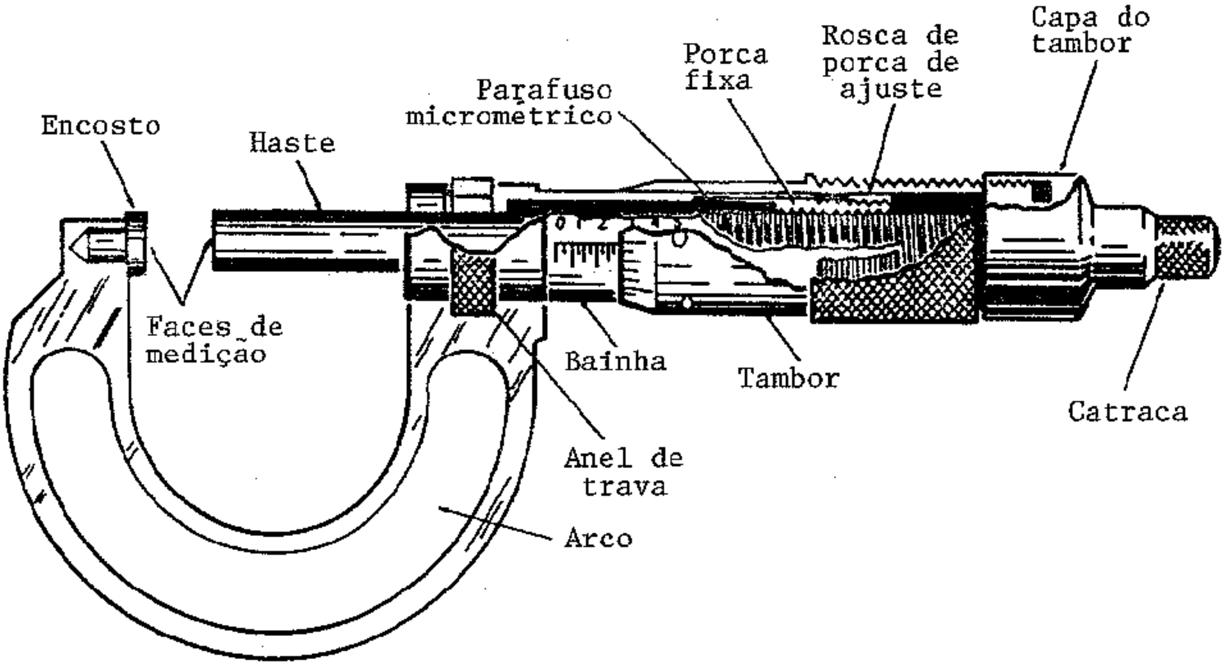


Figura 12-25 Micrômetro.

Se uma determinada dimensão, em fração comum, tiver que ser medida com um micrômetro, a fração deverá ser convertida para seu equivalente decimal.

Todos os tipos de micrômetros são lidos da mesma maneira.

O método de leitura em um micrômetro para medidas externas será apresentado mais adiante neste capítulo.

Partes De Um Micrômetro

As partes fixas de um micrômetro (figura 12-25) são o arco, a bainha e o encosto, e as partes móveis são o tambor e a haste. Ao girar-se o tambor, a haste que possui no seu prolongamento um parafuso micrométrico, também gira através de uma porca fixada na bainha. Este movimento do tambor provoca o afastamento entre o encosto e a extremidade da haste, proporcionando o espaço onde o material será medido.

Para evitar um aperto demasiado, uma catraca que faz parte do tambor, interrompe o curso da haste ao tocar na peça a ser medida. A indicação da medida será através das graduações da bainha e do tambor.

Leitura do micrômetro

As linhas na bainha marcadas com os números 1, 2, 3 etc, indicam as medidas dos décimos, ou 0,100 de polegada, 0,200 de polegada, 0,300 de polegada, respectivamente (figura 12-26).

Cada um dos espaços entre os décimos (entre o 1, 2, 3 etc.) está dividido em quatro partes de 0,025 de polegada cada uma. Em cada volta completa do tambor (do zero do tambor até o mesmo zero) ele desloca uma dessas divisões (0,025 de polegada) ao longo da bainha.

O setor graduado do tambor (na vertical) está dividido em vinte e cinco partes iguais. Cada uma dessas partes representa vinte e cinco avos da distância que o tambor percorre, ao longo da bainha, de uma divisão de 0,025 de polegada até a outra.

Então, cada divisão do tambor representa um milésimo de uma polegada (0,001). Estas divisões estão marcadas por conveniência a cada cinco espaços por 0, 5, 10, 15 e 20. Quando vinte e cinco destas graduações tiverem passado pela linha horizontal na bainha (completando uma volta), a haste deslocou-se 0,025 de polegada.

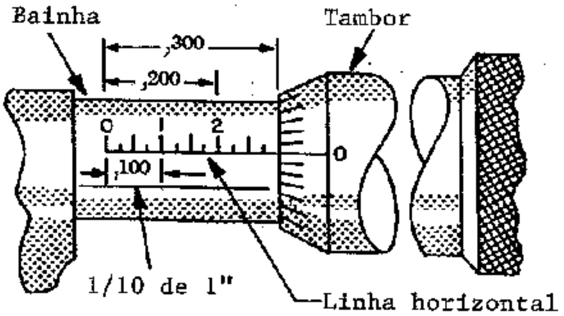


Figura 12-26 Medição com o micrômetro.

A primeira leitura de um micrômetro é verificar qual o último algarismo visível na linha horizontal da bainha, representando os décimos de polegada.

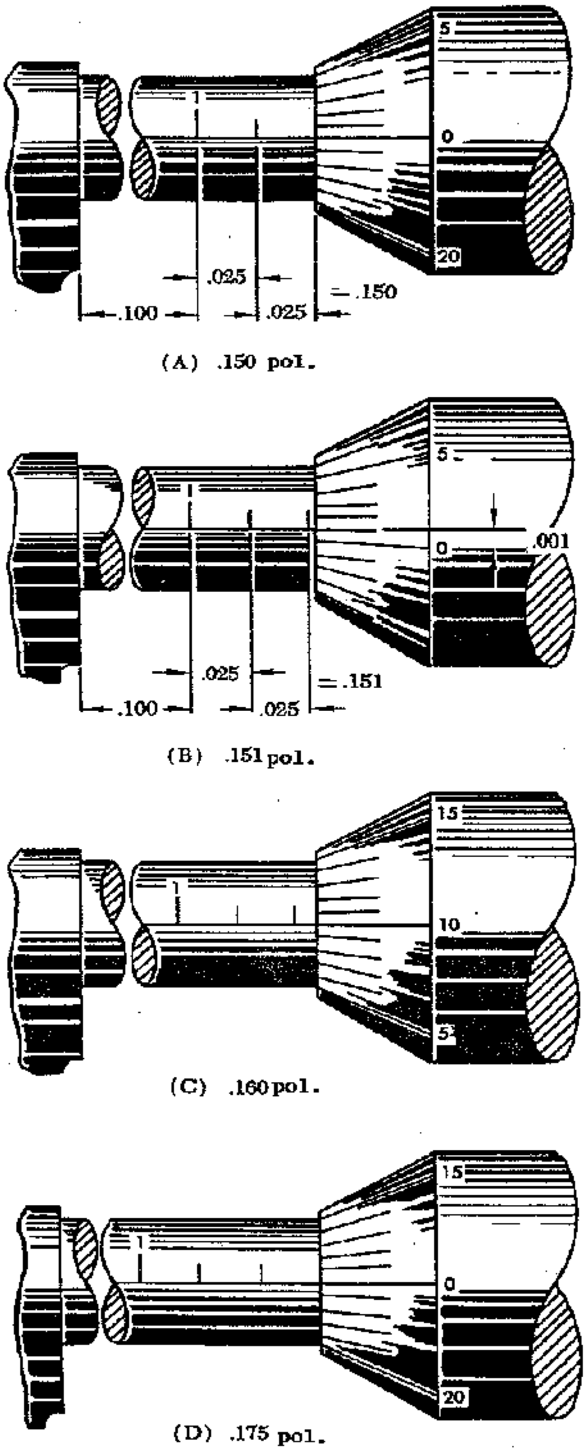


Figura 12-27 Leitura do micrômetro.

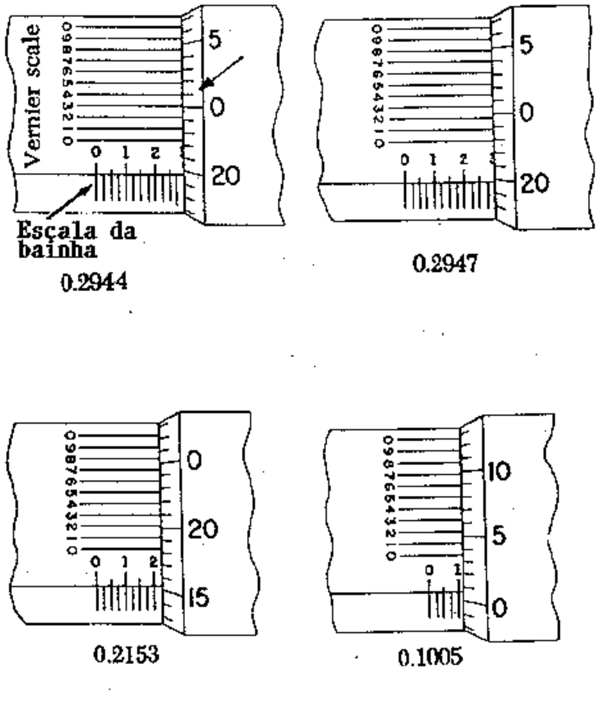
Adiciona-se a este número a distância entre ele e a borda do tambor (isto é feito multiplicando-se o número de traços por 0,025 da polegada).

Adiciona-se em seguida o número da divisão do tambor (graduação vertical) que coincide com a linha da graduação horizontal. A soma das três anotações será a medida final (a figura 12-27 apresenta exemplos de leituras do micrômetro).

Escala Vernier

Alguns micrômetros são equipados com uma escala Vernier, a qual torna possível a leitura direta da fração de uma divisão, indicada na escala do tambor. Exemplos típicos da aplicação da escala Vernier aos micrômetros são apresentados na figura 12-28.

As três escalas de um micrômetro não são totalmente visíveis sem girarmos o micrômetro, mas nos exemplos da figura 12-28 foram desenhadas as três escalas em sua posição relativa, mas no mesmo plano, para que as três escalas pudessem ser vistas ao mesmo tempo. A escala da bainha é a escala horizontal; a do tambor é a vertical da direita; e as linhas horizontais longas (de 0 a 9 e 0) compõem a escala Vernier.



0.2944

0.2947

0.2153

0.1005

Figura 12-28 Escala Vernier.

Para a leitura de um micrômetro, um excelente meio de conhecer os valores relativos das escalas é lembrar que as graduações de 0,025 da bainha são estabelecidas pelos fios de rosca do prolongamento da haste (40 fios de rosca por polegada). Em seguida, que as graduações do tambor dividem os 0,025 de polegada em 25 partes, sendo cada uma igual a 0,001 (um milésimo da polegada); e, finalmente, as graduações da escala Vernier dividem o milésimo de polegada 10 partes iguais, sendo cada uma igual a 0,0001 de polegada (um décimo de milésimo de polegada).

Lembrando os valores das graduações das escalas: anota-se a leitura da escala da bainha; soma-se a ela a leitura da escala do tambor; então, soma-se a leitura da escala Vernier para ter-se a medida final. A linha da escala Vernier a ser lida, é sempre aquela que estiver exatamente alinhada com uma das linhas do tambor (exemplos na figura 12-28).

No micrômetro com medidas em milímetros, o processo de leitura é exatamente igual ao de polegadas, com as diferentes características do sistema. A graduação da bainha é em milímetros e meios milímetros; a do tambor é dividida em 50 partes iguais; e a escala Vernier em 10 partes. A leitura da bainha nos dá a unidade que é o milímetro, o tambor os centésimos e o Vernier os milésimos (exemplos na figura 12-28).

No primeiro exemplo da figura 12-28, na bainha lê-se 0,275 de polegada; e no tambor, 0,019 e mais uma fração. A linha correspondente ao 1 do tambor coincide com a graduação número 4 do Vernier (0,0004). Então, a leitura final será: 0,275 + 0,019 + 0,0004 = 0,2944 de polegada.

No segundo exemplo lê-se na bainha 0,2 de polegada, no tambor 0,0015 e no Vernier 0,0003, dando uma leitura final de 0,2153 de polegada.

No terceiro exemplo da figura 12-28, em um micrômetro com graduação em milímetros, na bainha lê-se 6,5 milímetros; e no tambor, 0,20 e mais uma fração.

A linha correspondente ao 28 do tambor coincide com a graduação número 5 do Vernier (0,005). Então, a leitura final será: 6,5 + 0,20 + 0,005 = 6,705 milímetros.

No quarto exemplo lê-se na bainha, 4 milímetros no tambor 0,45 e no Vernier 0,003 dando uma leitura final de 4,453 milímetros.

Usando o micrômetro

O micrômetro deve ser manuseado cuidadosamente. Se sofrer uma queda, sua sensibilidade estará permanentemente afetada. O atrito contínuo do trabalho a ser medido com as faces do encosto e da haste poderá desgastar as superfícies.

Se a haste sofrer um aperto muito forte, o arco poderá sofrer um empeno permanente, resultando em leituras incorretas.

Para medir uma peça com um micrômetro, mantemos o arco na palma da mão, de modo que o polegar e o indicador estejam livres para girar o tambor para os ajustes.

FERRAMENTAS PARA ABRIR ROSCAS

A ferramenta usada para abrir roscas internas é chamada de "macho", e a usada para abrir roscas externas é chamada de "cossinete". Ambas são feitas de aço temperado e afiadas para uma medida exata.

Existem quatro tipos de fios de rosca que podem ser feitos com os machos e cossinetes. São eles: *National Coarse*, *National Fine*, *National Extra Fine* e *National Pipe.*

Os machos vêm acondicionados em um conjunto de três peças para cada diâmetro e tipo de rosca.

Cada conjunto contém um macho com entrada ou cônico, um semicônico e o paralelo. Os machos de um conjunto são de diâmetro e seção idênticos, a única diferença é na quantidade de fios de rosca. (ver fig. 12-29).

O macho cônico é usado para iniciar o processo, porque ele é cônico no espaço de 6 a 7 fios de rosca.

Ele só abre uma rosca completa quando ultrapassar toda a parte cônica. Quando o furo atravessa todo o material, pode-se usar apenas o macho cônico.

O macho semicônico suplementa o cônico para abrir rosca em furos de uma chapa grossa. O macho paralelo é usado para abrir roscas em furos cegos, isto é, os que não atravessam o material.

Os cossinetes são classificados em comuns ou sólidos e os ajustáveis. Os ajustáveis possuem um parafuso, que ao ser apertado cria uma folga entre as roscas. Pela ajustagem do cossinete, o diâmetro e a ajustagem da rosca podem ser controlados.

Os cossinetes sólidos ou comuns não são ajustáveis, portanto só podem executar um tipo de fio de rosca.

Existem vários tipos de ferramentas para girar machos e cossinetes: o punho "T", os desandadores para machos e para cossinetes.

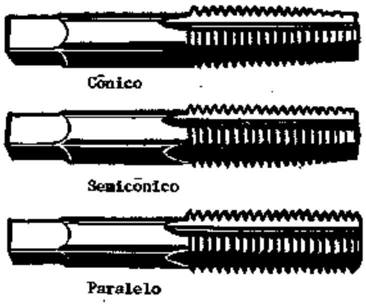
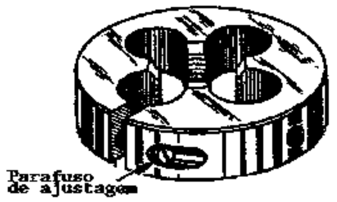
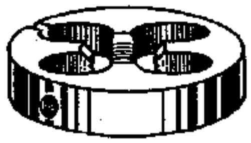


Figura 12-29 Machos.



A - Cossinete ajustável



B - Cossinete sólido

Figura 12-30 Cossinetes.

Ao conjunto cossinete e desandador, dá-se o nome de "tarraxa".

A figura 12-31 apresenta os tipos mais comuns de desandadores. Informações sobre medidas e tipos de roscas são mostradas nas figuras 12-32, 12-33 e 12-34.

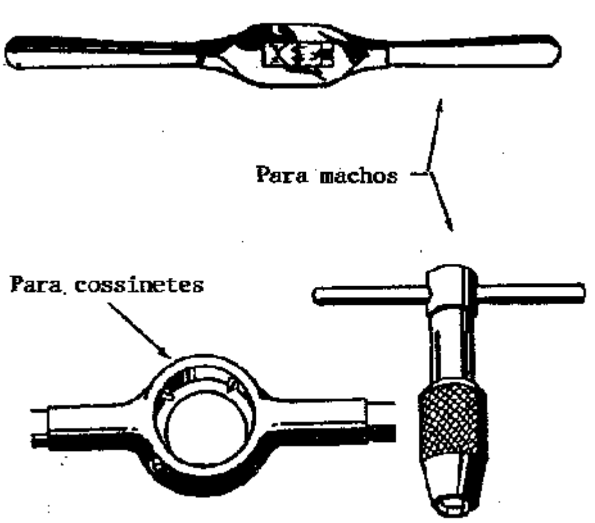


Figura 12-31 Desandadores.

Diâmetro da broca	Metais macios 300 F.P.M.	Plásticos, Borracha 200 F.P.M.	Ferro Fund.Temp 140 F.P.M.	Aço macio 100 F.P.M.	Ferro maleavel 90 F.P.M.	Ferro Fund.duro 80 F.P.M.	Aço de ferram. 60 F.P.M.	Ligas Aço Aço fund. 40 F.P.M.
1/16 (No. 53 to 80)	18320	12217	8554	6111	5500	4889	3667	2445
3/32 (No. 42 to 52)	12212	8142	5702	4071	3666	3258	2442	1649
1/8 (No. 31 to 41)	9160	6112	4278	3056	2750	2445	1833	1222
5/32 (No. 23 to 30)	7328	4888	3420	2444	2198	1954	1465	977
3/16 (No. 13 to 22)	6106	4075	2852	2037	1833	1630	1222	815
7/32 (No. 1 to 12)	5234	3490	2444	1745	1575	1396	1047	698
1/4 (A to E)	4575	3055	2139	1527	1375	1222	917	611
9/32 (G to K)	4071	2712	1900	1356	1222	1084	814	542
9/16 (L, M, N)	3660	2445	1711	1222	1100	978	733	489
11/32 (O to R)	3330	2220	1554	1110	1000	888	666	444
3/8 (S, T, U)	3050	2037	1426	1018	917	815	611	407
13/32 (V to Z)	2818	1878	1316	939	846	752	563	376
7/16	2614	1746	1222	873	786	698	524	349
15/32	2442	1628	1140	814	732	652	488	326
1/2	2287	1528	1070	764	688	611	458	306
9/16	2035	1357	950	678	611	543	407	271
3/8	1830	1222	856	611	550	489	367	244
11/16	1665	1110	777	555	500	444	333	222
3/4	1525	1018	713	509	458	407	306	204

A tabela refere-se a brocas de alta velocidade. Para brocas de carbono, reduzir a velocidade pela metade. Usar a velocidade mais próxima da indicada.

Figura 12-34 Velocidades para brocas.

Medida em pol.	Nº de fios por pol.	Diâmetro médio		Comprimento		Diâmetro externo do tubo em polegadas.	Profundidade da rosca em pol.	Ferramentas para roscas em tubos	
		A	B	L2	L1			Menor diâm. Tubos finos	Medida da ferramenta
1/8	27	.36351	.37476	.2638	.180	.405	.02963	.33388	R
1/4	18	.47739	.48989	.4018	.200	.540	.04444	.43294	7/16
3/8	18	.61201	.62701	.4078	.240	.675	.04444	.56757	37/64
1/2	14	.75843	.77843	.5337	.320	.840	.05714	.70129	23/32
3/4	14	.96768	.98887	.5457	.339	1.050	.05714	.91054	59/64
1	11-1/2	1.21363	1.23863	.6828	.400	1.315	.06957	1.14407	1-5/32
1-1/4	11-1/2	1.55713	1.58338	.7068	.420	1.660	.06957	1.48757	1-1/2
1-1/2	11-1/2	1.79609	1.82234	.7235	.420	1.900	.06957	1.72652	1-47/64
2	11-1/2	2.26902	2.29627	.7565	.436	2.375	.06957	2.19946	2-7/32
2-1/2	8	2.71953	2.76216	1.1375	.682	2.875	.10000	2.61953	2-5/8
3	8	3.34062	3.38850	1.2000	.766	3.500	.10000	3.24063	3-1/4
3-1/2	8	3.83750	3.88881	1.2500	.821	4.000	.10000	3.73750	3-3/4
4	8	4.33438	4.38712	1.3000	.844	4.500	.10000	4.23438	4-1/4

Figura 12-33 Dimensões de roscas em tubos “*American*” (*National*) e medidas de ferramentas para abrir roscas em tubos.

TIPOS DE ROSCA AMERICANA (NATIONAL) GROSSA "MEDIUM FIT." (CLASSE 3-NC)					TIPOS DE ROSCA AMERICANA (NATIONAL) FINA "MEDIUM FIT." (CLASSE 3-NF)				
Medida e roscas	Diâmetro do corpo para roscas	Broca	Furação		Medida e roscas	Diâmetro do corpo para roscas	Broca	Furação	
			Diâmetro do furo previsto	Broca padrão				Diâmetro do furo previsto	Broca padrão
					0-80	.060	52	.0472	3/64
1-64	.073	47	.0575	#53	1-72	.073	47	.0591	#53
2-56	.086	42	.0682	#51	2-64	.086	42	.0700	#50
3-48	.099	37	.078	5/64	3-56	.099	37	.0810	#46
4-40	.112	31	.0866	#44	4-48	.112	31	.0911	#42
5-40	.125	29	.0995	#39	5-44	.125	25	.1024	#38
6-32	.138	27	.1063	#36	6-40	.138	27	.113	#33
8-32	.164	18	.1324	#29	8-36	.164	18	.136	#29
10-24	.190	10	.1472	#26	10-32	.190	10	.159	#21
12-24	.216	2	.1732	#17	12-28	.216	2	.180	#15
1/4-20	.250	1/4	.1990	#8	1/4-28	.250	F	.213	#3
5/16-18	.3125	5/16	.2559	#F	5/16-24	.3125	5/16	.2703	I
3/8-16	.375	3/8	.3110	5/16″	3/8-24	.375	3/8	.332	Q
7/16-14	.4375	7/16	.3642	U	7/16-20	.4375	7/16	.386	W
1/2-13	.500	1/2	.4219	27/64″	1/2-20	.500	1/2	.449	7/16″
9/16-12	.5625	9/16	.4776	31/64″	9/16-18	.5625	9/16	.506	1/2″
5/8-11	.625	5/8	.5315	17/32″	5/8-18	.625	5/8	.568	9/16″
3/4-10	.750	3/4	.6480	41/64″	3/4-16	.750	3/4	.6688	11/16″
7/8-9	.875	7/8	.7307	49/64″	7/8-14	.875	7/8	.7822	51/64″
1-8	1.000	1.0	.8376	7/8″	1-14	1.000	1.0	.9072	49/64″

Figura 12-32 Medidas de fios de rosca de parafusos.

CAPÍTULO 13

AERODINÂMICA

TEORIA DE VÔO

Numerosos textos compreensivos foram escritos sobre a aerodinâmica, envolvida no vôo de uma aeronave. Entretanto, é desnecessário que um mecânico esteja totalmente versado sobre a matéria. O que ele precisa é entender a relação entre a atmosfera, a aeronave e as forças que agem no vôo da mesma; de forma a tomar decisões inteligentes que afetem a segurança de vôo, tanto de aviões quanto de helicópteros.O mecânico precisa saber porque a aeronave é projetada com um tipo particular de sistema de controle primário ou secundário e porque as superfícies têm que ser aerodinamicamente regulares. Tudo isto se torna essencial ao se fazer a manutenção das complexas aeronaves de hoje.

A teoria de vôo relaciona-se com a aerodinâmica. O termo aerodinâmica é derivado da combinação de duas palavras gregas "AER", significando ar; e "DYNE", significando força (de potência) . Assim, quando juntamos aero e dinâmica, temos aerodinâmica, significando o estudo dos objetos em movimento através do ar, e as forças que produzem ou mudam tal movimento.

A aerodinâmica estuda a ação do ar sobre um objeto.

Ela é, além disso, definida como aquele ramo da dinâmica, que trata do movimento do ar e de outros gases, com as forças agindo sobre um objeto em movimento através do ar, ou com um objeto que esteja estacionário na corrente de ar. De fato a aerodinâmica está relacionada com três partes distintas. Essas três partes podem ser definidas como a aeronave, o vento relativo e a atmosfera.

A atmosfera

Antes de discutir os fundamentos da teoria de vôo, existem diversas idéias básicas que devem ser consideradas:

-Uma aeronave opera no ar, portanto, as propriedades do ar que afetam o controle e o desempenho de uma aeronave, devem ser entendidos;

-O ar é uma mistura de gases composta principalmente de nitrogênio e oxigênio. Uma vez que o ar é uma combinação de gases, ele segue suas próprias leis;

-O ar é considerado um fluido, ele define uma substância, que pode fluir ou trocar sua forma através da aplicação de uma pressão moderada;

-O ar tem peso, uma vez que qualquer coisa mais leve que ele, como um balão cheio de hélio irá subir no ar.

Pressão

Quanto mais fundo um homem mergulhar, maior será a pressão agindo sobre seu corpo, devido o peso da água. Uma vez que o ar também tem peso, quanto maior a profundidade da superfície externa da atmosfera, maior a pressão. Se uma coluna de ar de uma polegada quadrada, estendendo-se do nível do mar ao "topo" da atmosfera pudesse ser pesada, poderia ser encontrado o peso de cerca de 14,7 libras. Dessa forma, a pressão atmosférica ao nível do mar é de 14,7 libras por polegada quadrada. Contudo, libra por polegada quadrada é uma unidade grosseira para a medição de uma substância tão leve quanto o ar. Por isso, a pressão atmosférica é geralmente medida em termos de polegada de mercúrio.

Um dispositivo para medição da pressão atmosférica é mostrado na figura 13-1.

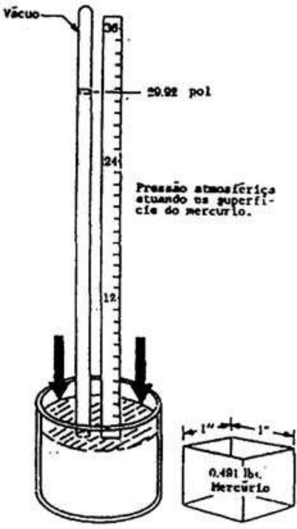


Figura 13-1 Medida da pressão atmosférica.

Um tubo de vidro com 36 polegadas de comprimento, aberto em uma das extremidades e fechado na outra, é cheio com mercúrio; a extremidade aberta é selada temporariamente e, então, mergulhada em um recipiente parcialmente cheio de mercúrio, onde, logo após, a extremidade é aberta. Isso permite que o mercúrio do tubo desça, deixando um vácuo no topo do tubo. Parte do mercúrio flui para o recipiente, enquanto outra parte permanece no tubo. O peso da pressão atmosférica sobre o mercúrio no recipiente aberto, contrabalança o peso do mercúrio no tubo, o qual não tem a pressão atmosférica agindo sobre ele devido ao vácuo no topo do tubo. Na medida em que a pressão do ar ao redor aumenta ou diminui, a coluna de mercúrio corresponde descendo ou subindo. Ao nível do mar a altura do mercúrio no tubo mede aproximadamente 29,92 polegadas, embora varie suavemente com as condições atmosféricas.

Uma consideração importante é a de que a pressão atmosférica varia com a altitude. Quanto mais alto um objeto estiver em relação ao nível do mar, menor será a pressão. Diversas condições atmosféricas têm uma relação definida com o vôo. O efeito da temperatura, da altitude e da densidade do ar sobre o desempenho de uma aeronave é discutido nos parágrafos seguintes.

Densidade

Densidade é um termo que significa peso por unidade de volume. Uma vez que o ar é uma mistura de gases, ele pode ser comprimido. Se o ar em um recipiente estiver sob metade da pressão do ar em outro recipiente idêntico, o ar sob a pressão mais elevada pesa duas vezes mais que aquele do recipiente sob menor pressão. O ar sob maior pressão, tem duas vezes a densidade daquele no outro recipiente. Para pesos iguais de ar, aquele sob maior pressão ocupa apenas metade do volume do outro, sob metade da pressão.

A densidade dos gases é governada pelas seguintes regras:

1) A densidade varia em proporção direta com a pressão.
2) A densidade varia inversamente com a temperatura.

Assim, o ar em grandes altitudes é menos denso do que em pequenas altitudes, e a massa de ar quente é menos densa que a massa de ar frio. Mudanças na densidade afetam a performance aerodinâmica da aeronave. Com a mesma potência, uma aeronave pode voar mais rápido a grandes altitudes onde a densidade é menor, que a baixas altitudes onde a densidade é alta. Isso se deve ao fato de que o ar oferece menos resistência à aeronave, quando ele contém menor número de partículas por volume.

Umidade

Umidade é a quantidade de vapor d'água no ar. A quantidade máxima de vapor que o ar pode absorver varia com a temperatura. Quanto mais elevada a temperatura do ar, mais vapor d'água ele pode absorver. O vapor d'água pesa aproximadamente cinco oitavos a mais que a mesma quantidade de ar perfeitamente seco. Dessa forma, quando o ar contém vapor d'água ele não é tão pesado quanto o ar que não contém umidade.

Considerando-se que a temperatura e a pressão permanecem as mesmas, a densidade do ar varia inversamente com a umidade. Nos dias úmidos a densidade do ar é menor que nos dias secos. Por essa razão, uma aeronave requer uma pista mais longa para decolagem nos dias úmidos que nos dias secos.

Princípio de Bernoulli e fluxo subsônico

O princípio de Bernoulli estabelece que, quando um fluido (ar), passando por um tubo, atinge uma restrição ou estreitamento desse tubo, a velocidade do fluido que passa por essa restrição é aumentada e sua pressão reduzida.

O lado arqueado (curva) da superfície de um aerofólio (asa) afeta o fluxo de ar, exatamente como acontece com um estrangulamento em um tubo. O diagrama "A" na figura 13-2 ilustra o efeito do ar que passa através de uma restrição ou estrangulamento em um tubo.

Em "B" o fluxo de ar passa por uma superfície curva, tal qual um aerofólio, e o efeito é similar àquele que passa por um estrangulamento.

Na medida em que o ar flui sobre a superfície superior de um aerofólio, sua velocidade aumenta e sua pressão diminui. Uma área de baixa pressão é assim formada.

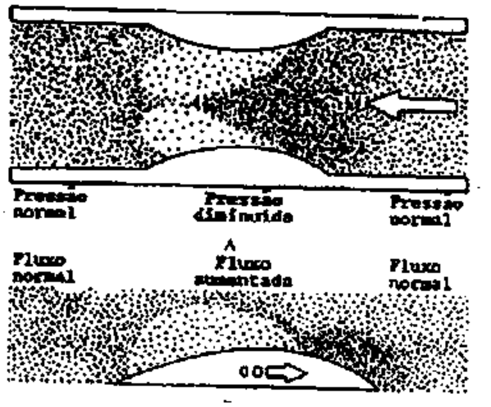


Figura 13-2 Princípio de Bernoulli.

Existe uma área de maior pressão na superfície inferior do aerofólio, e essa pressão maior tende a mover a asa para cima. Essa diferença de pressão, entre as superfícies superior e inferior da asa, é denominada sustentação. Três quartos da sustentação total de um aerofólio, é o resultado de uma redução de pressão sobre a superfície superior. O impacto do ar sobre a superfície inferior de um aerofólio produz um quarto (o que falta) da sustentação total.

Uma aeronave em vôo está sob a ação de quatro forças:

1) Gravidade ou peso, que puxa a aeronave para baixo.
2) Sustentação, força que empurra a aeronave para cima.
3) Empuxo, força que move a aeronave para frente.
4) Arrasto, a força que exerce a ação de um freio.

MOVIMENTO

Movimento é o ato, ou processo, de troca de lugar ou posição. Um objeto pode estar em movimento, em relação a um objeto e, parado, em relação a outro. Por exemplo, uma pessoa sentada na poltrona de uma aeronave, a 200 nós, está parada em relação a essa aeronave; contudo, a pessoa está em movimento em relação ao ar ou a terra, da mesma forma que a aeronave. O ar não tem força ou potência, exceto pressão, a não ser quando ele está em movimento. Quando em movimento, no entanto, sua força se torna evidente. Um objeto em movimento no ar inerte, tem uma força exercida sobre ele, como resultado do seu próprio movimento. Não faz diferença no efeito, se o objeto está se movendo em relação ao ar ou se o ar está se movendo em relação ao objeto.

O fluxo de ar em volta de um objeto, causado pelo movimento do ar ou do objeto, ou de ambos, é chamado de vento relativo.

Velocidade e aceleração

Os termos "SPEED"e "VELOCITY" são freqüentemente usados com o mesmo sentido, porém eles não têm o mesmo significado. O primeiro, é a razão de movimento, enquanto o segundo, é a razão de movimento em uma direção particular em relação ao tempo.

Uma aeronave parte de Nova York e voa dez horas a uma "SPEED" média de 260 milhas por hora. ao termino desse tempo a aeronave pode estar sobre o oceano Atlântico, oceano Pacífico, golfo do México, ou se o seu vôo fosse circular, ele poderia estar de volta a Nova York. Se essa mesma aeronave voasse à velocidade de 260 milhas por hora na direção para o sudoeste, ele chegaria em Los Angeles em cerca de dez horas. Apenas a razão de movimento está indicada no primeiro exemplo e denota a "SPEED" da aeronave. No último exemplo, a direção particular está incluída na razão de movimento, denotando, assim, a velocidade da aeronave. Aceleração é definida como a razão de troca de velocidade. Um aumento na velocidade da aeronave é um exemplo de aceleração positiva, enquanto a redução de velocidade em outra aeronave é um exemplo de aceleração negativa. (a aceleração negativa é chamada de desaceleração).

Lei do movimento de Newton

A lei fundamental que governa a ação do ar numa asa é a lei do movimento de Newton.

A primeira lei de Newton é normalmente conhecida como lei da inércia. Ela quer dizer simplesmente, que um corpo em repouso não se moverá, a menos que uma força seja aplicada a ele. Se ele estiver se movendo a uma velocidade uniforme e em linha reta , para que sua velocidade seja alterada, é necessário que uma força a ele seja aplicada.

Uma vez que o ar tem massa, ele constitui um "corpo" de acordo com a lei. Quando uma aeronave está no solo, com os motores parados, a inércia mantém a aeronave em repouso.

Uma aeronave sai do seu estado de repouso através da força de empuxo criada pela hélice, pela expansão dos gases de escapamento, ou por ambos. Quando ela está voando em linha reta e à velocidade constante, a inércia tende a mantê-la em movimento. Uma força externa é requerida para mudar a atitude da aeronave.

A segunda lei de Newton, àquela da força, também se aplica aos objetos. Essa lei estabelece que, se uma força externa age sobre um corpo, que se move com velocidade constante, a alteração do movimento ocorrerá na direção de atuação da força. Essa lei pode ser representada matematicamente da seguinte forma.

Força = massa x aceleração (F=m.a)

Se uma aeronave estiver voando com um vento de proa, sua velocidade diminuirá. Se o vento for lateral, haverá uma tendência de empurrar a aeronave para fora do seu curso, a menos que o piloto tome uma ação corretiva contra a direção do vento.

A terceira lei Newton, é a lei da ação e reação. Essa lei estabelece que para toda ação (força) existe uma reação, igual e contrária (força). Essa lei é bem ilustrada pela ação das mãos de um nadador. Ele empurra a água para trás, sendo dessa forma impulsionado para frente, uma vez que a água resiste a ação de suas mãos. Quando a força de sustentação sob a asa de uma aeronave se iguala à força da gravidade, a aeronave mantém o seu nível de vôo.

As três leis de movimento, amplamente discutidas, estão relacionadas e aplicadas à teoria de vôo. Em muitos casos as três leis podem estar atuando ao mesmo tempo em uma aeronave.

AEROFÓLIOS

Um aerofólio é uma superfície projetada para obter uma reação desejável do ar, através do qual esse aerofólio se move. Assim, podemos dizer que, qualquer peça de uma aeronave, que converta a resistência do ar em força útil ao vôo, é um aerofólio.

As pás de uma hélice são então projetadas, de forma que, quando elas giram, suas formas e posições criam uma alta pressão, maior na sua parte traseira que na parte frontal, de forma a impulsionar a aeronave para frente. O perfil de uma asa convencional, mostrado na figura 13-3, é um excelente exemplo de aerofólio. Devemos observar que a superfície superior do perfil da asa tem maior curvatura que a superfície inferior.

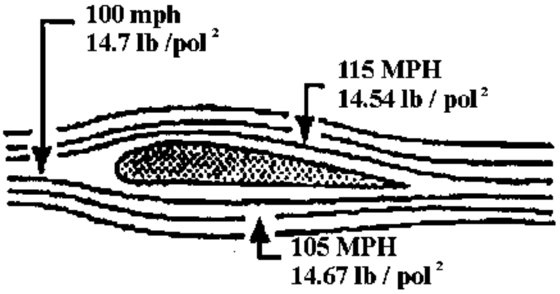


Figura 13-3 Fluxo de ar sobre a seção de uma asa.

A diferença de curvaturas entre as superfícies superior e inferior da asa produz a força de sustentação. O ar que flui na superfície superior da asa tem que alcançar o bordo de fuga da asa no mesmo tempo em que o fluxo na superfície inferior o alcança. Para isso, o ar que passa sobre a superfície superior move-se com maior velocidade que o ar que passa por baixo da asa, devido à maior distância que ele tem que percorrer.

Esse aumento de velocidade, de acordo com o princípio de Bernoulli, significa a correspondente redução da pressão sobre a superfície. Assim, uma pressão diferencial é criada entre as superfícies superior e inferior da asa, forçando a subida da asa na direção da pressão mais baixa.

A sustentação teórica de um aerofólio à velocidade de 100 milhas por hora pode ser determinada, tirando-se amostras da pressão acima e abaixo do aerofólio, no ponto de maior velocidade. Conforme mostra a figura 13-3, essa pressão é de 14,54 libras por polegada quadrada acima do aerofólio. Subtraindo essa pressão, da pressão abaixo desse aerofólio, 14,67 libras por polegada quadrada, dá uma diferença de pressão de 0,13 libra por polegada quadrada. Multiplicando-se 0,13 por 1,44 (número de polegadas quadradas em um pé) mostra-se que cada pé quadrado dessa asa sustenta 18,72 libras. Assim , pode ser visto que uma pressão diferencial menor através da seção de um aerofólio, pode produzir uma grande força de sustentação. Dentro de limites, a sustentação pode ser aumentada, aumentando-se o ângulo de ataque, área da asa, a velocidade do fluxo livre ou a densidade do ar, ou trocando o formato do aerofólio.

Ângulo de ataque

Antes de começar a falar sobre o ângulo de ataque e seus efeitos sobre o aerofólio, devemos considerar primeiro os termos "corda" e "centro de pressão".

A corda de um aerofólio ou seção da asa é uma linha imaginária que passa da seção do bordo de ataque para o bordo de fuga, conforme mostra a figura 13-4.

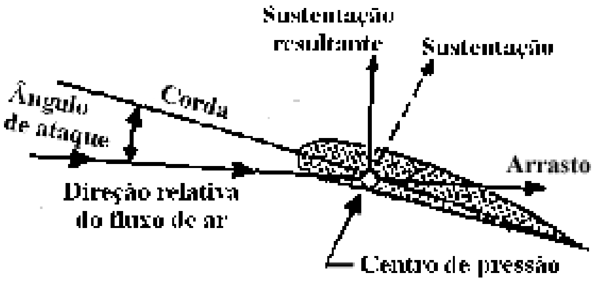

Sustentação resultante
Sustentação
Ângulo de ataque
Corda
Arrasto
Direção relativa do fluxo de ar
Centro de pressão

Figura 13-4 Ângulo de ataque positivo.

A linha da corda constitui um lado de um ângulo, o qual eventualmente forma o ângulo de ataque. O outro lado do ângulo é formado por uma linha que indica a direção relativa do fluxo de ar.

Dessa forma, ângulo de ataque é definido como o ângulo entre a corda da asa e a direção do vento relativo. Isso não deve ser confundido com o ângulo de incidência, o qual é o ângulo entre a corda da asa e o eixo longitudinal da aeronave.

Em cada minúscula parte de uma superfície de aerofólio ou asa, uma pequena força está presente. Essa força é diferente em amplitude e direção, de qualquer outra que esteja agindo sobre outras áreas, à frente ou para trás desse ponto.

É possível adicionar todas essas pequenas forças matematicamente, e a força encontrada é chamada de força resultante (sustentação).

Essa força resultante tem amplitude, direção e localização e pode ser representada por um vetor, como mostra a figura.13-4. O ponto de interseção da força resultante como a corda do aerofólio é chamada de centro de pressão.

O centro de pressão se move ao longo da corda do aerofólio com a mudança no ângulo de ataque. Durante praticamente todo o vôo, o centro de pressão se move para frente com o aumento do ângulo de ataque, e para trás quando esse ângulo diminui.

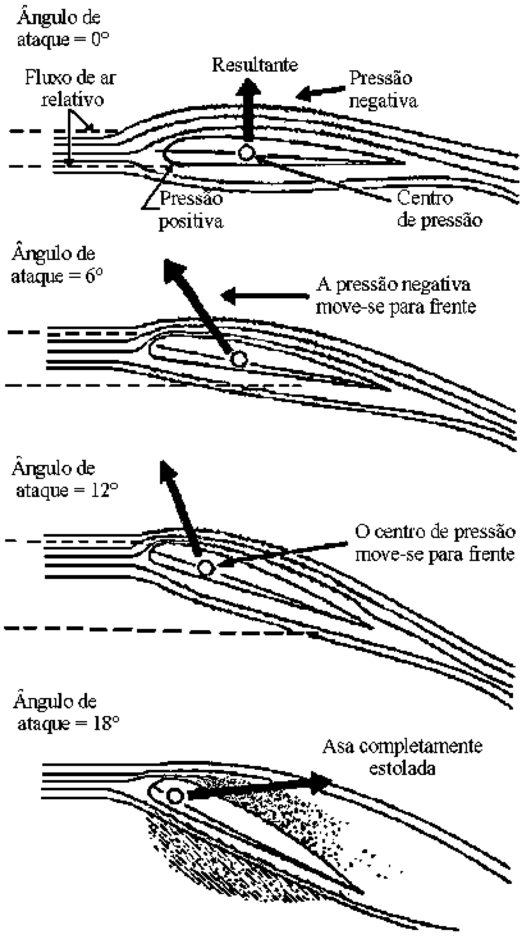

Ângulo de ataque = 0°
Fluxo de ar relativo
Resultante
Pressão negativa
Pressão positiva
Centro de pressão
Ângulo de ataque = 6°
A pressão negativa move-se para frente
Ângulo de ataque = 12°
O centro de pressão move-se para frente
Ângulo de ataque = 18°
Asa completamente estolada

Figura 13-5 Efeito do aumento do ângulo de ataque.

O efeito do aumento do ângulo de ataque sobre o centro de pressão é mostrado na figura 13-5. O ângulo de ataque varia, na medida em que haja mudança na atitude da aeronave. Uma vez que o ângulo de ataque tem grande influência na determinação da sustentação, a ele são dadas as primeiras considerações, quando se projeta um aerofólio. Em um aerofólio projetado adequadamente, a sustentação é aumentada na medida em que o ângulo de ataque aumenta.

Quando um ângulo de ataque é aumentado gradativamente para um ângulo positivo, o componente da sustentação aumenta rapidamente até um certo ponto, e, então, repentinamente começa a diminuir. Durante essa ação, o componente de arrasto aumenta primeiro vagarosamente, e depois rapidamente, conforme a sustentação começa a diminuir.

Quando o ângulo de ataque aumenta para o ângulo de máxima sustentação, o ponto crítico é atingido. Isso é conhecido como ângulo crítico. Quando o ângulo crítico é atingido, o ar cessa de fluir suavemente na superfície superior do aerofólio, começando a turbulência ou o turbilhonamento. Isso significa que o ar se desprende da cambra superior da asa. O que outrora era uma área de baixa pressão, está agora cheia de ar turbulento. Quando isso ocorre, a sustentação diminui e o arrasto torna-se excessivo. A força de gravidade empenha-se em jogar o nariz da aeronave para baixo. Assim vemos que o ponto de turbulência é o ângulo de estolagem.

Como temos visto, a distribuição das forças sobre o aerofólio varia com o ângulo de ataque. A aplicação da força resultante, ou seja, o centro de pressão, varia correspondentemente. Na medida em que o ângulo aumenta, o centro de pressão se move para frente e, conforme o ângulo diminui, o centro de pressão se move para trás. O passeio instável do centro de pressão é característico de praticamente todo aerofólio.

Ângulo de incidência

O ângulo agudo que a corda da asa forma com o eixo longitudinal da aeronave é chamado de ângulo de incidência (figura 13-6).

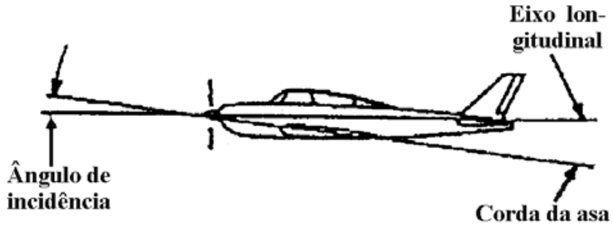


Figura 13-6 Ângulo de incidência.

O ângulo de incidência é na maioria dos casos, um ângulo fixo. Quando o ângulo de ataque de uma asa está mais alto que o bordo de fuga, o ângulo de incidência é dito positivo. O ângulo de incidência é negativo quando o bordo de ataque está mais baixo que o bordo de fuga da asa.

Área da asa

A área da asa é medida em pés quadrados, e inclui a parte bloqueada pela fuselagem.. Ela é adequadamente descrita como a área da sombra, projetada pela asa ao meio dia (num dia de sol). Testes mostram que as forças de sustentação e arrasto que agem sobre a asa, são proporcionais à sua área. Isso significa que, se a área da asa for duplicada, todas as outras variáveis permanecem as mesmas, enquanto a sustentação e o arrasto criados pela asa são duplicados. Se a área é triplicada, empuxo e arrasto são triplicados.

Forma do aerofólio

A forma do aerofólio determina a quantidade de turbulência ou atrito de superfície que será produzido. Conseqüentemente, a forma da asa afeta sua eficiência.

As propriedades da seção de aerofólio diferem das propriedades da asa, ou da aeronave, devido à forma plana da asa. Uma asa pode ter diversas seções de aerofólio, desde a raiz até a ponta, com diminuição gradual da espessura, torção e enflechamento. As propriedades aerodinâmicas resultantes da asa são determinadas pela ação de cada seção ao longo da envergadura.

A turbulência e o atrito de superfície são controlados, principalmente, pela relação de alongamento, a qual é definida como a razão entre a corda do aerofólio e a espessura máxima.

Se a asa for muito longa ela será muito fina, se ela tiver baixa razão de fineza, será espessa. Uma asa com alta razão de fineza, produz maior quantidade de atrito de superfície, com baixa razão de fineza produz maior quantidade de turbulência.

A melhor asa é aquela que está entre os dois extremos, para manter tanto a turbulência quanto o atrito de superfície nos mínimos.

A eficiência de uma asa é medida em termos de razão entre sustentação e arrasto. Essa razão varia com o ângulo de ataque, porém, ela alcança o valor máximo preciso. Nesse ângulo, a asa tem alcançado sua eficiência máxima. A forma do aerofólio é o fator que determina o ângulo de ataque no qual a asa é mais eficiente, além de determinar o grau de eficiência. Pesquisas têm mostrado que os aerofólios mais eficientes para uso geral têm sua espessura máxima a cerca de um terço do bordo de ataque da asa.

Asas, e dispositivos para asas, de grande sustentação têm sido desenvolvidos, dando formas a aerofólios que produzam o efeito desejado.

A sustentação produzida por um aerofólio aumentará com o aumento da cambra da asa. Cambra, é a curvatura de um aerofólio acima e abaixo da superfície da corda.

A cambra superior se refere à superfície superior; a cambra inferior à superfície inferior; e a cambra média à seção da linha média. A cambra é positiva quando a variação da corda é exterior, e negativa quando inferior.

Assim, asas de alta sustentação têm uma grande cambra positiva na superfície superior e pequena cambra negativa na superfície inferior. Os flapes das asas fazem com que uma asa comum se aproxime dessa condição, aumentando a cambra superior e criando uma cambra inferior negativa.

É sabido que, quanto maior a envergadura da asa quando comparada com a corda, maior é a sustentação obtida. Essa comparação é chamada de alongamento. Quanto maior o alongamento, maior a sustentação.

A despeito das vantagens da alteração no alongamento, foi descoberto que limites definidos de arrasto e estruturais devem ser considerados.

Por outro lado, um aerofólio que seja perfeitamente aerodinâmico, e ofereça pequena resistência ao vento, algumas vezes não tem sustentação suficiente para decolar a aeronave.

Assim, as aeronaves modernas têm aerofólios que se situam na média entre os extremos, com sua forma variando de acordo com a aeronave para a qual é projetado.

CENTRO DE GRAVIDADE

Gravidade é a força que tende a puxar todos os corpos da esfera terrestre para o centro da terra.

O centro de gravidade pode ser considerado como o ponto no qual todo o peso de uma aeronave está concentrado.

Se uma aeronave for suportada no seu exato centro de gravidade ficará equilibrada em qualquer posição.

O centro de gravidade é de grande importância para uma aeronave, pois sua posição tem grande relação com a estabilidade.

O centro de gravidade é determinado pelo projeto geral da aeronave.

O projetista calcula o passeio do centro de pressão. Ele então fixa o centro de gravidade em frente ao centro de pressão, para a velocidade correspondente de vôo, de forma a proporcionar o momento restaurador adequado para o equilíbrio em vôo.

Empuxo e arrasto

Uma aeronave em vôo é o centro de uma contínua batalha de forças. Na verdade este conflito não é tão violento quanto parece, mas é a chave para todas as manobras executadas no ar. Não existe nenhum mistério a respeito dessas forças; elas são definidas e conhecidas.

As direções nas quais elas agem, podem ser calculadas, e uma aeronave é projetada para tirar vantagem de cada uma delas. Em todos os tipos de vôo, os cálculos estão baseados na amplitude e direção de quatro forças: peso, sustentação, arrasto e empuxo (ver figura 13-7).

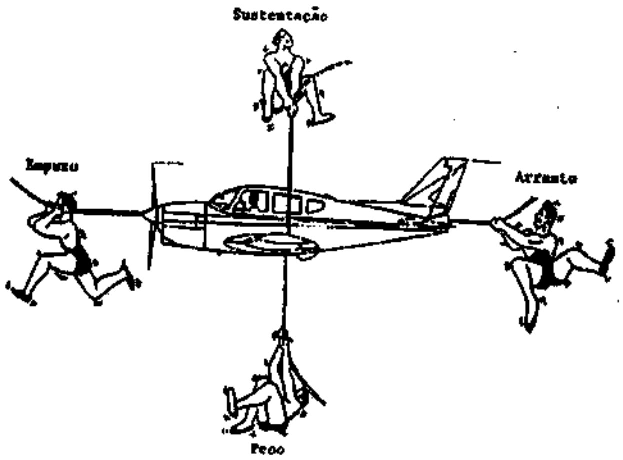


Figura 13-7 Ação das forças em vôo.

-**O peso** é a força de gravidade agindo para baixo, sobre o que está na aeronave, tal como a aeronave em si, tripulação, combustível e carga.

-**A sustentação** age verticalmente contrariando o efeito do peso.

-**Arrasto** é uma força em direção à ré, causada pelo rompimento do fluxo de ar na asa, fuselagem e objetos salientes.

-**Empuxo** produzido por um motor, é a força para frente que se sobrepõe à força de arrasto.

Observe que essas quatros forças só estão em perfeito equilíbrio quando a aeronave está em vôo reto, nivelado e desacelerada.

As forças de sustentação e arrasto são o resultado direto da relação entre o vento relativo e a aeronave.

A força de sustentação sempre age perpendicularmente ao vento relativo e a força de arrasto, sempre paralela a este e na mesma direção. Elas são, geralmente, os componentes que produzem uma força de sustentação resultante sobre as asas, como mostra a figura 13- 8.

O peso tem uma relação definida com a sustentação, e o empuxo com o arrasto. Esse relacionamento é muito simples, porém muito importante no entendimento da aerodinâmica dos vôos. Conforme verificado anteriormente, sustentação é a força para cima, agindo sobre uma asa e perpendicular ao vento relativo. A sustentação é necessária para contrabalançar o peso da aeronave, causado pela força da gravidade que age sobre a massa da mesma.

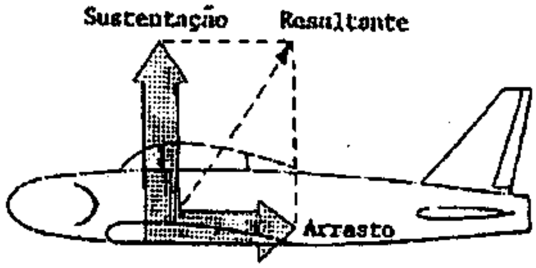


Figura 13-8 Resultante da sustentação e do arrasto.

Essa força-peso age para baixo, num ponto chamado centro de gravidade, no qual se considera que o peso da aeronave é concentrado. Quando a força de sustentação está em equilíbrio com o peso, a aeronave não ganha nem perde altitude. Se a sustentação se torna menor que o peso, a aeronave perde altitude. A aeronave ganha altitude quando a sustentação é maior.

O arrasto deve ser vencido para que a aeronave se mova, e o movimento é essencial para que se obtenha sustentação. Para vencer o arrasto e mover a aeronave para frente, outra força é essencial. Essa força é o empuxo.

O empuxo é tirado da propulsão, ou da combinação motor e hélice. A teoria da propulsão está baseada na terceira lei de Newton, e estabelece que, para cada ação existe uma reação igual e oposta. Por exemplo, no disparo de uma arma, a ação é a bala indo para frente, enquanto a reação é o recuo da arma.

O motor à turbina provoca o movimento da massa de ar para trás à alta velocidade, causando uma reação para frente que movimenta a aeronave.

Numa combinação motor/hélice, a hélice tem de fato, dois ou mais aerofólios girando, montados num eixo horizontal. O movimento das pás através do ar produz uma sustentação similar à sustentação sobre a asa, porém age em uma direção horizontal, empurrando a aeronave para frente.

Antes da aeronave entrar em movimento, o empuxo deve ser exercido. Ela continua a se mover e ganhar velocidade até que o empuxo e o arrasto se igualem. A fim de manter uma velocidade estável, o empuxo e o arrasto devem permanecer iguais, exatamente como a sustentação deve estar igualada ao peso, para um vôo horizontal estabilizado. Temos visto que o aumento de sustentação significa que a aeronave se move para cima, ao passo que diminuindo a sustentação, de forma que ela fique menor que o peso, provoca perda de altitude por parte da aeronave. Regra similar se aplica às forças de empuxo e arrasto. Se a R.P.M. de um motor for reduzida, o empuxo também será diminuído, e a aeronave perderá altitude. Enquanto o empuxo for cada vez menor, e como o arrasto é constante, a aeronave se deslocará cada vez mais lentamente, até que sua velocidade seja insuficiente para mantê-la no ar.

Da mesma forma, se a R.P.M. do motor for aumentada, o empuxo se tornará maior que o arrasto e a velocidade da aeronave aumentará. Enquanto o empuxo continuar sendo maior que o arrasto, a aeronave continuará a acelerar. Quando eles se estabilizarem, a aeronave voará à velocidade estabilizada.

O movimento relativo do ar sobre os objetos que produzem sustentação, também produz o arrasto, que é a resistência do ar aos objetos que se movem nele.

Se uma aeronave estiver voando nivelada, a força de sustentação age verticalmente para suportá-la, enquanto a força de arrasto age horizontalmente empurrando-a para trás. O arrasto total sobre a aeronave é proporcionado por muitas forças de arrasto, porém para nossos propósitos, consideraremos apenas três: arrasto parasita, arrasto do perfil e arrasto induzido.

O arrasto parasita é produzido pela combinação de diferentes forças de arrasto. Qualquer objeto exposto numa aeronave oferece a mesma resistência ao ar, e quanto mais objetos no fluxo de ar, maior é o arrasto parasita. Enquanto o arrasto parasita pode ser reduzido, diminuindo-se o número de partes expostas, e dando-lhes uma forma aerodinâmica, o atrito de superfície é o tipo de arrasto parasita mais difícil de ser reduzido.

Nenhuma superfície é perfeitamente lisa. Mesmo superfícies usinadas, quando inspecionadas sob ampliação, têm uma aparência desigual.

Essas superfícies desiguais desviam o ar junto à superfície, causando resistência ao suave fluxo de ar. O atrito superficial pode ser reduzido, usando-se planos com acabamento polido e eliminando-se cabeças de rebites salientes, rugosidades e outras irregularidades.

O arrasto de perfil pode ser considerado como um arrasto parasita do aerofólio. Os diversos componentes do arrasto parasita são da mesma natureza que o arrasto de perfil.

A ação do aerofólio, que nos dá sustentação, causa o arrasto induzido.

Devemos lembrar que a pressão sobre a asa é menor que a pressão atmosférica, e a pressão abaixo da asa é igual ou maior que a pressão atmosférica. Uma vez que os fluídos sempre se movem da alta para a baixa pressão, há um, movimento do ar, no sentido da parte inferior da asa afastando-se da fuselagem e para cima, em volta da ponta da asa. Esse fluxo de ar resulta em um "derrame" na ponta da asa, formando assim redemoinho chamado de Vortex da Ponta da Asa (figura 13-9). O ar na superfície superior tem uma tendência a se mover na direção da fuselagem e para fora do bordo de fuga. Essa corrente de ar forma um Vortex similar na parte interna do bordo de fuga da asa. Esses Vortexes aumentam o arrasto devido à turbulência produzida e constituem o arrasto induzido. Com o aumento da sustentação, devido o aumento do ângulo de ataque, o arrasto induzido também aumenta.

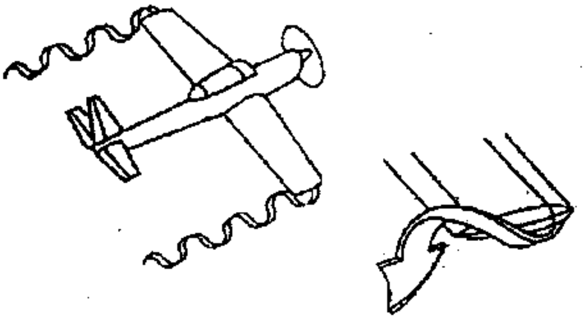
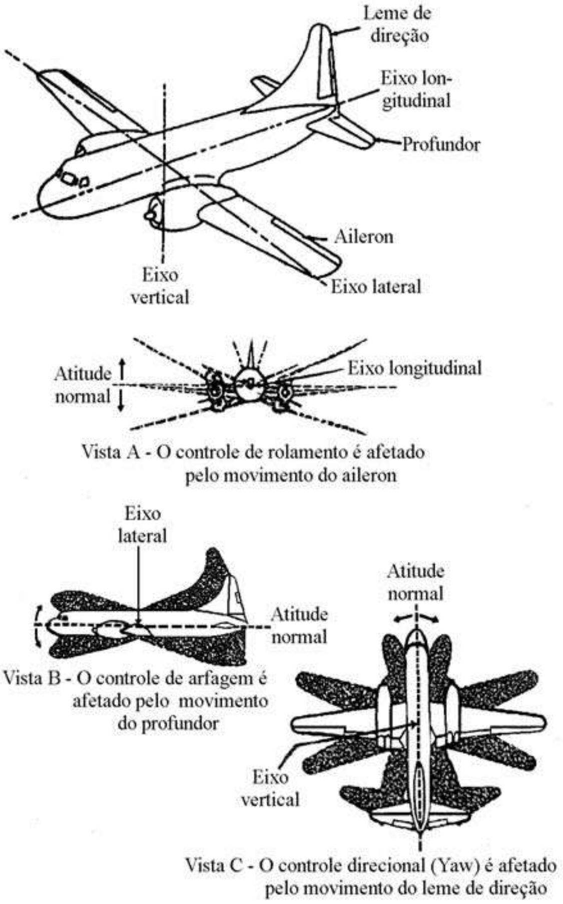


Figura 13-9 - Vortexes de ponta de asa.

Isso ocorre, porque, na medida em que o ângulo de ataque aumenta, existe maior diferença de pressão entre o topo e o fundo da asa. Isso causa vortexes mais violentos, resultando em mais turbulências e mais arrasto induzido.

Eixos de uma aeronave

Sempre que uma aeronave muda sua atitude em vôo, ela tem que girar sobre um ou mais dos seus três eixos.



Vista A - O controle de rolamento é afetado pelo movimento do aileron

Vista B - O controle de arfagem é afetado pelo movimento do profundor

Vista C - O controle direcional (Yaw) é afetado pelo movimento do leme de direção

Figura 13-10 – Movimentos de uma aeronave sobre seus eixos.

. A Figura 13-10 mostra os três eixos, os quais são linhas imaginárias que passam no centro da aeronave

Os eixos de uma aeronave podem ser considerados eixos imaginários, em torno dos quais a aeronave gira como uma roda. No centro, onde os três eixos se interceptam, cada um deles é perpendicular aos outros dois.

O eixo, que se estende através da fuselagem do nariz para a cauda, é denominado eixo longitudinal. O eixo que se estende transversalmente de ponta a ponta da asa, é chamado lateral. O eixo que passa pelo centro, do fundo ao topo, é chamado eixo vertical.

O movimento sobre o eixo longitudinal é semelhante ao balanço de um navio de um lado para outro. De fato, os nomes utilizados na descrição dos movimentos em torno dos três eixos de uma aeronave, são termos de origem náutica. Eles foram adaptados para a terminologia aeronáutica devido a similaridade entre os movimentos de uma aeronave e de um navio.

Assim, o movimento em torno do eixo longitudinal é chamado rolamento; àquele em torno do eixo lateral é chamado arfagem; e, finalmente, o movimento de uma aeronave, em torno do eixo vertical, é chamado guinada, ou seja, um movimento horizontal do nariz da aeronave.

Rolamento, arfagem e guinada, movimentos de uma aeronave em torno dos eixos longitudinal, lateral e vertical são controlados por três superfícies de controle. O rolamento é produzido pelos ailerons, os quais estão localizados no bordo de fuga das asas. A arfagem é afetada pelos profundores, na parte traseira do estabilizador horizontal. O movimento de guinada é controlado pelo leme de direção, na parte traseira do conjunto vertical da empenagem.

ESTABILIDADE E CONTROLE

Uma aeronave deve ter estabilidade suficiente para manter uma trajetória uniforme de vôo, e se recuperar da ação das diversas forças. Também para obter o melhor desempenho, a aeronave deve ter a resposta para os movimentos dos controles.

Três termos que sempre aparecem em qualquer discussão sobre estabilidade e controle, são: (1) Estabilidade propriamente dita, (2) Maneabilidade e (3) Controlabilidade.

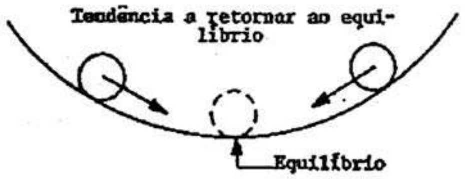
Estabilidade é a característica de uma aeronave, que tende a fazê-la voar em trajetórias reta e nivelada.

Maneabilidade é a habilidade de uma aeronave, quanto à sua dirigibilidade ao longo de uma trajetória de vôo, para resistir aos esforços que lhes são impostos.. Controlabilidade é a qualidade de resposta de uma aeronave ao comando do piloto, quando manobramos a aeronave.

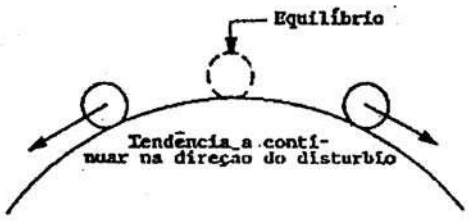
Estabilidade Estática

Uma aeronave está num estado de equilíbrio, quando a soma de todas as forças que agem sobre ela, e a soma de todos os momentos é igual a zero. Uma aeronave em equilíbrio não sofre aceleração, e mantém um vôo em condição uniforme. Uma rajada de vento ou uma deflexão dos controles, alteram o equilíbrio, e a aeronave sofre uma aceleração, devido ao desbalanceamento dos momentos ou das forças.

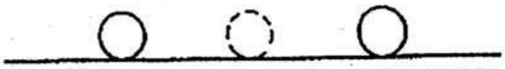
Os três tipos de estabilidade estática são definidos pela característica do movimento que se segue a cada perturbação do equilíbrio.



A - Estabilidade estática positiva.



B - Estabilidade estática negativa ou instabilidade estática.



Equilíbrio encontrado em algum ponto do distúrbio.

Figura 13-11 – Estabilidade estática.

A estabilidade estática positiva existe quando o objeto que sofre a perturbação, tende a retornar ao equilíbrio. Estabilidade negativa ou instabilidade estática existe quando o objeto que sofre a perturbação tende a continuar na direção do distúrbio.

A estabilidade estática neutra existe quando o objeto que sofre a perturbação não tem tendência a retornar, ou a continuar, na direção de deslocamento, porém permanece em equilíbrio na direção do distúrbio.

Esses três tipos de estabilidade estão ilustrados na figura 13-11.

Estabilidade Dinâmica

Enquanto a estabilidade estática, trata da tendência de um corpo deslocado retornar ao equilíbrio, a estabilidade dinâmica diz respeito ao movimento que resulta com o tempo. Se um objeto sofre um distúrbio em relação ao seu equilíbrio, o tempo de movimento resultante, define a estabilidade dinâmica do objeto.

Em geral, um objeto demonstra estabilidade dinâmica positiva, se a amplitude do movimento diminui com o tempo. Caso a amplitude aumente com o tempo, diz-se que o objeto possui instabilidade dinâmica.

Toda aeronave deve demonstrar o grau requerido de estabilidade estática e dinâmica. Se uma aeronave for projetada com instabilidade estática e uma ligeira taxa de instabilidade dinâmica, ela estará difícil, se não impossível de voar. Geralmente a estabilidade dinâmica positiva, em uma aeronave, é projetada para evitar oscilações continuadas desagradáveis.

Estabilidade Longitudinal

Quando uma aeronave tem uma tendência de manter um ângulo de ataque constante com relação ao vento relativo - ou seja, quando ela não tende a jogar seu nariz para baixo e mergulhar ou levantar seu nariz e perder velocidade diz-se que ela tem estabilidade longitudinal. Estabilidade longitudinal se refere ao movimento de arfagem. O estabilizador horizontal é a superfície primária que controla a estabilidade longitudinal. A ação de estabilizador depende da velocidade e do ângulo de ataque da aeronave.

A Figura 13-12 ilustra a contribuição da empenagem para a estabilidade.

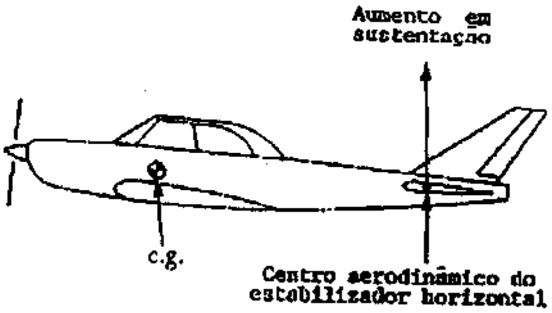


Figura 13-12 Sustentação na empenagem.

Se uma aeronave muda seu ângulo de ataque, ocorre uma mudança na sustentação no centro aerodinâmico (centro de pressão) do estabilizador horizontal.

Sob certas condições de velocidade, carga e ângulo de ataque, o fluxo de ar sobre o estabilizador horizontal cria uma força, a qual empurra a empenagem para cima ou para baixo. Quando devido as condições, o fluxo de ar cria forças iguais para cima e para baixo, dizemos que as forças estão em equilíbrio. Essa condição é geralmente encontrada em vôo nivelado e em vento calmo.

Estabilidade Direcional

A estabilidade em torno do eixo vertical é conhecida como estabilidade direcional. A aeronave deve ser projetada, de forma que, quando ela estiver em vôo reto e nivelado, permaneça em sua proa, mesmo que o piloto tire suas mãos e pés dos controles.

Se uma aeronave se recupera automaticamente de uma derrapada, ela foi bem projetada, e possui bom balanceamento direcional. O estabilizador vertical é a superfície primária que controla a estabilidade direcional.

Conforme mostra a figura 13-13, quando uma aeronave sofre uma glissada ou uma guinada, o estabilizador vertical sofre uma mudança no ângulo de ataque, com uma mudança resultante na sustentação (não confundir com a sustentação criada pelas asas). A mudança na sustentação, ou força lateral, sobre o estabilizador vertical, cria um momento de guinada sobre o centro de gravidade, o qual tende a retornar a aeronave à sua trajetória original.

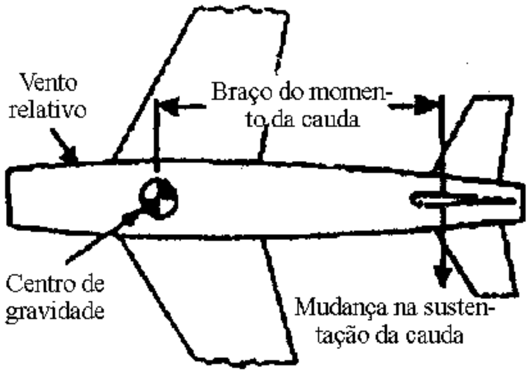

Vento relativo
Braço do momento da cauda
Centro de gravidade
Mudança na sustentação da cauda

Figura 13-13 Contribuição do estabilizador vertical para a estabilidade direcional.

As asas enflechadas ajudam na estabilidade direcional.Se uma aeronave dá uma guinada na sua direção de vôo, a asa que está à frente oferece maior arrasto de que a que está atrás. O efeito desse arrasto retém a asa que está à frente e deixa a que está atrás alcançá-la.

A estabilidade direcional também é ajudade pela utilização de uma fuselagem longa, e uma grande quilha dorsal.

O alto número Mach do vôo supersônico, reduz a contribuição do estabilizador vertical para a estabilidade direcional. Para produzir a estabilidade direcional a altos números Mach, pode ser necessário uma área do estabilizador vertical muito grande. Alhetas ventrais podem ser colocadas como uma contribuição adicional à estabilidade direcional.

Estabilidade Lateral

Vimos que, arfagem é o movimento em torno do eixo lateral da aeronave, e guinada é o movimento em torno do seu eixo vertical. O movimento em torno do seu eixo longitudinal (na frente ou atrás) é um movimento lateral ou de rolamento. A tendência de retornar para a atitude original é chamada estabilidade lateral.

A estabilidade lateral de uma aeronave, envolve considerações de momento de rolamento devido à glissada. Uma glissada tende a produzir os movimentos, tanto de rolagem quanto de guinada. Se uma aeronave tem um momento de rolamento favorável, uma guinada tende a retornar a aeronave para a atitude de vôo nivelado. A superfície principal, em termos de contribuição para a estabilidade lateral de uma aeronave, é a asa.

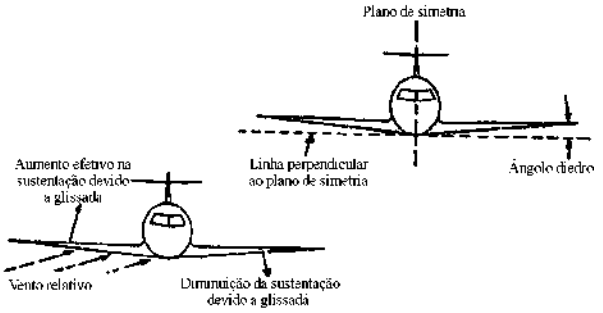

Plano de simetria
Aumento efetivo na sustentação devido a glissada
Linha perpendicular ao plano de simetria
Ângolo diedro
Vento relativo
Diminuição da sustentação devido a glissada

Figura 13-14 Contribuição do diedro para a estabilidade lateral.

O efeito da geometria do diedro (figura 14) de uma asa, é uma contribuição em potencial para a estabilidade lateral. Como mostrado na figura 13-14, uma asa com diedro desenvolve momentos de rolagem estáveis com glissada. Com vento relativo lateral, a asa do lado do vento está sujeita a um aumento do ângulo de ataque, e desenvolve um aumento de sustentação. A asa contrária à direção do vento está sujeita a uma diminuição do ângulo de ataque, e desenvolve menos sustentação. As mudanças na sustentação produzem um momento de rolagem tendendo a levantar a asa contra o vento.

Quando a asa é enflechada, o diedro efetivo aumenta rapidamente com a mudança no coeficiente de sustentação da asa. Enflechamento é o ângulo entre uma linha perpendicular à linha de centro da fuselagem e o quarto de corda de cada seção de aerofólio da asa. O enflechamento em combinação com o diedro faz com que o efeito do diedro seja excessivo.

Conforme mostra a figura 13-15, a aeronave com asa enflechada durante uma glissada, tem uma asa que está operando do lado do vento, com um aumento efetivo no enflechamento, enquanto a outra asa opera com uma redução efetiva no enflechamento.

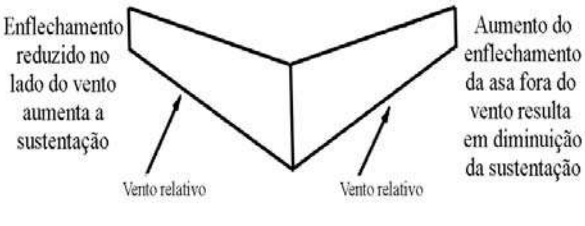

Enflechamento reduzido no lado do vento aumenta a sustentação
Aumento do enflechamento da asa fora do vento resulta em diminuição da sustentação
Vento relativo
Vento relativo

Figura 13-15 Efeito do enflechamento na estabilidade lateral.

A asa do lado do vento produz mais sustentação que a do lado contrário. Isso tende a restabelecer a atitude de vôo nivelado da aeronave.

A medida do diedro efetivo, necessária para produzir um vôo de qualidade satisfatória, varia muito com o tipo e o propósito da aeronave. Geralmente, o diedro efetivo é mantido baixo, porque o alto rolamento, devido à glissada, pode criar problemas. Um excesso no diedro efetivo pode conduzir ao movimento lento oscilatório ("dutch roll"), dificuldade de coordenação do leme nas manobras de rolagem, ou impor extrema dificuldade no controle lateral, durante decolagens e pousos com vento cruzado.

CONTROLE

Controle é a atitude tomada para fazer com que a aeronave siga a trajetória de vôo desejada.

Quando se diz que uma aeronave é controlável, significa que ela responde fácil e prontamente ao movimento dos controles. Diferentes superfícies de controle são utilizadas para controlar a aeronave em torno de cada um dos seus três eixos. Movendo-se as superfícies de controle em uma aeronave, muda-se o fluxo de ar que atua nessas superfícies. Isso por sua vez, cria mudanças no balanceamento das forças que agem para manter a aeronave em vôo reto e nivelado.

Superfícies de controle de vôo

As superfícies de controle ou de comando de vôo, são aerofólios articulados ou móveis, projetados para modificar a atitude de uma aeronave durante o vôo. Essas superfícies podem ser divididas em três grupos, geralmente denominados de grupo primário, grupo secundário e grupo auxiliar.

Grupo primário

O grupo primário inclui os ailerons, profundores e leme (figura 13-16). Essas superfícies são usadas para movimentar a aeronave em torno dos seus três eixos.

Os ailerons e profundores são geralmente comandados da cabine, por um volante e um conjunto de forquilha nas aeronaves multimotoras. O leme é comandado por pedais em todos os tipos de aeronaves.

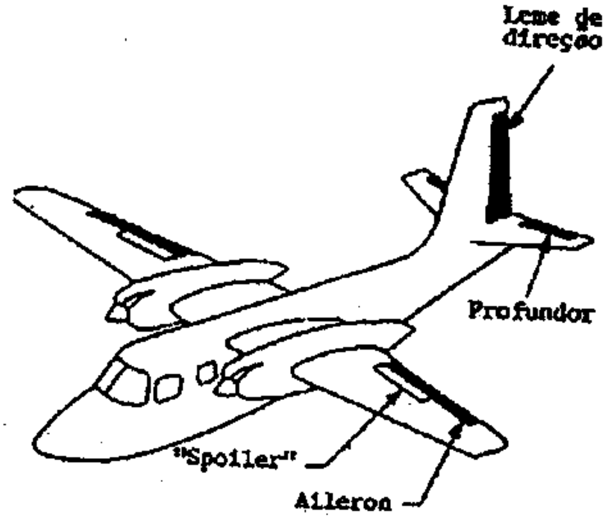


Figura 13-16 Controles primários de vôo

Grupo secundário

Incluídos no grupo secundário estão os compensadores comandáveis e os compensadores conjugados. Compensadores comandáveis são pequenos aerofólios (figura 13-17) encaixados nos bordos de fuga das superfícies de comando primárias.

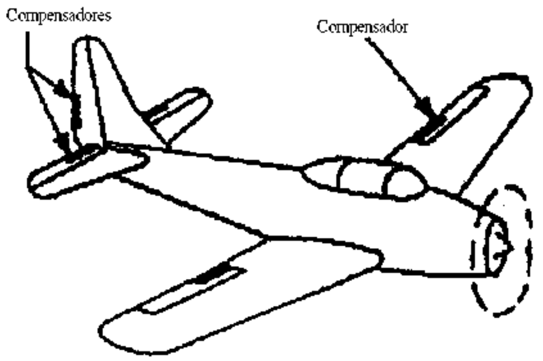


Figura 13-17 Compensadores.

O propósito dos compensadores comandáveis é capacitar o piloto para corrigir qualquer condição de desbalanceamento que possa existir durante o vôo, sem exercer qualquer pressão sobre os controles primários. Cada compensador está articulado à sua superfície matriz de controle primário, porém controlada por um comando independente.

Os compensadores conjugados são similares quanto à aparência aos compensadores comandáveis, porém têm diferentes propósitos.. Eles são usados para ajudar o piloto na movimentação das superfícies primárias de controle.

Grupo auxiliar

Estão incluídos no grupo auxiliar de superfícies de controle de vôo, os flapes de asa, os "*spoilers*", os freios aerodinâmicos, os "*slats*" (aerofólio auxiliar móvel), os flapes de bordo de ataque e os "*slots*" (fenda na asa).

O grupo auxiliar pode ser dividido em dois sub grupos: aqueles cujo propósito primário é aumentar a sustentação; e aqueles cujo propósito é diminuí-la. No primeiro grupo estão os flapes, tanto o de bordo de fuga quanto o de bordo de ataque ("slats") e os eslotes ("*slots*"). Os dispositivos destinados a diminuir a sustentação são os "*spoileres*" e os freios aerodinâmicos.

Os flapes aumentam a área da asa, aumentando dessa forma a sustentação na decolagem, e diminuindo a velocidade durante o pouso. Esses aerofólios são retrateis e se ajustam aerodinamicamente ao contorno da asa.Os outros são simplesmente parte do revestimento inferior, os quais se estendem pelo fluxo de ar diminuindo a velocidade da aeronave.

Os flapes de bordo de ataque são aerofólios, que se estendem e se retraem do bordo de ataque das asas. Alguns tipos criam uma abertura entre o aerofólio estendido e o bordo de ataque.

O flape (chamado de "*slat*" por alguns fabricantes) e os eslotes, produzem sustentação adicional nas baixas velocidades durante decolagens e pousos. Outros tipos têm eslotes permanentes construídos no bordo de ataque das asas. Nas velocidades de cruzeiro, os flapes de bordo de fuga e de ataque se retraem para a própria asa.

Os dispositivos de aumento de sustentação são os freios aerodinâmicos (spoileres). Em alguns casos, existem dois tipos de spoileres.O "*spoiler*" de solo que é estendido somente após o pouso da aeronave, auxiliando, dessa forma, a ação de frenagem. "Spoiler" de vôo e o que auxilia o controle lateral, sendo estendido sempre que o aileron da respectiva asa é acionado para cima.

Quando atua como freios aerodinâmicos, os "spoileres", em ambas as asas, têm maior amplitude no lado superior da asa que na parte inferior desta. Isso permite a operação do freio aerodinâmico e controle posterior, simultaneamente.

Os "*slats*" são superfícies móveis de controle presas ao bordo de ataque das asas.

Quando fechado, o "*slat*" forma o bordo de ataque da asa. Quando na posição aberta (estendido para frente) é criado um eslote entre o "*slat*" e o bordo de ataque da asa. Em baixas velocidades, isso aumenta a sustentação e melhora as características de manejo, permitindo que a aeronave seja controlada em velocidades diferentes das velocidades normais de pouso.

Controle em torno do eixo longitudinal

O movimento da aeronave em torno do eixo longitudinal é chamado rolamento (ou rolagem), ou inclinação lateral. Os ailerons (figura 13-18) são utilizados para controlar esse movimento.

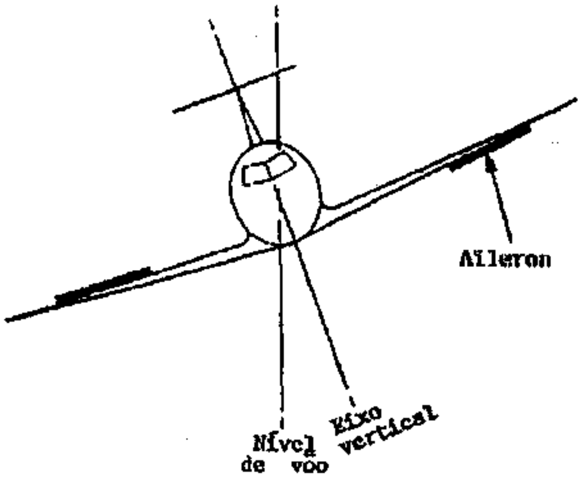


Figura 13-18 Ação do aileron.

Os ailerons formam parte da asa e estão localizados no bordo de fuga, próximos às pontas dessas asas. Os ailerons são as superfícies móveis de outra superfície fixa que é a asa. O aileron está na posição neutra quando está aerodinamicamente alinhado com o bordo de fuga da asa.

Os ailerons respondem à pressão lateral aplicada ao manche. A pressão aplicada para mover o manche para a direita levanta o aileron direito e abaixa o esquerdo, provocando a inclinação da aeronave para a direita.

Os ailerons são interligados por cabos de comando, de forma que, quando um aileron é comandado para baixo, o outro é comandado para cima. A função do aileron que é comandado para baixo é aumentar a sustentação, aumentando a cambra da asa. Ao mesmo tempo o aileron abaixado, também cria arrasto adicional, uma vez que ele está numa área de alta pressão embaixo da asa.

O aileron que está em cima, na extremidade oposta da asa, diminui a sustentação daquele lado. O aumento de sustentação sob a asa cujo aileron está para baixo, levanta essa asa. Isso provoca o rolamento da aeronave em torno do seu eixo longitudinal, conforme mostrado na figura 13-19.

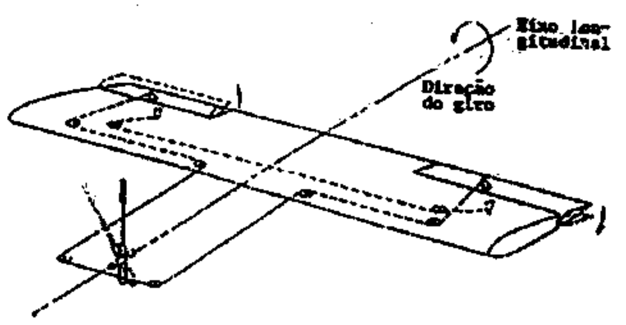


Figura 13-19 Sistema de controle do aileron.

Como resultado do aumento de sustentação na asa cujo aileron está para baixo, o arrasto também é aumentado. Esse arrasto produz um esforço para puxar o nariz na direção da asa alta. Uma vez que os ailerons são utilizados em conjunto com o leme, quando a aeronave está em curva, o aumento de arrasto tenta girar a aeronave na direção oposta à desejada.

Para evitar esse efeito indesejável as aeronaves são projetadas com deslocamentos diferenciados dos ailerons.

O deslocamento diferenciado do aileron (figura 13-20) proporciona maior deslocamento para cima do que para baixo, para um dado movimento do manche ou do volante na cabine.

Os "spoileres" ou freios aerodinâmicos, como também são chamados, são placas instaladas na superfície superior da asa. Elas são geralmente defletidas para cima por meio de atuadores hidráulicos, em resposta ao movimento do volante de controle na cabine.

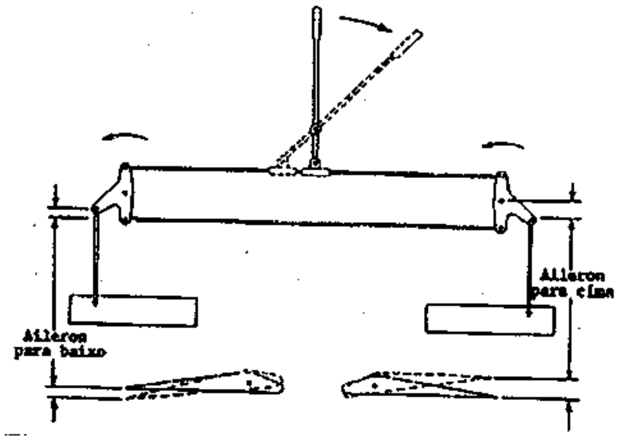


Figura 13-20 Controle diferencial do aileron.

O propósito dos "spoilers" é perturbar o fluxo de ar uniforme que passa pelo topo da aerofólio, criando assim um aumento do arrasto e uma redução da sustentação nesse aerofólio.

Os “spoileres” são utilizados, a princípio, para controle lateral. Durante a inclinação de uma aeronave, os “spoileres” funcionam co os ailerons.

Os "spoileres" do lado cujo aileron está para cima sobem com esse aileron para posterior redução da sustentação da asa.

O "spoiler" do lado oposto permanece na posição inalterada.

Quando os spoileres são utilizados como freios aerodinâmicos, são totalmente defletidos para cima, simultaneamente.

Uma alavanca de comando separada, permite a operação dos "spoileres" como freios aerodinâmicos.

Enquanto temos uma tendência a imaginar um "spoiler" como sendo um dispositivo de controle totalmente complicado, deveríamos ter em mente que alguns não são controláveis.

Alguns “spoileres” são operados automaticamente e atuam apenas em grandes ângulos de ataque. Essa montagem os mantém fora do turbilhonamento a altas velocidades e em cruzeiro.

Um "spoiler" fixo pode ser uma pequena cunha afixada ao bordo de ataque do aerofólio, como mostrado na figura 13-21.

Esse tipo de "spoiler" faz com que a parte de dentro da asa estole na frente da parte de fora, o que resulta em controle do aileron até que ocorra o estol completo da asa.

Usamos extrema precisão no posicionamento de um "spoiler" de bordo de ataque durante sua reinstalação, após ter sido removido para manutenção. O posicionamento inadequado pode resultar em características adversas de estol.

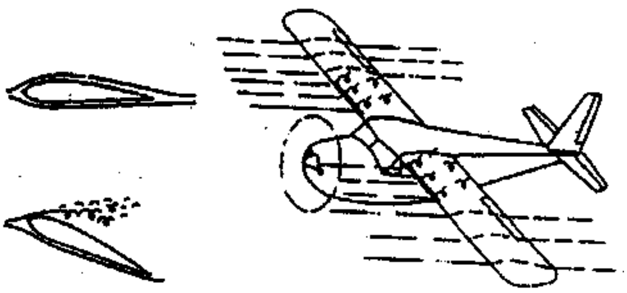


Figura 13-21 *Spoileres* fixos.

Seguimos sempre as instruções do fabricante, com respeito à localização e método de fixação.

Controle em torno do eixo vertical

Girando o nariz de uma aeronave, provocamos a rotação dessa aeronave em torno do seu eixo vertical. A rotação da aeronave em torno do eixo vertical é chamada de guinada. Esse movimento é controlado pelo leme, como ilustrado na figura 13-22.

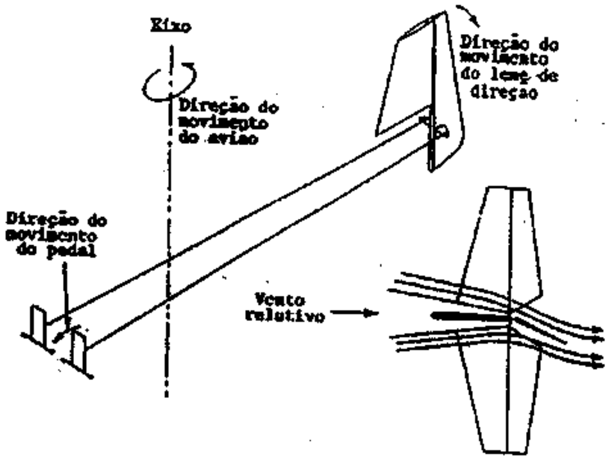

Eixo
Direção do movimento do avião
Direção do movimento do leme de direção
Direção do movimento do pedal
Vento relativo

Figura 13-22 Ação do leme de direção.

O leme é uma superfície de comando, unida ao bordo de fuga do estabilizador vertical. Para girar a aeronave para a direita, o leme é movimentado para a direita. O leme sobressai no fluxo de ar fazendo com que uma força aja sobre ele.

Essa é a força necessária para dar o movimento giratório em torno do centro de gravidade, o qual gira a aeronave para a direita. Se o leme for movimentado para a esquerda, induz uma rotação no sentido anti-horário, e a aeronave similarmente gira para a esquerda.

O leme pode também ser utilizado no controle de curva e inclinação em vôo.

A principal função do leme é girar a aeronave em vôo. Esse giro é mantido pela pressão lateral do ar em movimento, passando pela superfície vertical.

Quando uma aeronave começa a escorregar ou derrapar, é aplicada uma pressão no leme para manter a aeronave aproada na direção desejada.

Glissagem se refere a qualquer movimento da aeronave para o lado e para baixo, na direção do interior da curva. Derrapagem diz respeito a qualquer movimento para cima e para fora do centro da curva.

Controle em torno do eixo lateral

Quando o nariz de uma aeronave é levantado ou abaixado, ele gira sobre seu eixo lateral.

Os profundores são superfícies móveis de comando que provocam sua rotação (figura 13-23). Eles estão normalmente unidos ao bordo de fuga do estabilizador horizontal.

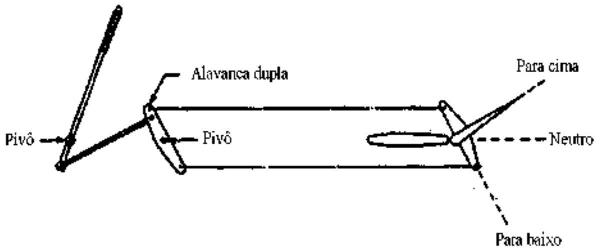


Figura 13-23 Controle do profundor.

Os profundores são usados para fazer a aeronave elevar-se ou mergulhar e, também para obter suficiente sustentação das asas para manter a aeronave nivelada nas diversas velocidades de vôo.

Os profundores podem ser movimentados tanto para cima quanto para baixo; se ele for movimentado para cima, diminui a força de sustentação na cauda, provocando sua queda e elevação do nariz, se o profundor for movimentado para baixo, ele aumenta a força de sustentação sobre a causa, provocando sua elevação e abaixando o nariz.

Abaixando-se o nariz da aeronave, aumenta-se sua velocidade; elevando-o, diminuimos a velocidade.

Algumas aeronaves utilizam uma superfície horizontal móvel chamada estabilizador móvel (figura 13-24). Esse estabilizador serve para o mesmo propósito do estabilizador horizontal, combinado ao profundor.

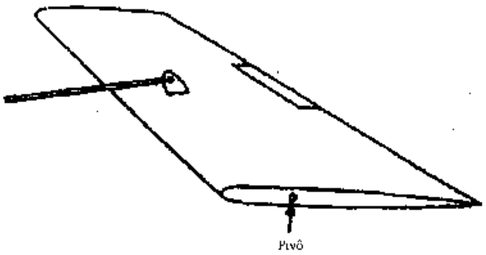


Figura 13-24 Estabilizador horizontal móvel.

Quando o controle na cabine é comandado, o estabilizador completo é movimentado para elevar ou abaixar o bordo de ataque, mudando dessa forma o ângulo de ataque e a sustentação nas superfícies da empenagem. Algumas empenagens de aeronaves são projetadas com uma combinação dos estabilizadores vertical e horizontal. Esse tipo de empenagem tem os seus estabilizadores montados, formando um ângulo, conforme mostra a figura 13-25 As empenagens com esse formato são conhecidas como empenagem em "V".

As superfícies de comando são instaladas no bordo de fuga dos estabilizadores. A parte estabilizadora desse conjunto é denominada estabilizador e a parte de comando é denominada "*ruddervators*" (combinação de leme e profundor).

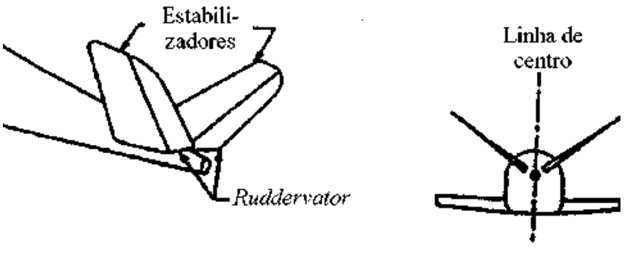


Figura 13-25 Empenagem em " V " .

Essas superfícies podem ser comandadas, ambas para baixo ou para cima, ao mesmo tempo. Quando utilizadas dessa forma, o resultado é o mesmo que seria obtido com qualquer outro tipo de profundor. Esse comando é executado através do manche.

Os "*ruddervators*" podem ser comandados em sentidos opostos um ao outro, empurrando-se o pedal do leme direito ou esquerdo (figura 13-26).

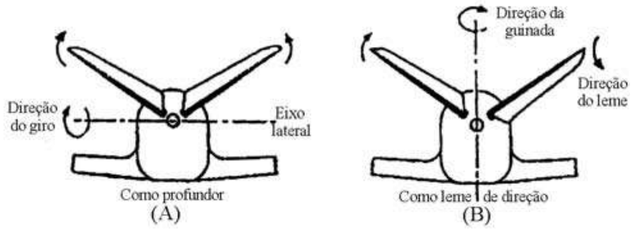


Figura 13-26 Ação dos *Ruddervators*

Se o pedal do leme direito for empurrado, a superfície direita se move para baixo e a esquerda para cima. Isso produz um movimento de rotação que moverá o nariz da aeronave para a direita.

COMPENSADORES

Muito embora uma aeronave tenha a estabilidade inerente, nem sempre ela tende a voar reta e nivelada.

O peso e a distribuição da carga afetam a estabilidade da aeronave. Diversas velocidades também afetam as características de vôo.

Se o combustível do tanque de uma asa for utilizado antes do combustível do tanque da outra asa, a aeronave tenderá a girar para o lado do tanque cheio.

Todas essas variações requerem constante atuação nos comandos para correção.

Enquanto subindo ou em planeio, é necessário aplicar pressão nos comandos para que a aeronave mantenha a atitude desejada.

Para compensar as forças que tendem a desbalancear o vôo de uma aeronave, os ailerons, profundores e leme dispõem de comandos auxiliares conhecidos como compensadores.

São pequenas superfícies de comando, ligadas ao bordo de fuga da superfície de comando primária (figura 13-27). Os compensadores podem ser comandados para cima ou para baixo, por meio de manivela ou comando elétrico na cabine. Os compensadores podem ser comandados para cima ou para baixo, por meio de manivela ou comando elétrico na cabine.

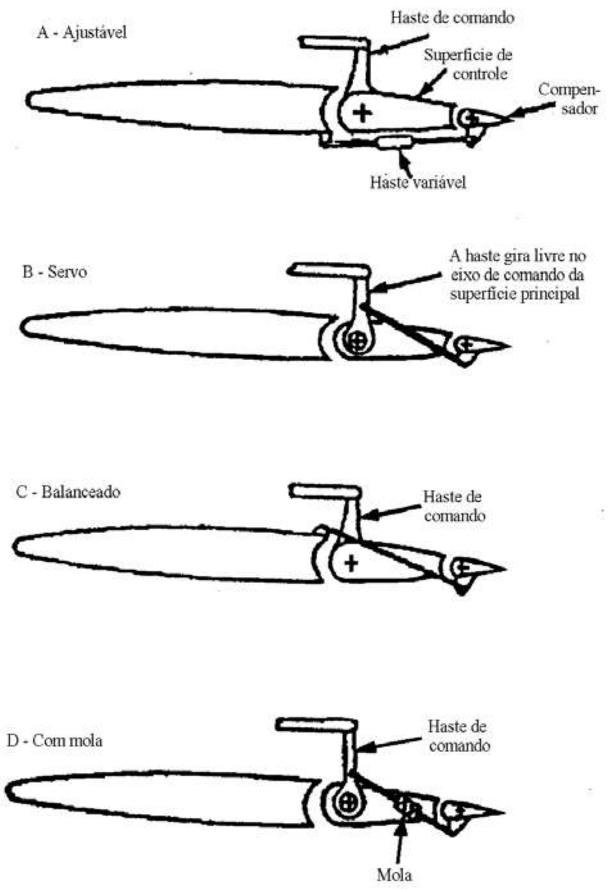


Figura 13-27 Tipos de compensadores.

Esses compensadores podem ser usados para contrabalançar as forças que atuam sobre os comandos, de forma que a aeronave voe reta e nivelada, ou mantenha uma atitude de subida ou planeio.

Compensadores ajustáveis

Os compensadores ajustáveis, ajustam a aeronave em vôo. Ajustar significa corrigir qualquer tendência que a aeronave tenha de se movimentar para uma atitude indesejada de vôo.

Os compensadores ajustáveis controlam o balanceamento de uma aeronave de forma a mantê-la em vôo reto e nivelado, sem atuação na coluna de comando, volante ou pedais do leme.

A figura 13-27A ilustra um compensador ajustável. Note que o compensador tem uma articulação variável, que é ajustada da cabine.

O movimento do compensador em uma direção provoca a deflexão da superfície de comando na direção oposta.

A maioria dos compensadores instalados em aeronaves são comandados mecanicamente da cabine, através de um sistema individual de cabos. Contudo, algumas aeronaves têm compensadores ajustáveis que são operados através de um atuador elétrico.

Os compensadores ajustáveis são ou controlados da cabine, ou ajustados no solo, antes da decolagem. Eles são instalados nos profundores leme, e ailerons.

Servo compensadores

Os servos compensadores (figura 13-27B) são similares em aparência e operação aos compensadores já mencionados. São utilizados primariamente nas grandes superfícies de comando principais. Eles ajudam na movimentação da superfície de comando, mantendo-a na posição desejada. Apenas o servo compensador se movimenta, em resposta ao comando da cabine (A haste do servo compensador é livre para girar, do eixo da superfície de comando principal).

A força do fluxo de ar sobre o servo compensador então movimenta a superfície primária de comando. Com a utilização do servo compensador menos força é necessária para movimentar a superfície de comando primária.

Servo comando

Um servo comando é mostrado na figura 13-27C. A articulação é projetada de tal maneira que, quando a superfície de comando primário é movimentada, o compensador, se move na direção oposta. Dessa forma, forças aerodinâmicas, atuando sobre o compensador ajudam a movimentar a superfície de comando primária.

Compensadores com mola

Os compensadores com mola (figura 13-27D) são de aparência similar aos compensadores ajustáveis, porém servem para diferentes propósitos.

Os compensadores com mola são usados com os mesmos propósitos dos atuadores hidráulicos, isto é, ajudar na movimentação da superfície primária de comando.

Existem diversas montagens utilizadas na articulação do compensador com mola. Em algumas aeronaves, um compensador com mola está ligado ao bordo de fuga de cada aileron, e é atuado por um conjunto formado por haste, do tipo vaivém, carregada por mola, a qual está também ligada à articulação de controle dos ailerons. A articulação é conectada de tal forma que o movimento do aileron em uma direção, provoca a deflexão do compensador com mola na direção oposta. Isso proporciona uma condição de balanceamento, reduzindo dessa forma, a intensidade da força requerida para movimentar os ailerons.

A deflexão do compensador com mola é diretamente proporcional à carga aerodinâmica imposta ao aileron; por conseguinte, as baixas velocidades e o compensador com mola permanecem na posição neutra, e o aileron fica sendo uma superfície controlada manualmente. As altas velocidades, onde a carga aerodinâmica é maior, o compensador funciona como uma ajuda na movimentação da superfície primária de comando.

Para reduzir a força requerida para comandar uma superfície de comando, elas são geralmente balanceadas estaticamente e aerodinamicamente. O balanceamento aerodinâmico é geralmente conseguido através da extensão de parte da superfície de comando à frente da linha da dobradiça. Isso utiliza o fluxo de ar na aeronave para ajudar na movimentação da superfície. Os diversos métodos para se obter o balanceamento aerodinâmico são mostrados na figura 13-28.

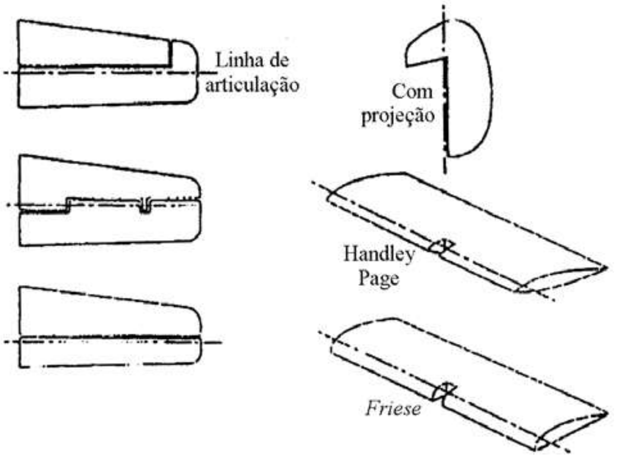


Figura 13-28 Três formas de balanceamento aerodinâmico.

O balanceamento estático é conseguido através da adição de pesos à seção à frente da linha de articulação, até esses pesos se igualarem ao da seção traseira. Quando fazendo reparo de uma superfície de comando, observamos os cuidados necessários a evitar danos ao balanceamento estático. Uma superfície desbalanceada tem uma tendência a vibrar, na medida em que o ar passa por ela.

DISPOSITIVO DE HIPERSUSTENTAÇÃO

Dispositivos de hipersustentação são utilizados em combinação com aerofólios, de forma a reduzir a velocidade de decolagem ou de pouso, mudando as características de um aerofólio durante essas fases.

Quando esses dispositivos não são necessários, são retornados para uma posição dentro da asa para recuperar as características normais do aerofólio.

Dois dispositivos de hipersustentação comumente utilizados em aeronaves são mostrados na figura 13-29. Um desses dispositivos é conhecido como eslote e é utilizado como um passadiço através do bordo de ataque da asa.

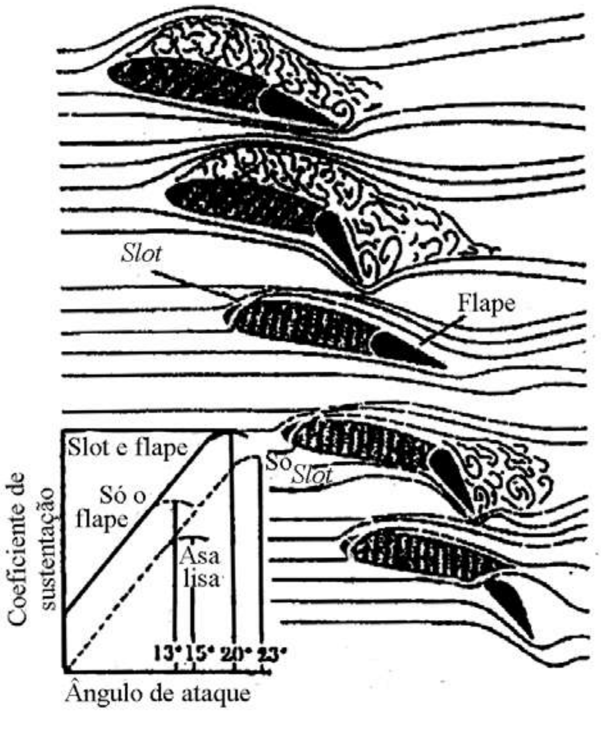


Figura 13-29 Dispositivos de hipersustentação.

Em grandes ângulos de ataque, o ar flui através do eslote e suaviza o fluxo de ar sobre a superfície superior da asa.

Isso permite que a asa vá além do seu ponto normal de estol, sem estolar. Maiores sustentações são obtidas com a asa operando com ângulo de ataque maior.

O outro dispositivo de hipersustentação é conhecido como flape. É uma superfície ligada à superfície do bordo de fuga da asa. O flape é controlado da cabine, e quando não está em uso, aloja-se suavemente na superfície inferior de cada asa.

A utilização dos flapes aumenta a cambra da asa e, por conseguinte, a sustentação da asa, tornando possível a redução da velocidade da aeronave, sem estolar. Isso também permite a obtenção de curvas com grande inclinação nas aproximações para pouso. Os flapes são usados primariamente durante decolagens e pousos.

Os tipos de flapes em uso em aeronaves incluem: (1) plano, (2) bipartido, (3) "*fowler*" e (4) eslotado. O plano (figura 13-30) é simplesmente articulado com a asa, formando uma parte da superfície, quando recolhido.

O flape bipartido (figura 13-30) tem esse nome devido a articulação na parte inferior da asa, próximo ao bordo de fuga permitindo que ele seja abaixado da superfície fixa superior.

O flap "fowler" (figura 13-30) é instalado na parte inferior da asa, de forma a facear com a superfície. Quando o flape é acionado, desliza para trás sobre trilhos e pende para baixo ao mesmo tempo.

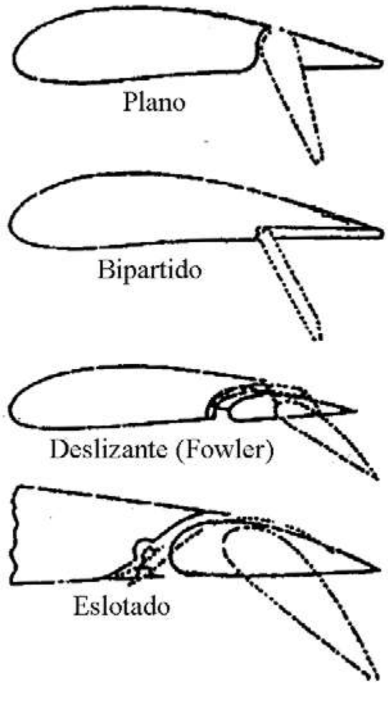


Figura 13-30 Tipos de flapes das asas.

Isso aumenta a cambra da asa, da mesma forma que ocorre com outros tipos de flapes. Contudo, os flapes "fowler" aumentam a área da asa; desse modo, eles aumentam a sustentação sem indevidamente aumentar o arrasto.

O flape eslotado (figura 13-30) é igual ao flap "fowler" quanto a operação, porém, em aparência é similar ao flape plano. Esse flape, ou está equipado com trilhos e roletes ou acoplamentos de projeto especial.

Durante a operação, o flape se desloca para baixo e para trás, para fora da asa. Dessa forma, o eslote aberto permite um fluxo de ar sobre a superfície superior do flape.

O efeito é um fluxo de ar supostamente alinhado e uma melhoria da eficiência do flape.

Dispositivos de controle da camada limite.

A camada de ar sobre a superfície com menor velocidade em relação ao fluxo de ar, é conhecida por camada limite. O fluxo de ar inicial sobre uma superfície uniforme (figura 13-31) dá a evidência de uma camada limite muito fina, com um fluxo que ocorre em camadas que deslizam suavemente, uma sobre a outra. Portanto, o termo para esse tipo de fluxo é " camada limite laminar".

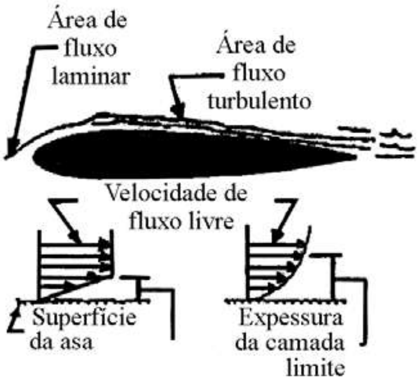


Figura 13-31 Características da camada limite.

Enquanto o fluxo continua do bordo de ataque para trás, forças de fricção na camada limite continuam a dissipar a energia do fluxo dos filetes de ar, diminuindo esse fluxo. A camada limite laminada aumenta em espessura com relação a distância do bordo de ataque da asa.

A certa distância do bordo de ataque, o fluxo laminar começa um distúrbio oscilante instável. Uma ondulação ocorre na camada limite laminar, a qual cresce de modo a tornar-se mais severa e destruir o suave fluxo laminar. Dessa forma, uma transição ocorre, quando a camada limite laminar desagrega-se numa camada limite turbulenta.

O mesmo tipo de transição pode ser observado na fumaça de um cigarro. Primeiramente a cinta de fumaça é suave e laminar, depois revela uma ondulação definitiva e, depois, torna-se uma amostra turbulenta de fumaça. Os dispositivos de controle da camada limite constituem meios adicionais de aumentar o coeficiente de sustentação de uma seção. A fina camada de ar adjacente à superfície de um aerofólio mostra as velocidades reduzidas pelo efeito do atrito de superfície. Em grandes ângulos de ataque, a camada limite sobre a superfície superior tende a estagnar-se. Quando isso acontece, o fluxo de ar se separa da superfície e ocorre o estol.

Vários dispositivos de controle da camada limite para aplicação de alta sustentação, se destacam para manter a alta velocidade na camada limite e retardar a separação do fluxo de ar. O controle da energia cinética da camada limite pode ser conseguido usando-se eslates (aerofólio auxiliar móvel no bordo de ataque da asa) e a aplicação de sucção, para retirar o ar estagnado e recolocá-lo com alta velocidade de fora da camada limite.

Eslotes (figura 13-32) são superfícies de controle móveis presas ao bordo de ataque das asas. Na posição fechada eles formam o bordo de ataque da asa, na posição aberta (estendido para frente) uma fenda é criada entre o eslote e o bordo de ataque da asa. Dessa forma, ar na forma de alta energia é introduzido na camada limite no topo da asa. isso é conhecido como "controle da camada limite".

Em baixas velocidades do ar, isso melhora as características de movimentação, permitindo que a aeronave seja controlada lateralmente a velocidades abaixo das velocidades normais de pouso. Controlando-se o ar da camada limite pela sucção na superfície, permite-se que a asa opere em ângulos de ataque maiores.

O efeito das características de sustentação é similar àquele de um eslote, porque o eslote é essencialmente um dispositivo de controle da camada limite, conduzindo ar de alta energia para a superfície superior.

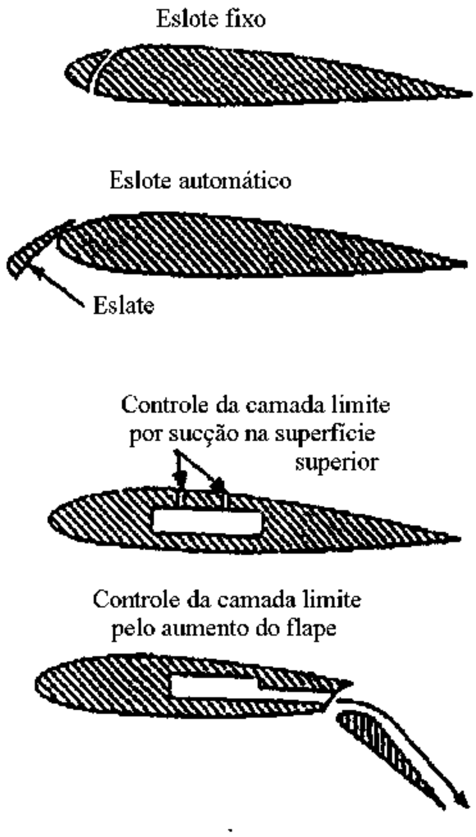

Eslote fixo
Eslote automático
Eslate
Controle da camada limite por sucção na superfície superior
Controle da camada limite pelo aumento do flape

Figura 13-32 Métodos de controlar a camada limite.

O controle da camada limite também pode ser conseguido, direcionando-se o ar sangrado do motor a alta pressão através de um estreito orifício, localizado exatamente à frente no bordo de ataque do flape de asa. Isso dirige um fluxo laminar (camadas de ar) sobre a asa e os flapes, quando estes estiverem abaixados o suficiente para expor o orifício em alta temperatura. O ar laminar a alta velocidade passando sobre a asa e flapes, retarda a separação do fluxo (o fluxo de ar sobre um aerofólio segue o contorno deste aerofólio). Isso resulta em menor velocidade de estol e permite velocidades de pouso mais baixas.

FORÇAS QUE ATUAM SOBRE UM HELICÓPTERO

Uma das diferenças entre um helicóptero e uma aeronave de asas fixas é a principal fonte de sustentação. A aeronave de asa fixa deduz sua sustentação da superfície de um aerofólio fixo, enquanto um helicóptero deriva sustentação de um aerofólio rotativo, denominado rotor.

As aeronaves são classificadas de asa fixa ou de asa rotativa. A palavra helicóptero vem de uma palavra grega, significando "asa rotativa".

Durante qualquer tipo de vôo horizontal ou vertical, existem quatro forças atuando na sustentação, no empuxo, no peso e no arrasto do helicóptero. Sustentação é a força requerida para suportar o peso do helicóptero. Empuxo é a força requerida para vencer o arrasto sobre a fuselagem e outros componentes do helicóptero.

Durante vôo pairado, numa condição "sem vento", o plano desenvolvido é horizontal, isto é, paralelo ao solo. Sustentação e empuxo agem em linha reta para cima; peso e arrasto agem retos para baixo. A soma das forças de sustentação e de empuxo tem que igualar a soma das forças do peso e empuxo, de forma a fazer o helicóptero pairar.

Durante o vôo vertical, numa condição "sem vento", as forças de sustentação e empuxo agem ambos verticalmente para cima. Peso e arrasto agem, ambos verticalmente, para baixo. Quando sustentação e empuxo se igualam ao peso e arrasto, o helicóptero paira; se a sustentação e o empuxo são menores que peso e arrasto, o helicóptero desce verticalmente; se sustentação e empuxo são maiores que peso e arrasto, o helicóptero sobe verticalmente.

Em vôos para frente, o plano desenvolvido é inclinado para frente, dessa forma inclinando a força sustentação-empuxo para frente.

Essa força resultante sustentação-empuxo pode ser decomposta em duas componentes (sustentação atuando verticalmente, e empuxo atuando horizontalmente na direção do vôo). Além disso, para sustentação e empuxo, existe o peso, a força que atua para baixo, e o arrasto, a força que atua para trás, ou força retardadora de inércia e de resistência ao vento.

Em vôo reto e nivelado, vôo para frente desacelerado, a sustentação se iguala ao peso, e o empuxo se iguala ao arrasto (vôo reto e nivelado é o vôo com proa e altitude constantes). Se sustentação exceder o peso, o helicóptero sobe; se a sustentação for menor que o peso o helicóptero desce.

Se o empuxo exceder o arrasto a velocidade do helicóptero aumenta; se o empuxo for reduzido, a velocidade diminui; em vôo lateral, o plano desenvolvido é inclinado lateralmente na direção do vôo, inclinando dessa forma o vetor sustentação-empuxo lateral total. Nesse caso, a componente sustentação, ou vertical, é ainda reto para cima, o peso reto para baixo; porém o componente aceleração, ou horizontal, agora atua lateralmente com o arrasto, atuando para o lado oposto.

No vôo para trás, o plano desenvolvido é inclinado para trás, inclinando o vetor sustentação-empuxo, lateralmente. O componente do empuxo é para trás, e o componente arrasto, para frente, exatamente oposto ao vôo para frente. O componente de sustentação é reto para cima, e o do peso, reto para baixo.

Torque

A terceira lei de Newton estabelece que "para toda ação existe uma reação igual e oposta". Como o rotor principal de um helicóptero gira em uma direção, a fuselagem tende a girar na direção oposta. Essa tendência que a fuselagem tem de girar, é denominada torque. Uma vez que o efeito do torque sobre a fuselagem é o resultado direto da potência do motor suprida para o rotor principal, qualquer mudança na potência do motor causará uma mudança correspondente no efeito do torque. Quanto maior a potência do motor , maior o efeito do torque. Uma vez que não haja potência do motor, sendo suprida para o rotor principal durante a autorotação, não haverá, também, reação de torque durante a auto-rotação. A força que compensa o torque e proporciona o controle direcional, pode ser produzida por um rotor auxiliar, localizado na cauda.

.Esse rotor auxiliar, geralmente chamado de rotor de cauda ou rotor antitorque, produz empuxo na direção oposta à reação de torque desenvolvida pelo rotor principal (figura 13-33).

Pedais na cabine de comando permitem ao piloto aumentar ou diminuir o empuxo no rotor de cauda, como necessário, para neutralizar o efeito de torque.

Outros métodos de compensação do torque e de se prover controle direcional estão ilustrados na figura 13-33.

A centrifugação do rotor principal de um helicóptero atua como um giroscópio. Como tal, ele tem as propriedades da ação giroscópica, uma das quais, a precessão.

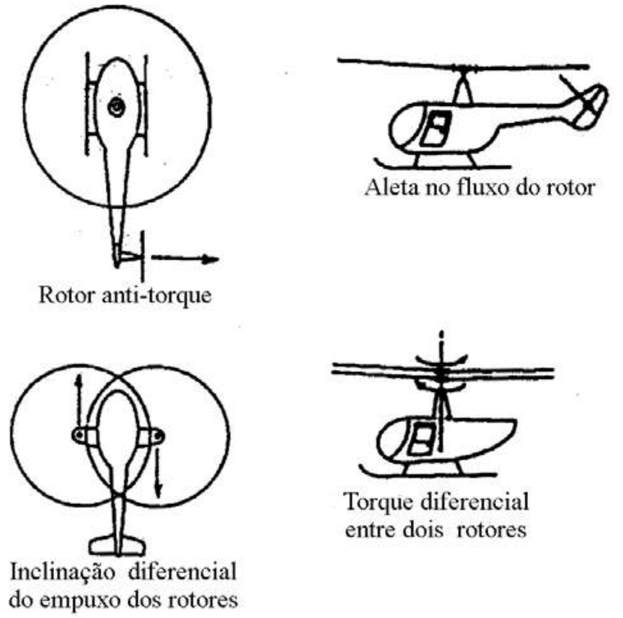

Aleta no fluxo do rotor
Rotor anti-torque
Torque diferencial entre dois rotores
Inclinação diferencial do empuxo dos rotores

Figura 13-33 Métodos para obtenção do controle direcional

Precessão giroscópica é a ação resultante ou deflexão de um objeto em centrifugação, quando uma força é aplicada a esse objeto.

Essa ação ocorre aproximadamente a 90º na direção de rotação, em relação ao ponto onde a força é aplicada (figura 13-34). Através do uso desse princípio, o plano desenvolvido de um rotor principal pode estar inclinado da horizontal. O movimento no controle cíclico de passo, num sistema de rotor de duas pás, aumenta o ângulo de ataque de uma das pás do rotor, resultando na aplicação de uma força de sustentação maior nesse ponto, no plano de rotação.

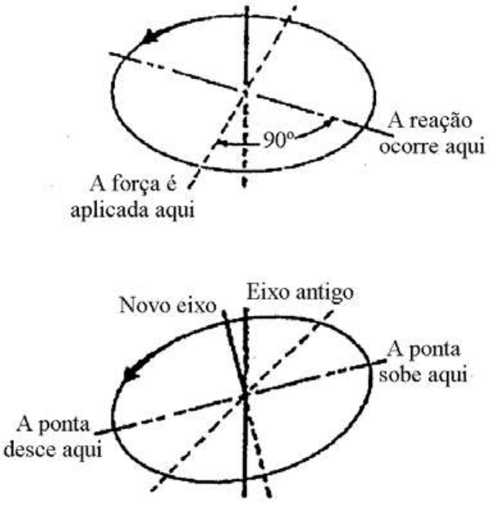

90º
A reação ocorre aqui
A força é aplicada aqui
Novo eixo
Eixo antigo
A ponta sobe aqui
A ponta desce aqui

Figura 13-34 Princípio da precessão giroscópica.

Esse mesmo movimento de controle, simultaneamente diminui o ângulo de ataque da outra pá, diminuindo dessa forma a força de sustentação aplicada nesse ponto, no plano de rotação.

A pá com o ângulo de ataque aumentado tende a subir; a pá com o ângulo de ataque diminuído tende a abaixar. Contudo, devido à propriedade da precessão giroscópica, as pás não sobem ou abaixam para a deflexão máxima, até um ponto aproximadamente a 90º após, no plano de rotação

Conforme mostra a figura 13-35, o ângulo de ataque da pá que recua, é aumentado; e o ângulo de ataque da pá que avança, é diminuído; resultando numa inclinação do plano, uma vez que a deflexão máxima acontece 90º atrasados quando as pás estão atrás e na frente respectivamente.

Nos rotores tripás, o movimento do cíclico muda o ângulo de ataque de cada pá de forma apropriada, de maneira que o resultado final seja o mesmo, uma inclinação para frente da ponta do plano quando a máxima troca de ângulo de ataque é feita na medida em que cada pá passa no mesmo ponto no qual os aumentos e diminuições máximos ocorrem para o rotor de duas pás, como mostra a fig. 13-35.

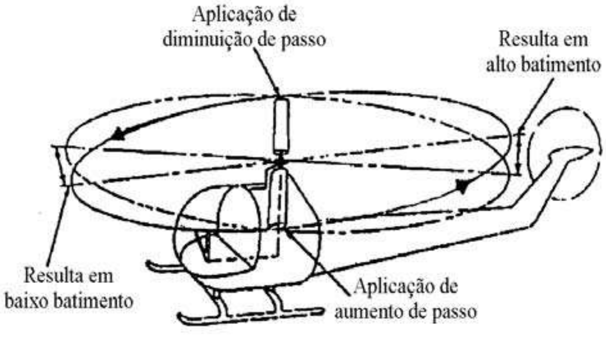

Aplicação de diminuição de passo
Resulta em alto batimento
Resulta em baixo batimento
Aplicação de aumento de passo

Figura 13-35 O disco do rotor atua como um giroscópio.

Na medida em que cada pá passa pela posição de 90º à esquerda, ocorre o aumento máximo do ângulo de ataque. Na medida em que cada pá passa pela posição de 90º para a direita, ocorre a diminuição máxima no ângulo de ataque.

A deflexão máxima ocorre 90º atrasada. A deflexão máxima para cima na traseira, e a deflexão máxima para baixo na frente e o plano desenvolvido cai para frente.

Assimetria de sustentação

A área dentro do plano desenvolvido por um rotor principal, é conhecida como área do disco ou disco do rotor.

Quando pairando no ar, a sustentação criada pelas pás do rotor em todas as posições correspondentes em torno do disco é igual.

A assimetria de sustentação é criada pelo vôo horizontal ou vento, durante o vôo pairado, e é a diferença entre a sustentação existente entre a metade da pá avançada da área do disco e a metade da pá retraída. Na R.P.M. normal de operação do rotor e velocidade zero, a velocidade de rotação da ponta da pá é aproximadamente 400 M.P.H.

Quando pairando numa condição sem vento, a velocidade do vento relativo nas pontas das pás, e em qualquer ponto específico ao longo da pá, é a mesma através do plano desenvolvido (figura 13-36).

Contudo, a velocidade é reduzida na medida em que esse ponto se move para posições mais próximas do cubo do rotor, conforme indicado na figura 13-36 pelos dois círculos internos.

Na medida em que o helicóptero se desloca no vôo para frente, o vento relativo que passa por cada pá do rotor se torna uma combinação da velocidade de rotação do rotor e do movimento para frente, do helicóptero.

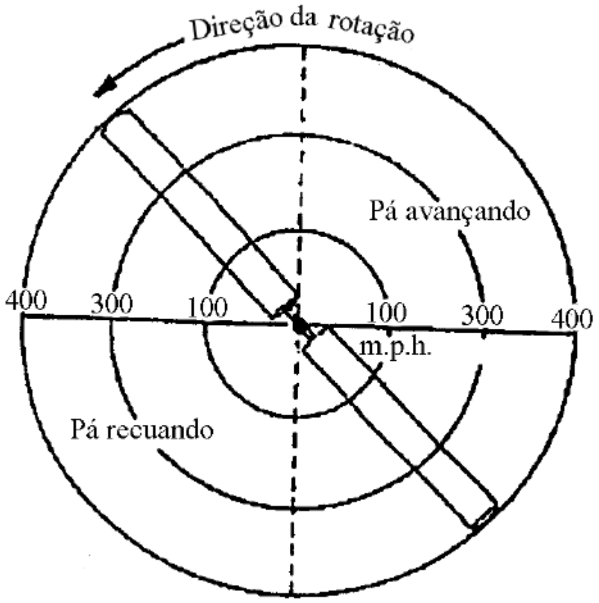


Figura 13-36 Comparação das velocidades entre a pá que avança e a que recua, durante o vôo pairado.

Conforme mostra a figura 13-37, a pá que avança tem a velocidade combinada da pá, mais a do helicóptero.
No lado oposto, a velocidade da pá, que recua é a velocidade da pá menos a velocidade do helicóptero.

É evidente que a sustentação na pá que avança, na metade do disco do rotor, será maior que a sustentação na metade da pá que recua, durante o vôo horizontal, ou quando pairando no vento.

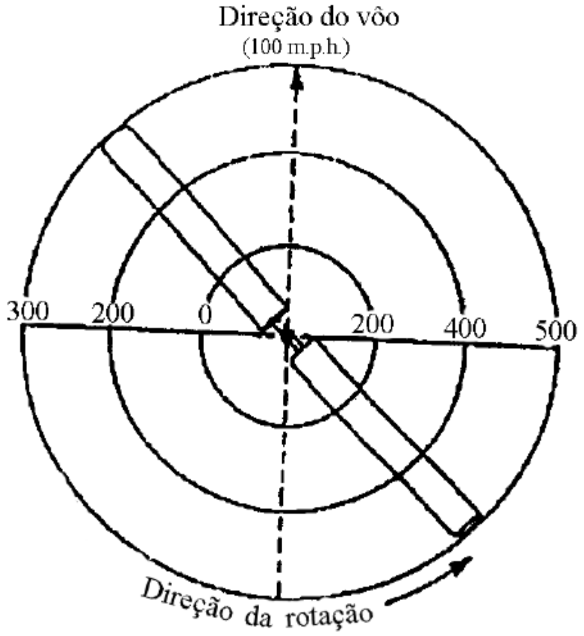


Figura 13-37 Comparação das velocidades das pás entre a pá que avança e a que recua durante o vôo para frente.

Devido à maior sustentação na pá que avança, o helicóptero tende à rolagem, a menos que alguma coisa seja feita para equalizar a sustentação durante o vôo horizontal, ou quando pairando no vento.

Devido à maior sustentação na pá que avança, o helicóptero tende à rolagem, a menos que alguma coisa seja feita para equalizar a sustentação nas pás, em ambos os lados do helicóptero.

Ângulo de batimento

No sistema do rotor tripá, as pás são ligadas ao cubo do rotor pela articulação horizontal, a qual permite que as pás se movam no plano vertical, ou seja para cima ou para baixo na medida em que elas giram (figura 13-38).

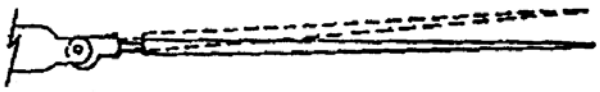


Figura 13-38 Ação do ângulo de batimento (plano vertical).

No vôo para frente, considerando que o passo da pá permanece constante, o aumento de sustentação na pá que avança, provoca o levantamento da pá, aumentando o ângulo de ataque, uma vez que o vento relativo irá mudar da direção horizontal para baixo. A redução da sustentação na pá que recua causará a queda da pá, aumentando o ângulo de ataque devido à troca do vento relativo, da direção horizontal para a direção para cima. A combinação do ângulo de ataque reduzido na pá que avança e o ângulo de ataque aumentado na pá que recua pela ação do ângulo de batimento, tende a equalizar a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor. O deslocamento da pá para cima é conseqüência da força centrífuga, a qual tende a arrancar a pá do cubo e da força de sustentação que tende a levantar a pá sobre sua articulação. Na medida em que as pás sobem, elas deixam seu plano desenvolvido momentaneamente. Em conseqüência, a ponta da pá que está "batendo" deve percorrer uma distância maior. Dessa forma, ela tem que atingir maior velocidade pôr uma fração de segundo, de forma a acompanhar as outras pás.

A ação de batimento da pá, cria uma condição de desbalanceamento, resultando em vibração. Para evitar essa vibração, braços de arrasto (figura 13-39) são incorporados para permitir o movimento de vaivém no plano horizontal.

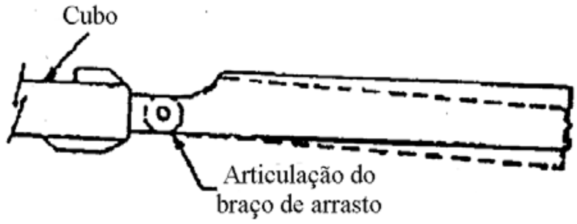


Figura 13-39 Ação do braço de arrasto.

Com as pás livres para se movimentarem no eixo de arrasto, uma condição de desbalanceamento é criada, uma vez que o C.G. (Centro de Gravidade) não irá permanecer fixo, mas sim se mover em volta do mastro. Esse movimento do C.G. causa vibração excessiva.

Para amortecer as vibrações, amortecedores hidráulicos limitam o movimento das pás sobre o braço de arrasto. Esses amortecedores também tendem a manter o relacionamento geométrico das pás.

Um rotor que permite o movimento individual das pás em relação ao cubo, tanto no plano vertical quanto horizontal, é chamado de rotor articulado.

Os pontos de articulação e direção do movimento, ao redor da articulação, estão ilustrados na figura 13-40.

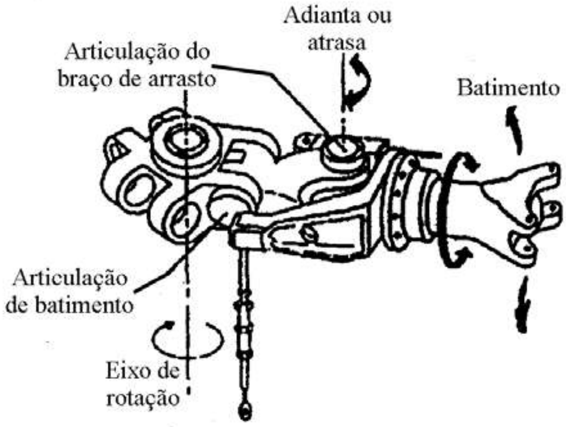


Figura 13-40 Cabeça de rotor articulado.

Num sistema bi-pá, as pás batem como uma só unidade. Enquanto a pá que avança bate para cima devido ao aumento de sustentação, a pá que recua bate para baixo, devido à redução da sustentação. A mudança no ângulo de ataque em cada pá produzida por esse fato, tende a equalizar a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor.

A posição do controle cíclico de passo no vôo para frente, também causa diminuição do ângulo de ataque na pá que avança, e um aumento do ângulo de ataque na pá que recua. Isso, somados ao batimento das pás equaliza a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor.

Formação de cones

A formação de cone (figura 13-41) é uma espécie de dobramento das pás para cima, causada pela combinação das forças de sustentação e centrífuga. Antes da decolagem, as pás giram em um plano aproximadamente perpendicular ao mastro do rotor, uma vez que a força centrífuga é a maior força atuando sobre elas.

Quando é realizada uma decolagem vertical, duas grandes forças estão agindo ao mesmo tempo. A força centrífuga atuando perpendicularmente ao mastro do rotor e a força de sustentação, atuando paralelamente ao mastro.

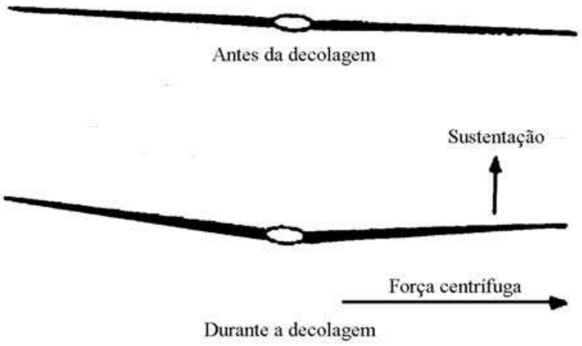


Figura 13-41 Cone nas pás.

O resultado da ação dessas duas forças, é que as pás assumem uma forma cônica, ao invés de permanecerem no plano perpendicular ao mastro. A formação de cone resulta em um arqueamento das pás em um rotor semi-rígido; em um rotor articulado, as pás assumem um ângulo para cima, através do movimento ao redor da articulação.

Efeito solo

Quando um helicóptero está num vôo pairado, próximo ao solo, as pás do rotor afas-Tam o ar descendente através do disco, com velocidade superior àquela com que ele é capaz de escapar debaixo do helicóptero. Isso produz um denso colchão de ar entre o solo e o helicóptero (figura 13-42).

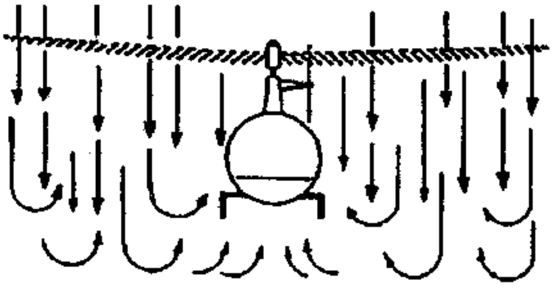


Figura 13-42 Efeito de solo.

Esse colchão de ar mais denso é chamado de efeito solo e ajuda na sustentação do helicóptero durante o vôo pairado. Ele geralmente é efetivo a uma altura de aproximadamente metade do diâmetro do disco do rotor. A aproximadamente 3 a 5 milhas por hora em relação ao solo, o helicóptero deixa o colchão.

Auto-rotação

Auto-rotação é o termo usado para a condição de vôo durante o qual não há fornecimento de potência do motor, e o rotor principal é acionado apenas pela ação do vento relativo. A transmissão do helicóptero ou trem de potência é projetado, de forma que o motor, quando para, é automaticamente desengajado do sistema do rotor principal, para permitir que este gire livremente na sua direção original.

Quando a potência do motor está sendo suprida para o rotor principal, o fluxo de ar é para baixo, através do rotor.

Quando a potência do motor não está sendo suprida para o rotor principal, ou seja, quando o helicóptero está em auto-rotação, o fluxo de ar do rotor é para cima. É esse fluxo de ar para cima que faz com que o rotor continue girando após a falha do motor.

A parte da pá do rotor que produz as forças, que fazem com que o rotor gire, quando o motor não está mais suprindo potência para o rotor, é aquela entre aproximadamente 25% e 70% do raio, a partir do centro. Essa parte é freqüentemente chamada de "região de acionamento ou de auto-rotação". Forças aerodinâmicas, ao longo dessa parte da pá, tendem a aumentar a rotação delas.

Os 25% da parte interna da pá do rotor, chamada de "região de estol", opera acima do ângulo máximo de ataque (ângulo de estol), contribuindo dessa forma com pouca sustentação, porém considerável arrasto, o qual tende a diminuir a rotação da pá.

Os 30% para a extremidade da pá do rotor são conhecidos como "região de propulsão".

As forças aerodinâmicas nessa região resultam numa pequena força de arrasto, a qual tende a retardar a porção da ponta da pá. As regiões aerodinâmicas, como descritas acima, são para auto-rotações verticais.

Durante o vôo para frente em auto-rotação, essas regiões são deslocadas através do disco do rotor para a esquerda. A R.P.M. do rotor estabiliza quando as forças auto-rotativas (empuxo) da "região de propulsão" e as forças auto-rotativas (arrasto) da "região acionada" e a "região de estol" são iguais.

A velocidade para frente durante a descida em auto-rotação, permite que o piloto incline o disco do rotor para trás, causando assim uma curva suave. A sustentação adicional induzida, criada por um volume maior de ar, momentaneamente retém a velocidade para frente, bem como a descida.

O volume maior de ar atuando sobre o disco do rotor, normalmente aumenta a R.P.M. do rotor durante o arredondamento de planeio. Na medida em que a velocidade para frente e a de descida se aproximam de zero, o fluxo de ar para cima praticamente cessa e a R.P.M. do rotor outra vez diminui; o helicóptero se precipita com uma razão ligeiramente aumentada, porém com velocidade para frente reduzida.

O arredondamento permite que o piloto faça um pouco de emergência em lugar definido, com pouca ou nenhuma rolagem ou derrapagem.

Eixos de vôo do helicóptero

Quando um helicóptero faz uma manobra no ar, sua atitude em relação ao solo se altera. Essas mudanças são descritas com referência aos três eixos de vôo (figura 13-43): (1) Vertical, (2) Longitudinal e (3) Lateral.

O movimento em torno do eixo vertical produz guinada, uma oscilação do nariz (ou mudança de direção) para a direita ou para a esquerda. Isso é controlado pelo pedal.

Os diversos métodos de obtenção do controle direcional foram discutidos anteriormente nessa seção.

O movimento em torno do eixo longitudinal é chamado de rolagem. Esse movimento é efetuado movimentando-se o controle cíclico de passo para a direta ou para a esquerda. O controle cíclico de passo é similar ao manche de uma aeronave convencional. Ele atua por meio de articulações mecânicas (figura 13-44) para mudar o passo de cada pá do rotor principal durante um ciclo de rotação.

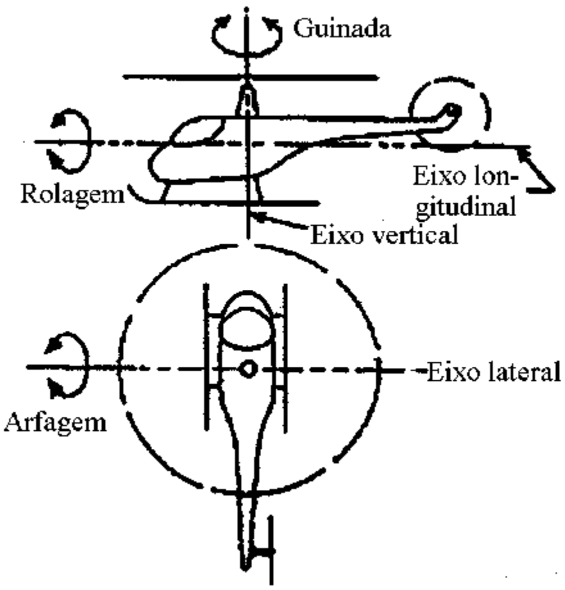


Figura 13-43 Eixos de vôo.

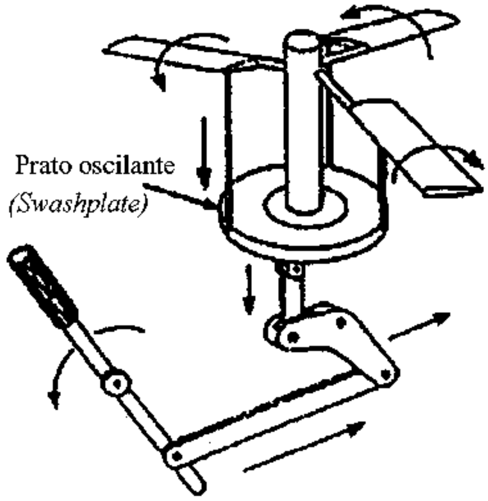


Figura 13-44 Mecanismo de controle do passo cíclico.

A rapidez com que as pás do rotor giram, cria uma área de disco que pode ser inclinada em qualquer direção, com respeito à sustentação do mastro do rotor.

O movimento horizontal é controlado pela mudança de direção da inclinação do rotor principal, para produzir uma força na direção desejada.

O movimento em torno do eixo lateral produz o levantamento ou abaixamento do nariz. Esse movimento é conseguido através do controle cíclico de passo, para frente ou para trás.

O controle de passo coletivo (figura 13-45) varia a sustentação do rotor principal, aumentando ou diminuindo o passo de todas as pás ao mesmo tempo.

Levantando o controle de passo coletivo, aumenta o passo das pás, aumentando dessa forma a sustentação.

Abaixando o controle, diminui o passo das pás, provocando uma perda de sustentação.

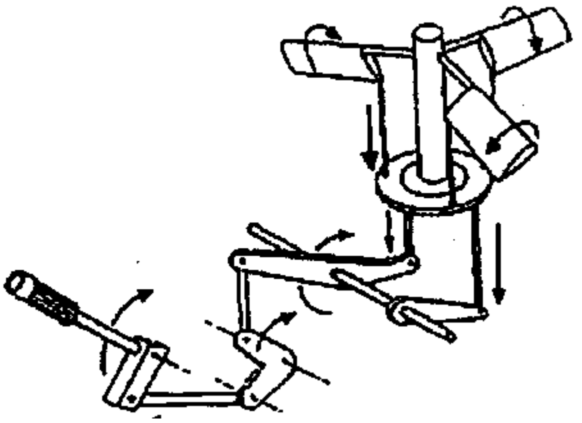


Figura 13-45 Mecanismo de controle do passo coletivo.

O controle de passo coletivo é também usado em coordenação com o controle cíclico para regular a velocidade do helicóptero.

Muitos fatores determinam a sustentação disponível na operação de um helicóptero. Genericamente falando, o piloto tem controle sobre dois controles.

Um é o ângulo do passo das pás do rotor; o outro é a potência entregue para o rotor, representada pela R.P.M. e pela pressão de admissão.

Controlando o passo das pás do rotor, o piloto pode estabelecer o vôo vertical do helicóptero. Manipulando um comando, uma velocidade constante pode ser mantida, independentemente do aumento ou da redução do passo das pás. Esse comando está instalado no punho do coletivo, e, é operado girando-se o punho. O comando está sincronizado com o controle de passo de rotor principal, de tal maneira que um aumento no passo, aumenta a potência; e uma redução no passo reduz a potência. Um sistema de controle completo de um helicóptero convencional é mostrado na figura 13-46.

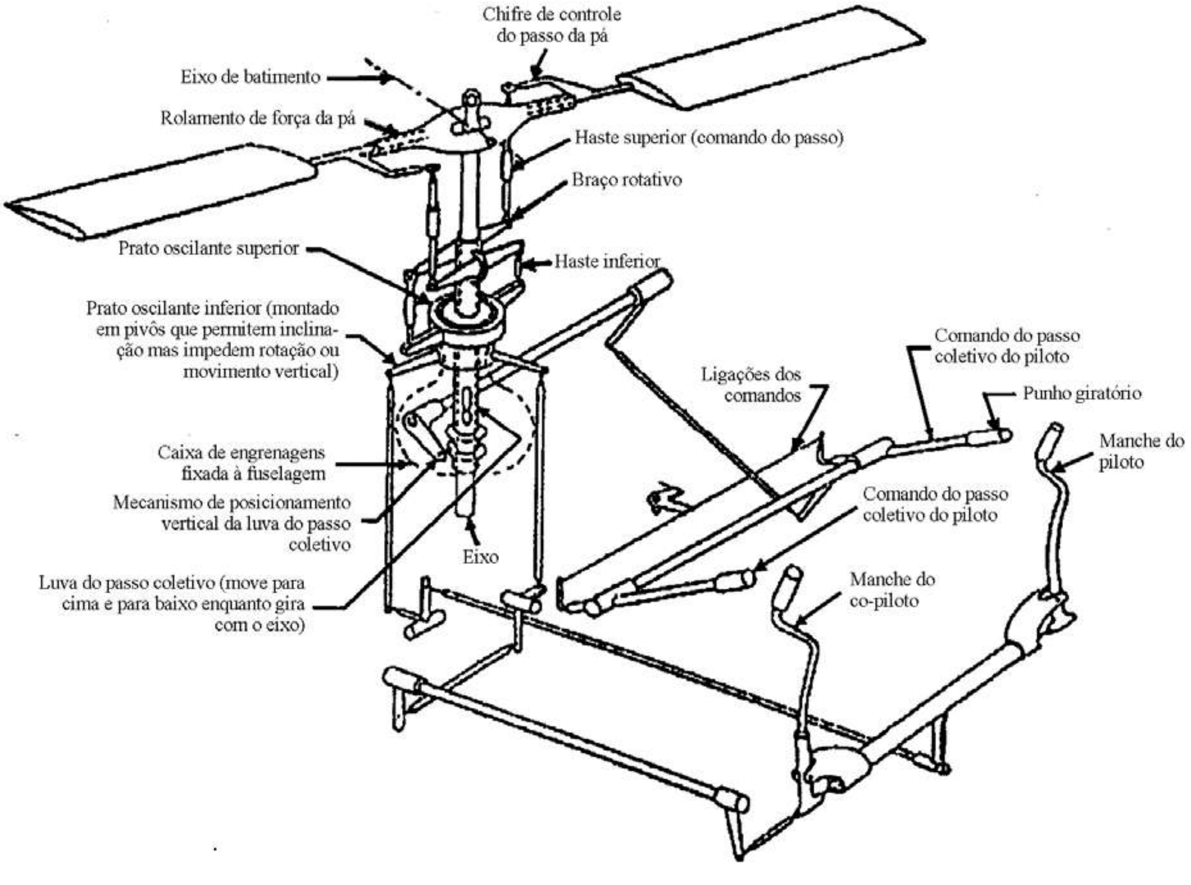

Chifre de controle do passo da pá
Eixo de batimento
Rolamento de força da pá
Haste superior (comando do passo)
Braço rotativo
Prato oscilante superior
Haste inferior
Prato oscilante inferior (montado em pivôs que permitem inclinação mas impedem rotação ou movimento vertical)
Comando do passo coletivo do piloto
Ligações dos comandos
Punho giratório
Manche do piloto
Caixa de engrenagens fixada à fuselagem
Mecanismo de posicionamento vertical da luva do passo coletivo
Comando do passo coletivo do piloto
Eixo
Manche do co-piloto
Luva do passo coletivo (move para cima e para baixo enquanto gira com o eixo)

Figura 13-46 Sistema de controle de helicóptero convencional

AERODINÂMICA DE ALTA VELOCIDADE

O desenvolvimento das aeronaves e dos motores, estão cedendo aos transportes de alta performance, a capacidade para realizar vôos a velocidades muito altas.

Diferenças muito significantes aparecem no estudo da aerodinâmica de alta velocidade quando comparada com a de velocidade muito baixa.

É necessário, portanto, que as pessoas associadas com a aviação comercial estejam familiarizadas com a natureza do fluxo de ar de alta velocidade e com as peculiaridades dos aviões de alta performance.

Conceitos gerais de padrão de fluxo supersônico

Em baixas velocidades de vôo, o ar experimenta pequenas mudanças de pressão, as quais provocam variações desprezíveis de densidade, simplificando consideravelmente o estudo da aerodinâmica de baixa velocidade.

O fluxo é dito incompressível, uma vez que o ar passa por pequenas mudanças de pressão, sem mudança significante na sua densidade. Em grandes velocidades de vôo, contudo, as mudanças de pressão ocorridas são maiores e mudanças significantes na densidade do ar ocorrem.

O estudo do fluxo de ar em grandes velocidades, tem que considerar essas mudanças na densidade do ar, e tem que considerar que o ar é compreensível, ou que existem efeitos de compressibilidade.

A velocidade do som é muito importante no estudo do fluxo de ar de alta velocidade além de variar com a temperatura ambiente. Ao nível do mar, num dia padrão, a velocidade do som é cerca de 661,7 nós (760 M.P.H).

Na medida em que a asa se desloca através do ar, ocorrem mudanças na velocidade local as quais criam perturbações no fluxo de ar ao redor da asa.

Essas perturbações são transmitidas através do ar à velocidade do som.

Se a asa estiver se deslocando a baixa velocidade, as perturbações serão transmitidas e estendidas indefinidamente em todas as direções.

Evidências dessas perturbações são vistas no exemplo típico de fluxo subsônico ilustrado na figura 13-47, onde o fluxo, ligeiramente para cima, muda de direção bem à frente do bordo de ataque da asa.

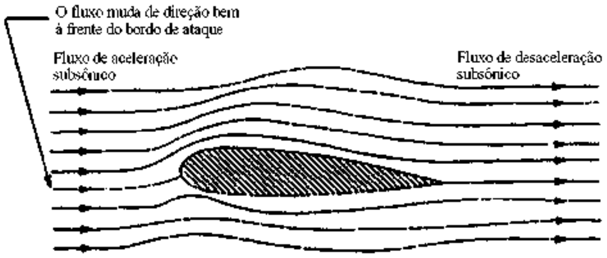

O fluxo muda de direção bem à frente do bordo de ataque
Fluxo de aceleração subsônico
Fluxo de desaceleração subsônico

Figura 13-47 Exemplo típico de fluxo subsônico, asa subsônica.

Se a asa estiver deslocando com velocidade acima da velocidade do som, o fluxo de ar à frente da asa não sofrerá influência do campo de pressão da asa, uma vez que as perturbações não podem se propagar mais rápido que a velocidade de vôo, que se aproxima da velocidade do som.

Uma onda de compressão se forma no bordo de ataque e todas as mudanças de velocidade e pressão acontecem repentinamente.

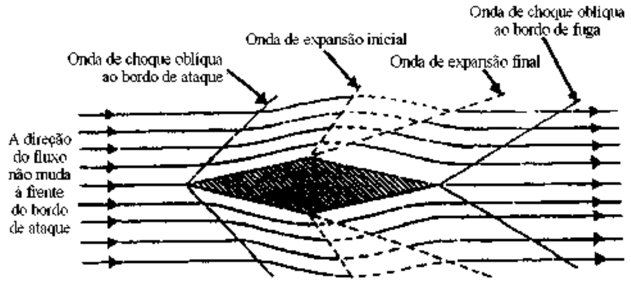

Onda de choque oblíqua ao bordo de fuga
Onda de expansão inicial
Onda de choque oblíqua ao bordo de ataque
Onda de expansão final
A direção do fluxo não muda à frente do bordo de ataque

Figura 13-48 Exemplo típico de fluxo supersônico, asa supersônica.

O fluxo de ar à frente da asa não é influenciado até que as moléculas de ar sejam repentinamente desviadas pela asa. Uma evidência desse fenômeno é visto no exemplo típico de fluxo supersônico mostrado na figura 13-48.

O efeito da compressibilidade não depende da velocidade do ar, mas do relacionamento entre a velocidade do ar e a velocidade do som. Esse relacionamento é chamado de número de Mach, e é a razão entre a velocidade verdadeira do ar e a velocidade do som a uma altitude particular.

Os efeitos da compressibilidade não estão limitados às velocidades de vôo à velocidade do som ou acima desta. Uma vez que qualquer avião é construído com forma aerodinâmica, o ar acelera e desacelera ao redor dessas formas e alcança velocidades locais acima da velocidade de vôo. Assim, uma aeronave pode experimentar efeitos de compressibilidade em velocidades de vôo bem abaixo da velocidade do som. Uma vez que é possível ter fluxos tanto subsônicos quanto supersônicos na aeronave ao mesmo tempo, é melhor definir o regime exato de vôo. Esses regimes são definidos como se segue:

(1) SUBSÔNICO - Vôo com número de Mach abaixo de 0,75.
2) TRANSÔNICO - Vôo com número de Mach entre 0,75 e 1,20.
(3) SUPERSÔNICO - Vôo com número de Mach entre 1,20 e 5,00.
(4) HIPERSÔNICO - Vôo com número de Mach acima de 5,00.

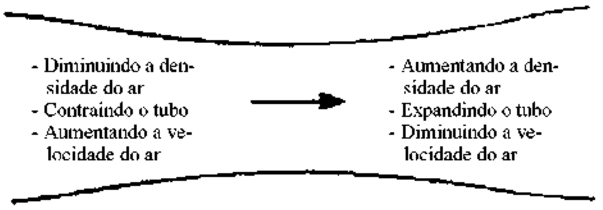
Enquanto os números de Mach do vôo, usados para definir esses regimes, são aproximados, é importante avaliar os tipos de fluxo existentes em cada área. No regime subsônico, existem fluxos subsônicos de ar em todas as partes da aeronave.

No regime transônico, o fluxo sobre os componentes da aeronave é parcialmente subsônico e parcialmente supersônico. Nos regimes supersônico e hipersônico existe fluxo supersônico sobre todas as partes da aeronave. Naturalmente, nos vôos supersônico e hipersônico, algumas partes da camada limite são subsônicas, porém o fluxo predominante ainda é supersônico.

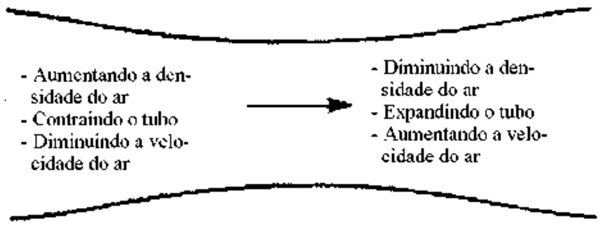
DIFERENÇA ENTRE OS FLUXOS SUBSÔNICO E SUPERSÔNICO

Em um fluxo subsônico, toda molécula é mais ou menos afetada pelo movimento de todas as outras moléculas, em todo o campo do fluxo. Em velocidades supersônicas, uma molécula de ar pode influenciar apenas aquela parte do fluxo contido no cone Mach, formado atrás daquela molécula.

As diferenças peculiares entre os fluxos subsônicos e supersônicos podem ser vistas melhor, considerando o fluxo de ar num tubo fechado de contração e expansão, conforme representado na figura 13-49.

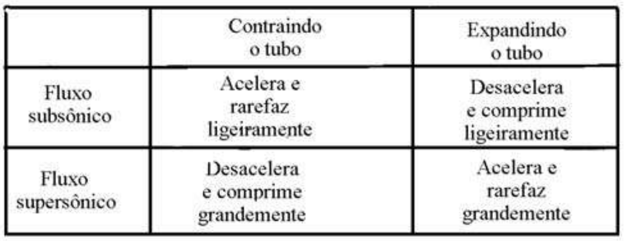

- Diminuindo a densidade do ar
- Contraindo o tubo
- Aumentando a velocidade do ar
- Aumentando a densidade do ar
- Expandindo o tubo
- Diminuindo a velocidade do ar

a - Fluxo subsônico


- Aumentando a densidade do ar
- Contraindo o tubo
- Diminuindo a velocidade do ar
- Diminuindo a densidade do ar
- Expandindo o tubo
- Aumentando a velocidade do ar

b - Fluxo supersônico

Figura 13-49 Comparação dos fluxos subsônico e supersônico através de um tubo fechado.



	Contraindo o tubo	Expandindo o tubo
Fluxo subsônico	Acelera e rarefaz ligeiramente	Desacelera e comprime ligeiramente
Fluxo supersônico	Desacelera e comprime grandemente	Acelera e rarefaz grandemente

Figura 13-50 Fluxos de alta velocidade.

Ao contrário do fluxo subsônico, um fluxo de ar supersônico acelera ao longo de um tubo de expansão, provocando a rápida queda da densidade do ar, para compensar os efeitos combinados do aumento de velocidade e aumento da área secional.

Ao contrário do fluxo subsônico, um fluxo de ar supersônico desacelera ao longo de um tubo de contração, causando a rápida queda da densidade do ar, para compensar os efeitos combinados da queda de velocidade e redução da área secional.

Para clarear esses pontos fundamentais, a figura 13-50 relaciona a natureza dos dois tipos de tubos.

Um entendimento das figuras 13-49 e 13-50 é essencial para quem pretende entender os fundamentos do fluxo supersônico.

Exemplos típicos de fluxo supersônico

Com fluxo supersônico, todas as mudanças na velocidade, pressão, temperatura, densidade e direção de fluxo acontecem repentinamente e em curta distância. As áreas de mudanças são distintas, e os fenômenos causadores da mudança são chamados de formações de ondas.

Todas as ondas de compressão ocorrem abruptamente e são dissipadoras de energia.

As ondas de compressão são familiarmente conhecidas como ondas de choque. Ondas de expansão resultam na transição de fluxos brandos e, não são perdas de energia, como as ondas de choque. Três tipos de ondas podem ocorrer num fluxo supersônico: (1) ondas de choque oblíquas (compressão em ângulo inclinado); (2) onda de choque normais (compressão em ângulo reto); e (3) ondas de expansão. A natureza da onda depende do número de Mach, da forma do objeto causador da mudança de fluxo e da direção do fluxo.

Um fluxo de ar passando através de uma onda de choque oblíqua, passa pelas seguintes mudanças:

1) O fluxo de ar é diminuído. Tanto o número de Mach quanto a velocidade atrás da onda são reduzidos, mas o fluxo é ainda supersônico.
2) A direção do fluxo é mudada de forma que irá seguir paralela à nova superfície.
3) A pressão estática atrás da onda é aumentada.
4) A temperatura estática atrás da onda é aumentada (ocorrendo o mesmo com a velocidade local do som);
5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda é aumentada;
6) Parte da energia disponível do fluxo de ar (indicada pela soma das pressões estática e dinâmica) é dissipada por conversão em energia calorífica indisponível. Assim, a onda de choque é dissipação de energia.

Onda de choque normal

Se um objeto despontado é colocado num fluxo de ar supersônico, a onda de choque formada é desprendida do bordo de ataque. O desprendimento da onda também ocorre quando uma borda, ou ângulo de meio cone, excede um valor crítico. A figura 13-51 mostra a formação de uma onda de choque normal, dos dois casos acima.

Sempre que uma onda de choque se forma, perpendicular ao fluxo livre, é chamada normal (ângulo reto), e o fluxo, imediatamente atrás da onda, é subsônico. Não importa quão intenso o número de Mach do fluxo livre possa ser; o fluxo diretamente atrás de uma onda de choque normal é sempre subsônico. De fato, quanto maior o número de Mach do fluxo livre supersônico (M) na frente da onda de choque normal, menor o número de Mach subsônico atrás da onda. Por exemplo, se M_1, for 1,5, M_2 será 0,7; enquanto que se M_1 for 2,6, M_2 será apenas 0,5.

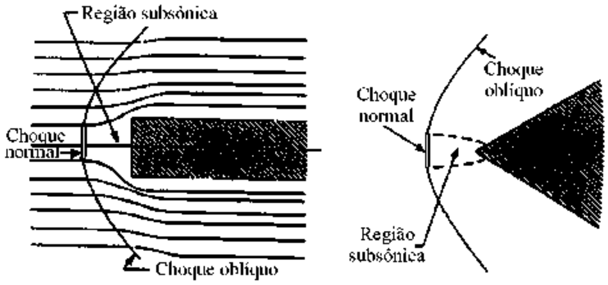
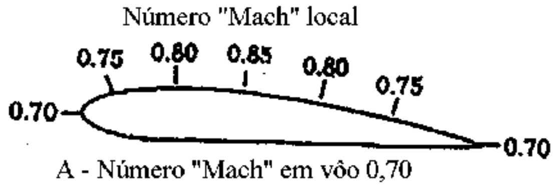


Figura 13-51 Formação de onda de choque normal com onda desprendida.

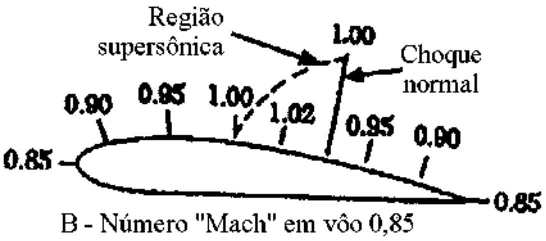
Uma onda de choque normal se forma imediatamente na frente de qualquer objeto relativamente despontado num fluxo de ar supersônico, diminuindo esse fluxo para subsônico, de forma que o fluxo possa sentir a presença do objeto sem ponta e, assim, fluir em volta dele. Uma vez passado o nariz, o fluxo de ar pode permanecer subsônico ou pode acelerar de novo para supersônico, dependendo da forma do nariz e do número de Mach do fluxo livre.

Uma onda normal pode ser formada quando não houver objeto no fluxo supersônico. Acontece que sempre que um fluxo de ar supersônico é diminuído para subsônico, sem uma troca de direção, uma onda de choque normal se forma na fronteira entre as regiões supersônicas e subsônicas. É, devido a isso, que os aviões encontram efeitos de compressibilidade antes de velocidades sônicas.

A figura 13-52 ilustra a maneira na qual um aerofólio em grandes velocidades subsônicas tem velocidade de fluxo local supersônica. Na medida em que o fluxo supersônico local se move para trás, uma onda de choque normal se forma para que o fluxo possa retornar para subsônico e reunir o fluxo livre subsônico no bordo de fuga sem descontinuidade. A transição do fluxo subsônico para o supersônico é branda, e não é acompanhada pelas ondas de choque se a transição for feita gradualmente com a superfície lisa. A transição do fluxo de supersônico para subsônico, sem troca de direção, sempre forma uma onda de choque normal. Um fluxo de ar supersônico, que passa por uma onda de choque normal, experimenta as seguintes mudanças:



A - Número "Mach" em vôo 0,70



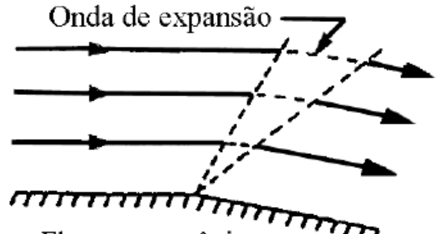
B - Número "Mach" em vôo 0,85

Figura 13-52 Formação de onda de choque normal sobre um aerofólio num fluxo de ar supersônico.

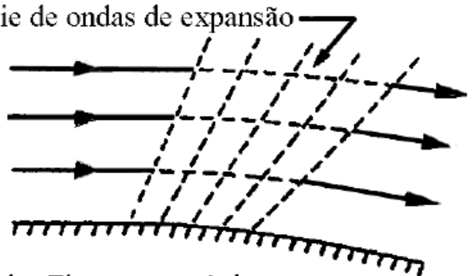
1) O fluxo é diminuído para subsônico. O número de Mach local atrás da onda é aproximadamente igual a recíproca do número de Mach adiante da onda. Por exemplo, se o número de Mach à frente de uma onda é 1.25, o número de Mach do fluxo atrás da onda é cerca de 0.8 (mais exatamente 0.81264).
2) A direção do fluxo imediatamente atrás da onda é inalterada.
3) A pressão estática atrás da onda é significantemente aumentada.
4) A temperatura estática atrás da onda é significantemente aumentada (e, assim, a velocidade local do som).
5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda é significantemente aumentada.
6) A disponibilidade de energia do fluxo de ar (indicado pela soma das pressões dinâmica e estática) é significantemente reduzida. A onda de choque normal é muito dissipadora de energia.

Onda de expansão

Se um fluxo de ar for desviado do seu caminho normal, uma onda de expansão será formada.



a - Fluxo supersônico em torno de uma quina



b - Fluxo supersônico em torno de uma quina arredondada

Figura 13-53 Formação de onda de expansão.

O fluxo em uma quina canto, mostrado na figura 13-53, não causa mudança brusca, exceto no próprio canto e, assim, não é de fato uma onda de choque.

Um fluxo de ar supersônico que passa através de uma onda de expansão, passa pelas seguintes mudanças:

1) O fluxo supersônico é acelerado. A velocidade e o número de Mach atrás da onda são maiores.
2) A direção do fluxo é alterada de forma que o fluxo de ar segue paralelo à nova superfície, uma vez que não ocorre separação.
3) A temperatura estática atrás da onda diminui.
4) A temperatura estática atrás da onda diminui (e com isso a velocidade local do som diminui).
5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda diminui.
6) Uma vez que o fluxo se altera de maneira gradual, não há choque nem perda de energia no

fluxo de ar. A onda de expansão não dissipa a energia do fluxo de ar.

Um sumário das características das três principais formas de onda encontradas com fluxo supersônico é mostrado na figura 13-54.

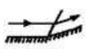
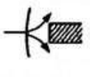
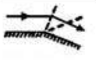
Tipo de onda	Mudança na direção do fluxo	Efeito na velocidade e no número "Mach"	Efeito na pressão e temperatura estática e densidade	Efeito na energia disponível
	Fluxo dentro da curva	Diminui mas permanece supersônico	Aumenta	Diminui
	Não muda	Diminui para subsônico	Grande aumento	Grande diminuição
	Fluxo em torno da curva	Aumenta para mais supersônico	Diminui	Não muda (Sem onda de choque)

Figura 13-54 Característica da onda supersônica.

A figura 13-55 mostra um exemplo de onda para um aerofólio subsônico despontado convencional, em um fluxo supersônico. Quando o nariz é rombo, a onda tem que se desprender e se tornar uma onda de choque normal, imediatamente à frente do bordo de ataque.

Uma vez que o fluxo atrás de uma onda de choque normal é sempre subsônico, o bordo de ataque do aerofólio é uma região subsônica de pressão estática, temperatura estática e densidade muito grandes.

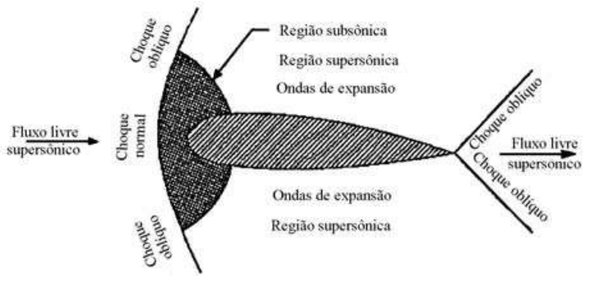


Figura 13-55 Aerofólio subsônico convencional no fluxo supersônico.

Em vôo supersônico, a sustentação zero de um aerofólio de espessura finita inclui uma onda de arrasto.

Onda de arrasto é separada e distinta do arrasto devido à sustentação.

A espessura do aerofólio tem um efeito extremamente poderoso sobre o arrasto de onda. O arrasto de onda varia com o quadrado da razão de espessura (espessura máxima dividida pela corda). Por exemplo, se a espessura for reduzida pela metade, o arrasto de onda será reduzido de três quartos.

Os bordos de ataque das formas supersônicas têm que ser afilados. Se eles não forem, a onda formada próximo ao bordo de ataque será uma onda de choque normal, separada e forte.

Uma vez que o fluxo sobre o aerofólio é supersônico, o centro aerodinâmico da superfície está localizado aproximadamente a 50% da posição da corda; isso contrasta com a localização, subsônica do centro aerodinâmico, o qual está próximo da posição de 25% da corda.

Durante o fluxo supersônico, todas as mudanças de velocidade, número de Mach, pressão estática, temperatura estática, densidade e direção de fluxo, ocorrem repentinamente através de diversas formas de onda. A forma do objeto, o número de Mach e a mudança de direção de fluxo requerida, ditam o tipo e a extensão da onda formada.

Qualquer objeto em vôo subsônico, o qual tenha alguma espessura finita, ou esteja produzindo sustentação, tem velocidades locais sobre a superfície as quais são maiores que a velocidade do fluxo livre. Assim, a ocorrência dos efeitos de compressibilidade pode ser esperada em velocidades de vôo que sejam menores que a velocidade do som .

O regime de vôo transônico, proporciona a oportunidade para velocidades
mistas (subsônica e supersônica) e justifica os primeiros efeitos significantes de compressibilidade.

Conforme a velocidade de vôo se aproxima da velocidade do som, as áreas de vôo supersônico se ampliam, e as ondas de choque se movem mais próximas do bordo de fuga.

A camada limite pode permanecer separada ou pode se rejuntar, dependendo muito da forma do aerofólio e do ângulo de ataque.

Quando a velocidade de vôo excede a velocidade do som, uma onda de proa aparece repentinamente na frente do bordo de ataque, com a região subsônica atrás da onda.

As ondas de choque normais se movem para o bordo de fuga. Se a velocidade de vôo aumentar para qualquer valor supersônico, a onda de proa se moverá para mais próximo do bordo de ataque, inclinando-se mais para baixo; e as ondas de choque normais do bordo de fuga se tornam ondas de choque oblíquas.

Naturalmente, todos os componentes de uma aeronave são afetados pela compressibilidade, de alguma forma similar àquela dos aerofólios básicos (empenagem, fuselagem, naceles, e assim por diante).

Uma vez que a maioria das dificuldades do vôo transônico estão associadas com a separação do fluxo induzido das ondas de choque, quaisquer meios de retardar ou reduzir a separação induzida de choque, melhoram as características aerodinâmicas.

Uma configuração de aeronave pode fazer uso de superfícies finas, de pouco alongamento, com enflechamento, para reduzir a intensidade da divergência da força transônica. Além disso, diversos métodos de controle da camada limite como dispositivos de hipersustentação, geradores de redemoinho e assim por diante, podem ser aplicados para melhorar as características transônicas.

Por exemplo, a montagem de geradores de redemoinhos sobre uma superfície pode produzir altas velocidades de superfície local, e aumenta a energia cinética da camada limite. Dessa forma, um gradiente de pressão mais severa (ondas de choque mais fortes) seria necessário para produzir a indesejável separação do fluxo de ar.

Um gerador de redemoinho é um par complementar de aerofólios pequenos, de baixo alongamento (pequeno espaço em relação a corda) montados a ângulos de ataque opostos um ao outro, e perpendiculares a superfície aerodinâmica.

A fig. 13-56 mostra as características dos aerofólios e dos fluxos de ar de um gerador de redemoinho.

A exemplo de qualquer aerofólio, aqueles do gerador produzem sustentação, além disso, como qualquer aerofólio de alongamento especialmente baixo, os aerofólios dos geradores também desenvolvem turbilhonamentos muitos fortes.

Esses turbilhonamentos provocam um fluxo de ar para fora e para dentro, num caminho circular em volta das pontas dos aerofólios. Os turbilhonamentos gerados têm o efeito de arrastar o ar de alta energia da camada limite exterior, no ar mais lento que se move junto do revestimento.

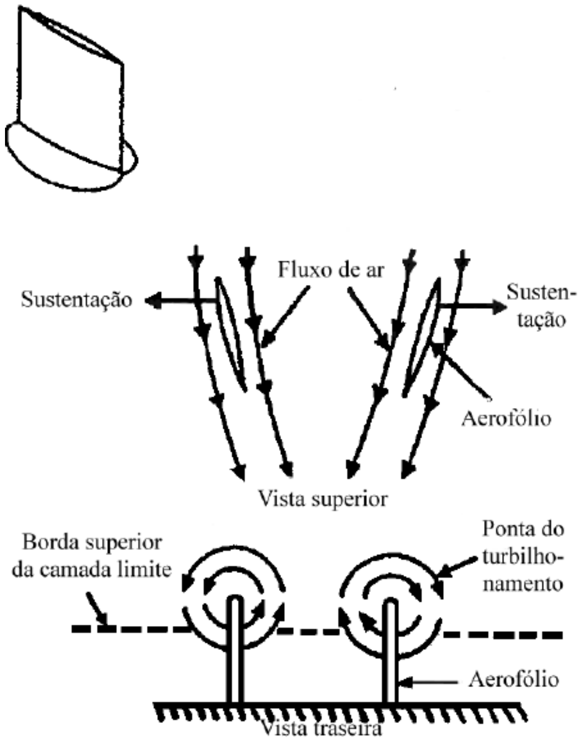


Figura 13-56 Gerador de turbilhonamento na asa.

O comprimento dos vortices (turbilhoamento), é proporcional à sustentação desenvolvida pelos aerofólios do gerador.

Os geradores de turbilhonamento se prestam a dois diferentes propósitos, dependendo da superfície aerodinâmica na qual ela está instalada.

Fileiras de geradores de turbilhonamento, localizadas na superfície superior da asa, exatamente direcionadas para cima dos ailerons, retardam o princípio da divergência de arrasto em altas velocidades, e também ajudam a manter a efetividade do aileron em altas velocidades.

Em contraste, fileiras de geradores de turbilhonamento instalados em ambos os lados da aleta vertical direcionada para cima, no leme, proporcionam a separação do fluxo sobre o leme durante ângulos extremos de guinada, os quais são atingidos apenas quando a aplicação do leme é retardada após uma perda de motor em velocidades muito baixas.

Além disso, fileiras de geradores de turbilhonamento colocados no lado inferior (e ocasionalmente na superfície superior) do estabilizador horizontal, direcionados para o profundor, evitam a separação do fluxo sobre os profundores em velocidades muito baixas.

Em suma, geradores de turbilhonamento sobre as superfícies das asas, melhoram as características de alta velocidade, enquanto os geradores de redemoinho, sobre as superfícies da cauda, em geral melhoram as características de baixa velocidade.

Superfícies de controle

As superfícies de controle utilizadas nas operações de aeronaves em vôo a velocidades transônica e supersônica, envolvem considerações importantes.

Superfícies de controle de bordo de ataque podem ser afetadas de maneira adversa pelas ondas de choque, formadas em vôo acima do número de Mach crítico da superfície de controle.

Se o fluxo de ar for separado por ondas de choque, a vibração de pré-estol resultante da superfície de controle, pode ser muito inconveniente.

A instalação de geradores de redemoinho pode reduzir a vibração de pré-estol causada pela separação de fluxo de choque induzido.

Além da vibração de pré-estol da superfície, a alteração na distribuição de pressão, devido à separação e localização da onda de choque, pode criar alterações muito grandes nos momentos de articulação da superfície de controle.

Tais mudanças nos momentos de articulação, produzem forças de controle indesejáveis, as quais podem requerer o uso de um sistema de controle irreversível.

Um sistema de controle irreversível emprega potência hidráulica, ou atuadores elétricos, para mover as superfícies de controle, assim, as cargas de ar desenvolvidas nas superfícies não podem ser sentidas pelo piloto. Adequados retornos devem ser sintetizados pelas molas de retorno "q", contrapesos, e assim por diante.

AQUECIMENTO AERODINÂMICO

Quando o ar flui sobre qualquer superfície aerodinâmica, ocorrem certas reduções de velocidade, as quais produzem os correspondentes aumentos de temperatura.

A maior redução de velocidade e aumento de temperatura, ocorrem nos diversos pontos de repouso da camada limite na aeronave. Naturalmente, menores mudanças ocorrem em outros pontos da aeronave, porém essas

baixas temperaturas podem estar relacionadas ao aumento da temperatura de impacto no ponto de estagnação.

Enquanto os vôos subsônicos não produzem qualquer interesse real, vôos supersônicos podem gerar temperaturas suficientemente elevadas, para tornarem-se de grande importância para a estrutura, sistema de combustível e grupo motopropulsor. Temperaturas mais elevadas produzem reduções específicas na resistência das ligas de alumínio e requerem a utilização de ligas de titânio e aços inoxidáveis.

Exposições contínuas em temperaturas elevadas, reduzem a resistência e ampliam os problemas de falha por desligamento e rigidez estrutural.

O efeito do aquecimento aerodinâmico sobre o sistema de combustível, deve ser considerado no projeto de um avião supersônico. Se a temperatura do combustível for elevada para a temperatura de ignição espontânea, os vapores de combustível irão queimar na presença de ar, sem a necessidade de uma centelha inicial ou chama.

O desempenho de motor turbojato é adversamente afetado pela alta temperatura do ar na entrada do compressor.

O empuxo de saída do turbojato, obviamente e uma função do fluxo de combustível. Porém, o fluxo máximo permissível de combustível, depende da temperatura máxima permissível para operação da turbina. Se o ar que entra no motor já estiver aquecido, menos combustível pode ser adicionado, de forma a evitar que os limites de temperatura da turbina sejam excedidos.

Mecânico de Manutenção Aeronáutica

CÉLULAS DE AERONAVES

Edição Revisada
23 de Outubro de 2002

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL

DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Edição revisada

Este volume, Células de Aeronaves, foi revisado, tendo sido feitas correções em todos os capítulos, bem como algumas alterações consideradas necessárias como a remoção do assunto referente à Aerodinâmica deste volume para o de Matérias Básicas, por ser disciplina do Módulo Básico.

Este volume, Células de Aeronaves, é uma tradução do AC 65-15A do FAA (*Airframe & Powerplant Mechanics-Airframe Handbook*) e tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume contém as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente a especialidade Célula, tendo como complemento obrigatório, o conteúdo do volume Matérias Básicas.

Oa assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

Contribuíram para a tradução do AC 65-15A, as companhias aéreas Varig, Vasp, Tam, Lider e os componentes civis e militares da TE-1. A revisão gramatical da Primeira Edição foi efetuada por Helena Aquino de Araujo e a revisão técnica por Jorge Nunes das Neves.

O DAC obteve autorização da editora (FAA) para traduzir o conteúdo desse volume (AC 65-15A Célula de Aeronaves) e sua distribuição mediante indenização do valor material, sendo proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do DAC (TE-1).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

O prefácio original, traduzido, está reproduzido nas páginas seguintes.

A correspondência relativa a esse manual deverá ser endereçada ao Instituto de Aviação Civil – DIP - Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, Edifício anexo, CEP 20021-010 Rio de Janeiro - RJ - Brasil ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

PREFÁCIO DO MANUAL AC 65-15A

Este manual foi desenvolvido e impresso pela primeira vez em 1972 como parte de uma série de três manuais para pessoas interessadas em certificado de mecânico de células de aeronaves ou grupo motopropulsor. Esse manual apresenta informação básica sobre princípios, fundamentos e procedimentos técnicos nas áreas mencionadas. Procura também auxiliar os estudantes matriculados em um curso formal de instrução bem como aqueles que estudam por conta própria. Visto que os conhecimentos exigidos para as classificações de grupo motopropulsor e célula de aeronaves são semelhantes em algumas áreas, os capítulos que tratam dos sistemas de proteção contra fogo e sistemas elétricos contém algum material que é também duplicado no AC 65-12A Manual de Grupo Motopropulsor-Mecânicos de Grupo Motopropulsor e Células de Aeronaves.

Este volume contém informação sobre as características de construção estrutural, montagem e regulagem, revestimento não-trabalhante, reparos estruturais e soldagem de aeronaves. O manual também possui uma explanação das unidades que formam os vários sistemas estruturais.

Pelo fato de existirem muitos tipos de aviões em uso, atualmente, é razoável esperar que diferenças existam em componentes estruturais e sistemas. Para evitar repetição desnecessária, a prática do uso de sistemas representativos e unidades é mantida ao longo do manual. O assunto é tratado a partir de um ponto de vista generalizado e deve ser suplementado por consultas aos manuais dos fabricantes ou outros livros de texto se forem desejados maiores detalhes. Esse manual não pretende substituir ou suplantar regulamentos oficiais ou as instruções dos fabricantes.

Expressamos agradecimentos aos fabricantes de motores, hélices e acessórios dos grupos motopropulsores pela sua cooperação ao fornecerem material impresso para inclusão nesse manual.

Material com direitos autorais (COPYRIGHT) é usado com permissão especial das seguintes organizações e não pode ser extraído ou reproduzido sem permissão do proprietário do COPYRIGHT:

	(R)
Monsanto Chemicals Co	Fluidos “Skydrol”
Towsend Corporation	Rebites “Cherry” e Luvas “Acres”
J. O. King, Inc.	Luvas “Acres”
Gravines, Inc.	Extintores de fogo
Walter Kidde	Extintores de fogo
DuPont DeNemours	Elementos de extintores de fogo
Associação Nacional de Proteção contra o Fogo	Extintores e especificações de elementos de extinção de fogo

Associação Nacional de Distribuidores de Extintores de Fogo	Extintores de fogo e especificações
Fundação para a segurança do vôo	Dados de reabastecimento
Instituto Americano do Petróleo	Combustíveis de aviação
Corporação Exxon	Combustíveis de aviação
Parker Hannifin	Acessórios de aviação
Goodyear Pneus e Borrachas	Pneus, rodas e freios de aviação
Firestone	Pneus de aviação
Controles de energia Bendix	Rodas de aviação e Freios de aviação
Rohm and Haas	Plásticos
Companhia Douglas de Aviões	Geradores portáteis de oxigênio de DC-10
Fundação de Manutenção de Aviação	Ar condicionado
BF Goodrich	Pneus, rodas e freios de aviação
Equipamento Puritan	Geradores portáteis de oxigênio

Os avanços na tecnologia aeronáutica obrigam um manual de instrução a estar sob revisão contínua e ser atualizado periodicamente. As normas de vôo (FLIGHT STANDARDS) exigiram comentários das escolas autorizadas de técnicos de manutenção de aviação, nos três manuais. Como resultado desta inspeção, os manuais foram atualizados até este ponto.

Novo material foi acrescentado nas áreas que foram apontadas como deficientes e alguns dados foram reagrupados para melhorar a didática dos manuais.

Apreciaríamos tomar conhecimento dos erros, bem como receber sugestões para melhorar o objetivo dos manuais. Comentários e sugestões serão mantidos em arquivo até a saída da próxima revisão.

Toda correspondência relativa a estes manuais deve ser endereçada a:

U.S. Departament of Transportation
Federal Aviation Administration
Flight Standards National Field Office
P.O. Box 25082, Oklahoma City, Oklahoma 73125

Os manuais que formam a série com o AC 65-15A são o AC65-9A e AC 65-12A.

CONTEÚDO

PREFÁCIO......III
CONTEÚDO......VII

CAPÍTULO 1 - ESTRUTURAS DE AERONAVES

Introdução......1-1
Principais estresses estruturais......1-1
Aeronave de asa fixa......1-2
Fuselagem......1-3
Estrutura alar......1-6
Naceles ou casulos......1-13
Empenagem......1-16
Superfícies de controle de vôo......1-17
Trem de pouso......1-22
Revestimento e carenagens......1-22
Portas e janelas de acesso e inspeção......1-22
Estruturas de helicóptero......1-22

CAPÍTULO 2 - MONTAGEM E ALINHAMENTO

Introdução......2-1
Sistemas de controles de vôo......2-1
Sistemas de controle operados hidraulicamente......2-2
Guias dos cabos......2-3
Ligações mecânicas......2-4
Tubos de torque......2-5
Batentes......2-5
Amortecedores de superfícies de controle e equipamentos para travamento......2-6
Ajustando a aeronave......2-7
Verificação do ajuste......2-10
Ajuste das superfícies de comando......2-12
Ajustagens de um helicóptero......2-13
Princípios de balanceamento ou rebalanceamento......2-16
Procedimentos para rebalanceamento......2-19
Métodos......2-19

CAPÍTULO 3 - ENTELAGEM

Introdução......3-1
Tecidos para aeronaves......3-1
Miscelânea de materiais têxteis......3-4
Emendas......3-6
Aplicando o revestimento......3-7
Revestindo asas......3-10
Revestimento de fuselagens......3-15
Aberturas de inspeção, drenagem e ventilação......3-15
Reparos de coberturas de tecidos......3-16
Substituição de painéis em coberturas de asas......3-19
Revestimento de superfícies de aeronaves com fibra de vidro......3-20
Causas da deterioração dos tecidos......3-21
Verificação da condição do tecido dopado......3-22

Teste do tecido de revestimento 3-23
Critérios de resistência para tecido utilizado em aeronave 3-23
Dopes e aplicação de dope 3-24
Materiais do dope 3-25
Dopes de alumínio pigmentado 3-26
Efeitos da temperatura e umidade do dope...3-26
Problemas comuns na aplicação de dope 3-26
Técnica de aplicação..3-28
Número de camadas requeridas 3-28

CAPÍTULO 4 - PINTURA E ACABAMENTO

Introdução..4-1
Materiais de acabamento 4-1
Laca de nitrocelulose..4-3
Base de cromato de zinco 4-3
Aguada base padrão (*Wash primer*) 4-4
Retoque de pintura..4-6
Identificação de acabamentos de pintura...4-6
Remoção de pintura 4-7
Restauração de acabamentos 4-8
Acabamentos com laca de nitrocelulose..4-8
Acabamento com laca de nitrocelulose acrílica 4-9
Acabamento em *epoxy*...4-10
Acabamentos fluorescentes 4-11
Acabamentos com esmalte 4-12
Compatibilidade do sistema de pintura 4-12
Métodos de aplicação de acabamentos..4-13
Preparação da tinta 4-14
Problemas comuns com tintas 4-15
Pintura de adornos e números de identificação 4-16
Decalcomanias (Decalques) 4-16

CAPÍTULO 5 - REPAROS ESTRUTURAIS EM AERONAVES

Introdução..5-1
Princípios básicos para reparos de chapas de metal 5-1
Reparos gerais de estruturas 5-3
Inspeção de danos...5-3
Classificação de danos...5-5
Estresses em membros estruturais 5-5
Ferramentas e dispositivos especiais para chapas metálicas 5-7
Máquinas para trabalho em metais 5-9
Máquinas para modelagem...5-14
Termos e operações de moldagem..5-18
Confecção de dobras em linha reta..5-19
Recuo (*Setback*)...5-22
Moldagem a mão 5-28
Cálculo de rebitagem..5-37
Instalação de rebites 5-39
Preparação dos furos para rebitagem...5-41
A colocação de um rebite 5-45

Falhas de rebites 5-48
Remoção de rebites..5-49
Rebites especiais..5-50
Rebites auto travantes (trava por fricção)...5-51
Rebites auto travantes (trava mecânica)...5-53
Rebites "*Pull Thru*" 5-56
Rebite "*Rivnuts*" 5-56
"Dill lok-skrus" e "*lock-rivets*" 5-58
Rebites "*Deutsch*" 5-58
Rebites "Hi-Shear" 5-59
Tipos específicos de reparos...5-61
Selagem estrutural 5-70
Colméia metálica colada (*honeycomb*)...5-72
Danos...5-72
Reparos..5-73
Materiais de reparo 5-76
Reparos com *Potting* 5-78
Reparos com sobreposição de tecido de vidro 5-79
Procedimentos de reparo de um revestimento e do miolo..5-81
Plástico 5-84
Plástico transparente...5-85
Armazenagem e proteção 5-86
Moldagem de plásticos...5-87
Procedimentos de instalação...5-92
Plástico laminados 5-93
Componentes de fibra de vidro...5-94
Radomes 5-95
Estruturas de madeira para aeronaves 5-97
Inspeção de estruturas de madeira...5-97
Inspeção de juntas coladas...5-98
Manutenção e reparo de estruturas de madeira 5-101
Defeitos permissíveis...5-102
Defeitos não permissíveis..5-102
Colas 5-103
Colagem..5-105
Teste de juntas coladas 5-106
Emenda de juntas..5-107
Reparos em revestimentos de compensado 5-108
Reparo inclinado...5-111
Reparo chanfrado..5-112
Remendo de tela 5-113
Reparo de longarinas e nervuras...5-113
Furos para parafusos e buchas...5-115
Reparos de nervuras 5-116

CAPÍTULO 6 - SOLDAGEM DE AERONAVES

Introdução...6-1
Equipamento para soldagem a oxiacetileno 6-2
Posições de soldagem..6-9
Juntas soldadas 6-10
Expansão e contração dos metais 6-11

A correta formação de uma solda 6-12
Soldagem de metais não-ferrosos usando oxiacetileno 6-15
Titânio 6-18
Corte de materiais utilizando oxiacetileno 6-18
Métodos de brasagem 6-19
Soldagem macia 6-20
Soldagem por arco voltaico 6-21
Técnicas e procedimento de soldagem 6-24
Soldagem com passe múltiplo 6-26
Soldagem de estruturas de aço 6-31
Novos processos de soldagem 6-35
Soldagem por bombardeamento eletrônico ("*eletron bean*") 6-36
Soldagem por fricção 6-36
Soldagem por laser 6-37

CAPÍTULO 7 - PROTEÇÃO CONTRA CHUVA E GELO

Introdução 7-1
Sistemas pneumáticos de degelo 7-2
Construção das polainas degeladoras 7-2
Componentes do sistema de degelo 7-6
Manutenção do sistema pneumático de degelo 7-8
Sistemas térmicos de antigelo 7-10
Dutos do sistema pneumático 7-15
Degelo da aeronave no solo 7-16
Sistemas de controle do gelo do pára-brisas 7-17
Aquecedores de drenos 7-21
Sistemas de eliminação dos efeitos da chuva 7-21
Manutenção dos sistemas de eliminação dos efeitos da chuva 7-24

CAPÍTULO 8 - SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

Sistemas hidráulicos de aeronaves 8-1
Fluido hidráulico 8-1
Tipos de fluidos hidráulicos 8-2
Fluido à base de Éster fosfato 8-3
Filtros 8-6
O sistema hidráulico básico 8-7
Reservatórios 8-9
Bomba a pistão tipo angular 8-14
Regulagem da pressão 8-15
Acumuladores 8-16
Cilindros atuadores 8-19
Válvulas seletoras 8-21
Sistemas pneumáticos de aeronaves 8-23
Componentes do sistema pneumático 8-25
Sistema pneumático típico 8-29
Manutenção do sistema pneumático de potência 8-31

CAPÍTULO 9 - SISTEMAS DE TRENS DE POUSO

Introdução 9-1

Alinhamento, fixação e retração da perna de força principal..9-7
Sistemas de extensão em emergência..9-10
Dispositivos de segurança do trem de pouso...9-10
Sistema de direção da roda do nariz..9-12
Amortecedores de vibração (*Shimmy*)...9-14
Sistemas de freios 9-18
Conjuntos de freios...9-24
Inspeção e manutenção dos sistemas de freio 9-29
Rodas de aeronaves 9-30
Pneus de aeronaves...9-35
Manutenção de pneus de aeronaves 9-38
Inspeção do pneu montado na roda 9-40
Inspeção do pneu desmontado...9-42
Inspeção da câmara...9-44
Montagem e desmontagem..9-45
Causas de perda da pressão do ar em pneus sem câmaras para aeronaves...........................9-51
A roda 9-52
Estocagem de pneus e câmaras de ar para aeronaves...9-53
Reparos de pneus e câmaras..9-55
Informações sobre manuseio e operações 9-56
Reparos de câmaras de ar 9-59
Pneus de aeronaves com inflação lateral...9-59
Resumo da inspeção de pneus 9-62
Sistema de antiderrapagem..9-62
Manutenção do sistema do trem de pouso...9-63

CAPÍTULO 10 - SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA FOGO

Introdução..10-1
Métodos de detecção 10-1
Sistemas de detecção de fogo..10-2
Sistemas de aviso de superaquecimento..10-5
Tipos de fogo..10-6
Classificação das zonas de fogo 10-6
Características de agentes extintores..10-7
Caracteristicas de alguns agentes halogenados 10-8
Sistemas de extinção de fogo 10-11
Sistemas extintores de fogo de CO2 dos motores convencionais 10-13
Sistema de proteção de fogo de turbojato...10-15
Sistema de extinção de fogo de motores a turbina 10-16
Proteção de fogo no solo dos motores a turbina...10-18
Práticas de manutenção dos sistemas de detecção de fogo 10-19
Pesquisas de panes do sistema de detecção do fogo...10-20
Práticas de manutenção do sistema extintor de fogo 10-21
Proteção e prevenção contra incêndio 10-24
Interiores da cabine...10-24
Sistemas detectores de fumaça 10-25

CAPÍTULO 11 - SISTEMAS ELÉTRICOS DE AERONAVES

Introdução..11-1
Bitola de fio 11-1

Isolamento do condutor 11-5
Identificação de fios e cabos 11-5
Instalação de fiação elétrica 11-6
Amarração e enlace dos chicotes 11-11
Corte de fios e cabos 11-12
Emendas de emergências 11-16
Conexão de terminais a blocos terminais 11-17
Ligação à massa 11-17
Conectores 11-19
Conduite 11-21
Instalação de equipamento elétrico 11-22
Dispositivos de proteção de circuitos 11-23
Sistema de iluminação de aeronaves 11-24
Manutenção e inspeção dos sistemas de iluminação 11-30

CAPÍTULO 12 - INSTRUMENTOS

Introdução 12-1
Caixas de instrumento 12-1
Mostradores 12-2
Marcações de limites 12-2
Painéis dos instrumentos 12-2
Reparo dos instrumentos das aeronaves 12-3
Indicadores de pressão (Manômetros) 12-3
Sistema pitot estático 12-7
Manutenção do sistema de pitot estático 12-14
Indicadores de inclinação e curva (*TURN AND BANK*) 12-15
Sistemas de indicação remota tipo “Sincro” 12-16
Indicações remotas de pressão de óleo e combustível 12-18
Sistema de quantidade de combustível tipo capacitor 12-18
Sistema de indicação do ângulo de ataque 12-20
Indicadores de RPM (Tacômetro) 12-21
Manutenção de tacômetros (Contagiros) 12-22
Sincroscópio 12-22
Indicadores de temperatura 12-25
Termômetro de resistência de razão elétrica 12-30
Sistemas de medir fluxo de combustível (*Fuel flow*) 12-31
Instrumentos giroscópicos 12-33
Fontes de força para operação de giroscópio 12-34
Giroscópios de atitude acionados por sucção 12-38
Giroscópios operados por pressão 12-39
Práticas de manutenção de um sistema de sucção 12-39
Indicadores elétricos de atitude 12-40
Sistemas de piloto automático 12-44
Componentes básicos de um piloto automático 12-46
Sistema diretor de vôo 12-48
Manutenção do sistema de piloto automático 12-49
Sistemas anunciador 12-50
Sistemas de alerta auditivo 12-51

CAPÍTULO 13 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E NAVEGAÇÃO

Introdução....................13-1
Princípios básicos do rádio....................13-1
Componentes básicos dos equipamentos....................13-2
Antenas....................13-3
Fontes de alimentação....................13-4
Sistemas de comunicação....................13-4
Equipamento de navegação de bordo....................13-7
Sistemas de pouso por instrumentos (ILS)....................13-8
Feixes balizadores (*Marker Beacons*)....................13-10
Equipamento de detecção da distância (DME)....................13-11
Detector automático da direção (ADF)....................13-12
Sistema ATC (*Air traffic control*)....................13-13
Sistema de navegação Doppler....................13-14
Sistema de navegação Inercial....................13-14
Sistema de radar meteorológico....................13-16
Sistema Rádio-altímetro....................13-17
Transmissor localizador....................13-17
Instalação de equipamentos de comunicação e navegação....................13-18
Redução da radiointerferência....................13-19
Instalação da antenas na aeronave....................13-21

CAPÍTULO 14 SISTEMA DE AR CONDICIONADO E PRESSURIZAÇÃO

Introdução....................14-1
Composição da atmosfera....................14-1
Pressurização....................14-3
Sistemas de pressurização e ar condicionado....................14-5
Requisitos básicos....................14-6
Fontes de pressão da cabine....................14-7
Válvulas de pressurização....................14-12
Sistema de controle da pressão da cabine....................14-14
Sistemas de ar condicionado....................14-22
Sistema de aquecimento....................14-22
Aquecedores a combustão....................14-24
Manutenção dos sistemas do aquecedor a combustão....................14-27
Sistemas de resfriamento....................14-28
Sistema de resfriamento do tipo ciclo de ar....................14-28
Operação dos componentes do sistema de ciclo de ar....................14-31
Sistema eletrônico de controle da temperatura da cabine....................14-36
Sistema de ciclo de vapor a *Freon*....................14-39
Componentes de um sistema a *Freon*....................14-40
Descrição de um sistema típico a ciclo de vapor....................14-44
Manutenção do sistema de pressurização e ar condicionado....................14-46
Verificações operacionais da pressurização da cabine....................14-49
Pesquisa de panes na pressurização da cabine....................14-50
Sistema de oxigênio....................14-51
Equipamento de proteção contra fumaça....................14-52
Cilindros de oxigênio....................14-52
Sistema de oxigênio em estado sólido....................14-53
Tubulações do sistema de oxigênio....................14-55

Válvulas de oxigênio 14-56
Reguladores 14-58
Indicadores de fluxo do sistema de oxigênio 14-61
Indicadores de pressão...14-61
Máscaras de oxigênio...14-62
Abastecimento do sistema de oxigênio gasoso..14-62
Prevenção contra fogo e explosão do oxigênio 14-65

CAPÍTULO 1

ESTRUTURAS DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

A fuselagem de uma aeronave de asa fixa é geralmente considerada como dividindo-se em 5 partes principais - fuselagem, asas, estabilizadores, superfícies de controle e trem de pouso. A fuselagem de helicóptero consiste da célula, rotor principal e caixa de engrenagens de redução (gearbox), rotor de cauda (em helicópteros com apenas um rotor principal) e trem de pouso.

Os componentes da fuselagem são construídos de uma grande variedade de materiais e são unidos através de rebites, parafusos e soldagem ou adesivos. Os componentes da aeronave dividem-se em vários membros estruturais (reforçadores, longarinas, nervuras, paredes, etc.). Os membros estruturais das aeronaves são desenhados para suportar uma carga ou resistir ao estresse. Um único membro da estrutura pode ser submetido a uma combinação de estresses. Na maioria dos casos, os membros estruturais são projetados para suportar mais cargas nas extremidades do que sobre suas laterais; ou seja, são mais sujeitos a tensão e compressão que a flexão.

A resistência pode ser o requisito principal em certas estruturas, enquanto outras necessitam de qualidades totalmente diferentes. Por exemplo, capotas, carenagens e partes semelhantes geralmente não precisam suportar os e estresses impostos pelo vôo, ou as cargas de pouso. Contudo, essas partes devem possuir qualidades, como um acabamento liso e formato aerodinâmico.

PRINCIPAIS ESTRESSES ESTRUTURAIS

Durante o projeto de uma aeronave, cada centímetro quadrado da asa e da fuselagem, cada nervura, longarina, e até mesmo cada encaixe deve ser considerado em relação às características físicas do metal do qual ele é feito. Todas as partes da aeronave devem ser planejadas para suportar as cargas que lhes serão impostas. A determinação de tais cargas é chamada análise de estresse. Apesar do planejamento do desenho não ser uma atribuição do mecânico, é, contudo, importante que ele compreenda e avalie os estresses envolvidos, para evitar mudança no desenho original através de reparos inadequados.

Há 5 estresses maiores, aos quais todas as aeronaves estão sujeitas (figura 1-1):

(A) Tensão
(B) Compressão
(C) Torção
(D) Cisalhamento
(E) Flexão

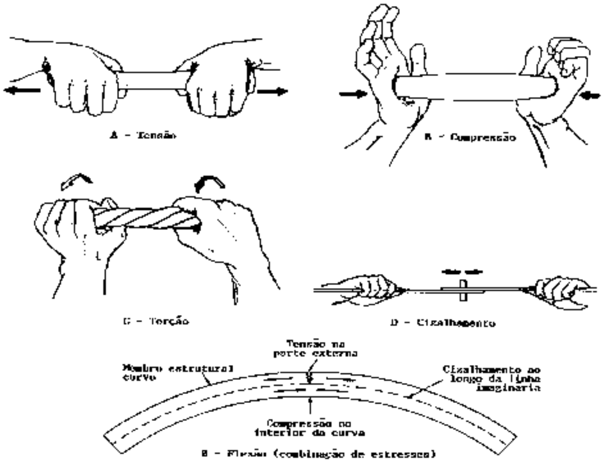

A - Tensão
B - Compressão
C - Torção
D - Cisalhamento
Tensão na parte externa
Membro estrutural curvo
Cisalhamento ao longo da linha imaginaria
Compressão no interior da curva
E - Flexão (combinação de estresses)

Figura 1-1 Os cinco estresses que atuam em uma aeronave.

O termo estresse é geralmente utilizado com o mesmo sentido da palavra esforço. O estresse é uma força interna em uma substância que se opõe ou resiste à deformação. O esforço é a deformação do material ou substância. O estresse é uma força interna, que pode causar deformação.

A tensão (fig. 1-1A) é o estresse que resiste à força que tende a afastar. O motor puxa a aeronave para frente, porém, a resistência do ar tenta trazê-la de volta. O resultado é a tensão, que tende a esticar a aeronave. O esforço de tensão de um material é medido em p.s.i. (libras por polegada quadrada) e é calculado dividindo-se a carga (em libras) requerida para dividir o material pela sua seção transversal (em polegadas quadradas).

A compressão (fig. 1-1B) é o estresse que resiste à força de esmagamento. A resistência compressiva de um material é também medida em p.s.i. A compressão é o estresse que tende a encurtar ou espremer as partes da aeronave.

A torção é o estresse que produz torcimento (fig. 1-1C). Enquanto a aeronave se move para a frente, o motor também tende a torcê-la para um dos lados, porém outros componentes da aeronave a mantêm no curso. Assim, gera-se torção. A resistência torcional de um material é sua resistência à torção ou torque.

O cisalhamento é o estresse que resiste à força que tende a fazer com que uma camada do material deslize sobre uma camada adjacente. Duas chapas rebitadas, submetidas a tensão (fig. 1-1D), submetem os rebites a uma força de cisalhamento. Geralmente a resistência ao cisalhamento de um material é igual ou menor que sua resistência à tensão ou compressão. As partes de aeronaves, especialmente parafusos e rebites, são geralmente submetidos à força de cisalhamento.

O estresse de flexão é uma combinação de compressão e tensão. A vareta da fig. 1-1E, foi encurtada (comprimida) em um dos lados da flexão e esticada no lado externo da flexão.

AERONAVE DE ASA FIXA

Os componentes principais de uma aeronave monomotora à hélice são mostradas na figura 1-2.

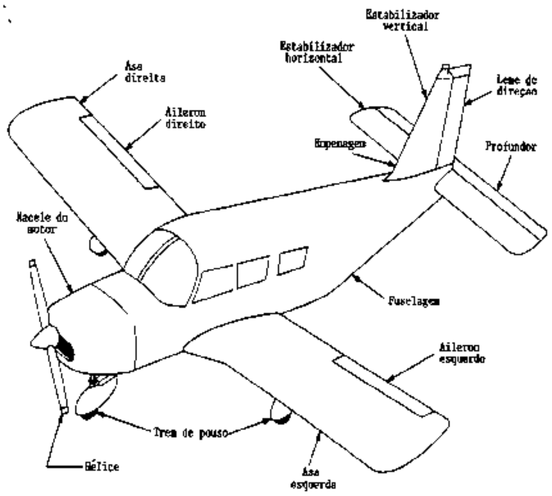

Estabilizador vertical
Estabilizador horizontal
Asa direita
Leme de direção
Aileron direito
Empenagem
Profundor
Nacele do motor
Fuselagem
Aileron esquerdo
Trem de pouso
Hélice
Asa esquerda

Figura 1-2 Componentes estruturais de uma aeronave.

A fig. 1-3 ilustra os componentes estruturais de uma aeronave a jato. Uma asa e os conjuntos da empenagem são apresentados explodidos nos diversos componentes que, quando juntos, formam unidades estruturais maiores.

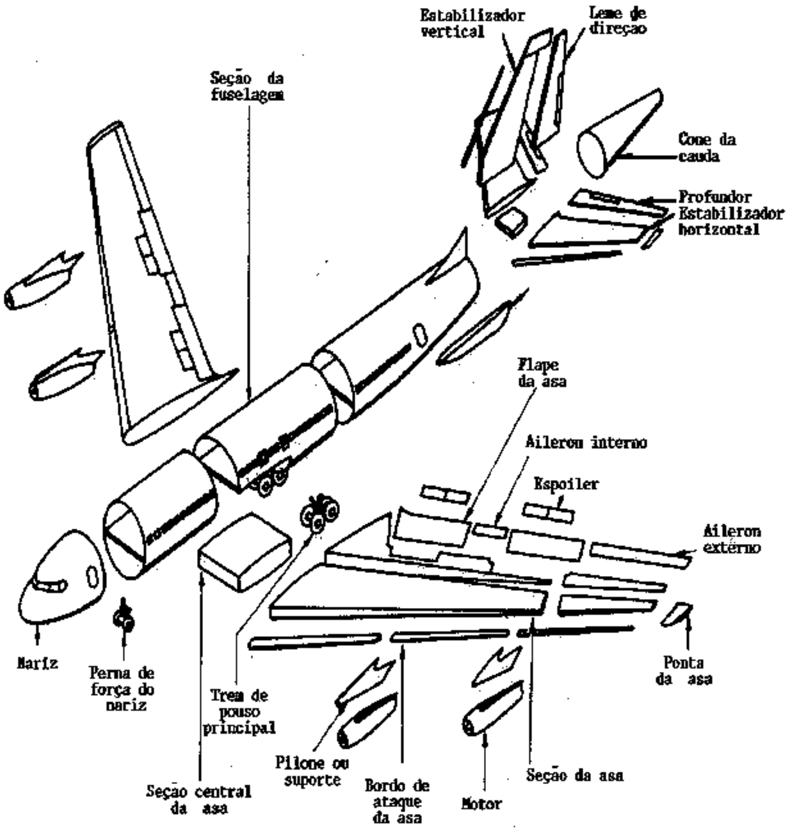

Estabilizador vertical
Leme de direção
Seção da fuselagem
Cone da cauda
Profundor
Estabilizador horizontal
Flape da asa
Aileron interno
Espoiler
Aileron externo
Ponta da asa
Nariz
Perna de força do nariz
Trem de pouso principal
Pilone ou suporte
Seção central da asa
Bordo de ataque da asa
Motor
Seção da asa

Figura 1-3 Componentes estruturais típicos de uma aeronave a jato

FUSELAGEM

A fuselagem é a estrutura principal ou o corpo da aeronave. Ela provê espaço para a carga, controles, acessórios, passageiros e outros equipamentos. Em aeronaves monomotoras é a fuselagem que também abriga o motor. Em aeronaves multi-motoras os motores podem estar embutidos na fuselagem, podem estar fixados à fuselagem ou suspensos pelas asas. Elas variam, principalmente em tamamho e arranjo dos diferentes compartimentos.

Há dois tipos gerais de construção de fuselagens, treliça e monocoque. O tipo treliça consiste de uma armação rígida feita de membros como vigas, montantes e barras que resistem à deformação gerada pelas cargas aplicadas. A fuselagem tipo treliça é geralmente coberta por tela.

Tipo treliça

A fuselagem tipo treliça (fig. 1-4) é geralmente construída de tubos de aço, soldados de tal forma, que todos os membros da treliça possam suportar tanto cargas de tensão como compressão.

Em algumas aeronaves, principalmente as mais leves, monomotoras, a treliça é construída de tubos de liga de alumínio e podem ser rebitados ou parafusados em uma peça, utilizando varetas sólidas ou tubos.

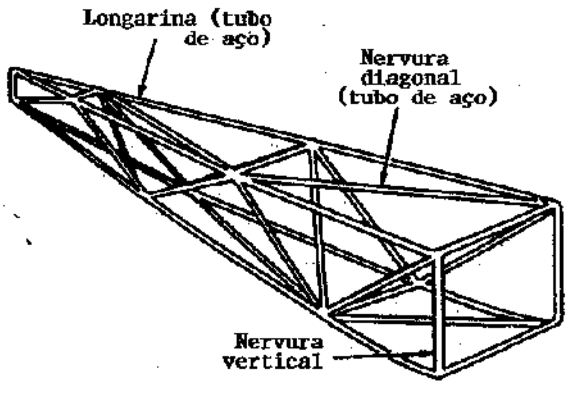


Figura 1-4 Estrutura de fuselagem tipo treliça, de tubos de aço soldados.

Tipo monocoque

A fuselagem tipo monocoque (revestimento trabalhante), baseia-se largamente na resistência do revestimento para suportar os estresses primários. O desenho pode ser dividido em 3 classes: (1) Monocoque, (2) semi-monocoque, ou (3) revestimento reforçado. A verdadeira construção monocoque (fig. 1-5), lança mão de perfis, cavernas e paredes para dar formato à fuselagem, porém é o revestimento que suporta os estresses primários. Uma vez que não há esteios ou estais, o revestimento deve ser forte o bastante para manter a fuselagem rígida. Sendo assim, o maior problema envolvido na construção monocoque é manter uma resistência suficiente, mantendo o peso dentro de limites aceitáveis.

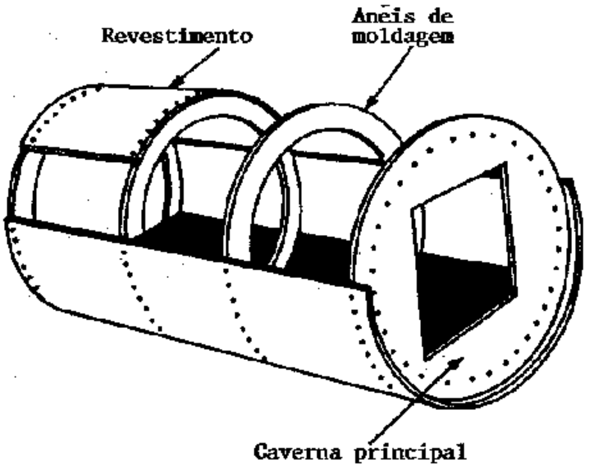


Figura 1-5 Construção monocoque.

Para superar o problema resistência/peso da construção monocoque, uma modificação denominada semi-monocoque (fig. 1-6) foi desenvolvida.

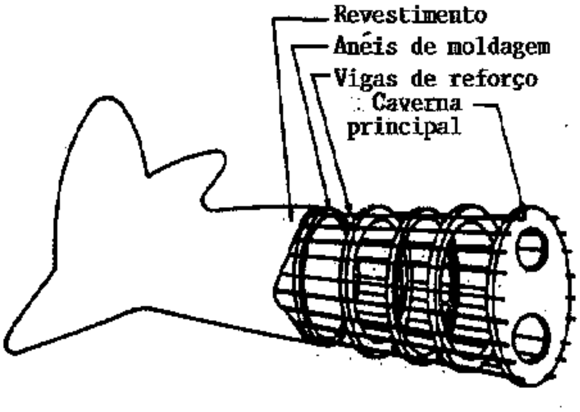


Figura 1-6 Construção semimonocoque.

Em adição aos perfis, cavernas e paredes, a construção semi-monocoque possui membros longitudinais que reforçam o revestimento. A célula reforçada é revestida por uma estrutura completa de membros estruturais. Diferentes partes da mesma fuselagem podem pertencer a qualquer das 3 classes, porém a maioria das aeronaves é considerada semi-monocoque.

Tipo semi-monocoque

A fuselagem semi-monocoque é construída primariamente de ligas de alumínio e magnésio, apesar de encontrarmos aço e titânio em áreas expostas a altas temperaturas. As cargas primárias de flexão são suportadas pelas longarinas, que geralmente se estendem através de diversos pontos de apoio. As longarinas são suplementadas por outros membros longitudinais chamados de vigas de reforço. As vigas de reforço são mais numerosas e mais leves que as longarinas. Os membros estruturais verticais são chamados de paredes, cavernas e falsas nervuras. Os membros mais pesados estão localizados a intervalos, para suportar as cargas concentradas, e em pontos onde são usados encaixes para fixar outras unidades, tais como asas, motores e estabilizadores. A fig. 1-7 mostra uma forma de desenho atual de semi-monocoque.

As vigas de reforço são menores e mais leves que as longarinas e servem como preenchimentos. Elas possuem alguma rigidez, mas são principalmente usadas para dar forma e para fixar o revestimento. As fortes e pesadas longarinas prendem as paredes e as falsas nervuras, e estas, por sua vez, prendem as vigas de reforço. Tudo isso junto forma a estrutura rígida da fuselagem.

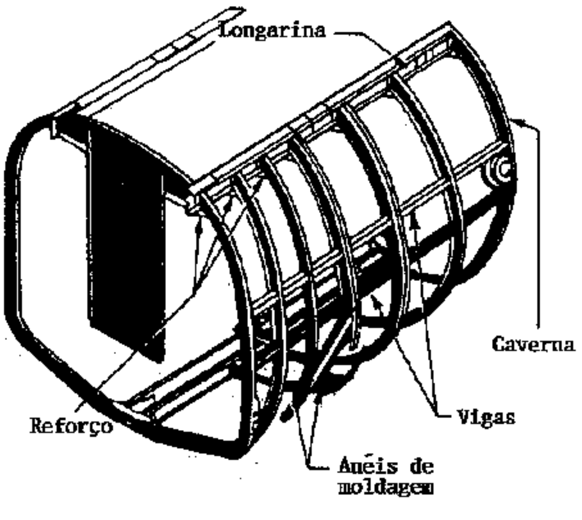


Figura 1-7 Membros estruturais da fuselagem.

Geralmente há pouca diferença entre alguns anéis, cavernas e falsas nervuras. Um fabricante pode chamar um esteio de falsa nervura, enquanto um outro pode chamar o mesmo tipo de esteio de anel ou caverna. As especificações e instruções do fabricante de um modelo específico de aeronave são os melhores guias.

As vigas de reforço e as longarinas evitam que a tensão e a compressão flexionem a fuselagem. As vigas de reforço, são geralmente peças interiças de liga de alumínio, e são fabricadas em diversos formatos por fundição, extrusão ou modelagem. As longarinas, tal como as vigas de reforço são feitas de liga de alumínio; contudo elas tanto podem ser ou não interiças.

Só os membros estruturais discutidos não conseguem dar resistência a uma fuselagem. Eles precisam primeiramente serem unidos através de placas de reforço, rebite, porcas e parafusos, ou parafusos de rosca soberba para metais. As placas de reforço (fig. 1-7) são um tipo de conexão. Os escoramentos entre as longarinas são geralmente chamados de membros da armação. Eles podem ser instalados na vertical ou na diagonal.

O revestimento metálico é rebitado às longarinas, paredes e outros membros estruturais, e suporta parte do esforço. A espessura do revestimento da fuselagem varia de acordo com o esforço a ser suportado e com os estresses de um local em particular.

Há inúmeras vantagens em se usar uma fuselagem semi-monocoque. As paredes, cavernas, vigas de reforço e longarinas facilitam o desenho e a construção de uma fuselagem aerodinâmica, e aumentam a resistência e rigidez da estrutura. A principal vantagem, contudo, reside no fato de que ela não depende de uns poucos membros para resistência e rigidez. Isso significa que uma fuselagem semi-monocoque, devido a sua construção, pode suportar danos consideráveis e ainda ser forte o suficiente para se manter unida.

As fuselagens são geralmente construídas em duas ou mais seções. Em aeronaves pequenas, são geralmente feitas em duas ou três seções, enquanto em aeronaves maiores são feitas de diversas seções.

Um acesso rápido aos acessórios e outros equipamentos montados na fuselagem é dado através de numerosas portas de acesso, placas de inspeção, compartimentos de trens de pouso, e outras aberturas. Os diagramas de manutenção mostrando o arranjo do equipamento e localização das janelas de acesso são supridos pelo fabricante no manual de manutenção da aeronave.

Sistema de numeração das localizações

Há diversos sistemas de numeração em uso para facilitar a localização de específicas cavernas de asa, paredes de fuselagem, ou quaisquer membros estruturais de uma aeronave.

A maioria dos fabricantes usam um sistema de marcação de estações; por exemplo, o nariz da aeronave pode ser designado estação zero, e todas as demais estações são localizadas a distâncias medidas em polegadas a partir da estação zero. Sendo assim, quando se lê em um esquema"Caverna de fuselagem na estação 137", essa caverna em particular pode ser localizada 137 polegadas atrás do nariz da aeronave. Um diagrama de estações típico é apresentado na fig. 1-8.

Para localizar as estruturas à direita ou esquerda da linha central de uma aeronave, muitos fabricantes consideram a linha central como sendo a estação zero para a localização à direita ou esquerda.

Com um tal sistema as cavernas do estabilizador podem ser identificadas como sendo tantas polegadas à direita ou à esquerda da linha central da aeronave.

O sistema de numeração do fabricante aplicável e as designações abreviadas ou símbolos, devem sempre ser revisados antes de tentar localizar um membro estrutural.

A lista a seguir inclui os tipicamente usados por muitos fabricantes.

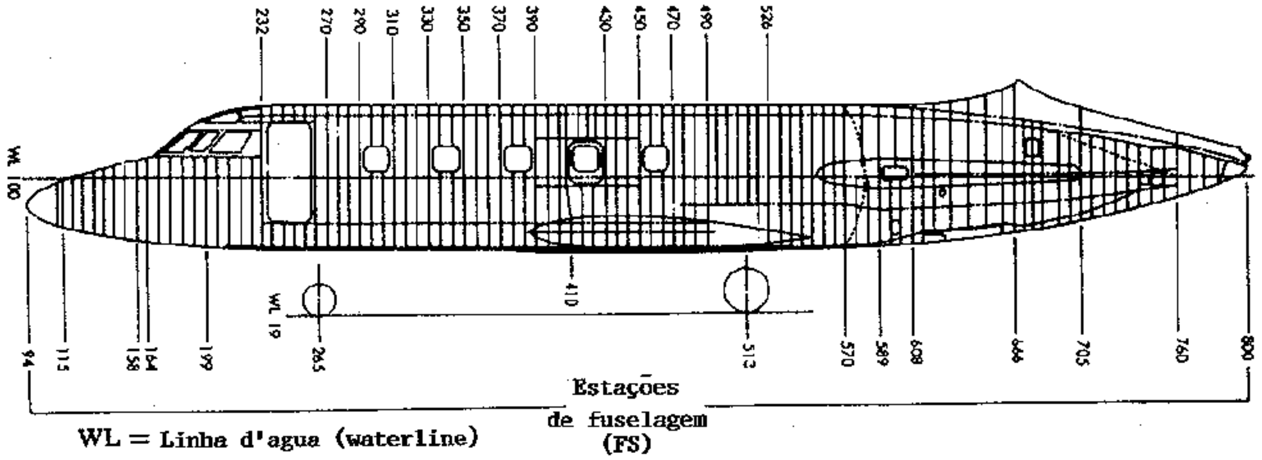


Figura 1-8 Estações da fuselagem.

(1) *Estação de fuselagem* (Fus. Sta. ou F.S.) - são numeradas em polegadas de um referencial ou ponto zero, conhecido como DATUM. O DATUM é um plano vertical imaginário no/ou próximo ao nariz do avião, a partir do qual todas as distâncias são medidas. A distância até um determinado ponto é medida em polegadas paralelamente à linha central, que estende-se através da aeronave - do nariz até o centro do cone de cauda. Alguns fabricantes chamam a estação de fuselagem de estação de corpo (body station) abreviado B.S.

(2) *Linha de alheta* (Buttock line - B.L.) - é uma medida de largura à esquerda ou à direita da linha central e paralela à mesma.

(3) *Linha d'água* (Water line - W.L.) - é a medida de altura em polegadas, perpendicularmente a um plano horizontal mente a um plano horizontal localizado a uma determinada distância em polegadas abaixo do fundo da fuselagem da aeronave.

(4) *Estação de aíleron* (A.S.) - é medida de fora para dentro, paralelamente à lateral interna do aileron, perpendicularmente à longarina traseira da asa.

(5) *Estação de flape* (F.S.) - é medida perpendicularmente à longarina traseira da asa e paralelamente à lateral interna do flape, de fora para dentro.

(6) *Estação de nacele* (N.C. OU Nac. Sta.) - é medida tanto à frente como atrás da longarina dianteira da asa, perpendicularmente à linha d'água designada.

Além das estações listadas acima, usa-se ainda outras medidas, especialmente em aeronaves de grande porte. Ou seja, pode haver estações de estabilizador horizontal (H.S.S.), estações do estabilizador vertical (V.S.S.) ou estações de grupo motopropulsor (P.P.S.). Em todos os casos, a terminologia do fabricante e o sistema de localização de estações deve ser consultado antes de se tentar localizar um ponto em uma determinada aeronave.

ESTRUTURA ALAR

As asas de uma aeronave são superfícies desenhadas para produzir sustentação quando movidas rapidamente no ar. O desenho particular para uma dada aeronave depende de uma série de fatores, tais como: tamanho, peso, aplicação da aeronave, velocidade desejada em vôo e no pouso, e razão de subida desejada. As asas de uma aeronave de asas fixas são chamadas de asa esquerda e asa direita, correspondendo à esquerda e à direita do piloto, quando sentado na cabine.

As asas da maioria das aeronaves atuais são do tipo cantilever; ou seja, elas são construídas sem nenhum tipo de escoramento externo. O revestimento faz parte da estrutura da asa e suporta parte dos estresses da asa. Outras asas de aeronaves possuem suportes externos (montantes, estais, etc.) para auxiliar no suporte da asa e das cargas aerodinâmicas e de pouso. Tanto as ligas de alumínio como as de magnésio são utilizadas na construção de asas. A estrutura interna consiste de longarinas e vigas de reforço no sentido da envergadura, e nervuras e falsas nervuras no sentido da corda (do bordo de ataque para o bordo de fuga). As longarinas são os membros estruturais principais da asa. O revestimento é preso aos membros internos e poderá suportar parte dos estresses da asa. Durante o vôo, cargas aplicadas, impostas à estrutura primária da asa atuam primariamente sobre o revestimento. Do revestimento elas são transmitidas para as nervuras, e das nervuras para as longarinas. As longarinas suportam toda a carga distribuída e também os pesos concentrados, tais como a fuselagem, o trem de pouso e; em aeronaves multimotoras, as naceles ou "pylons".

A asa, tal qual a fuselagem, pode ser construída em seções. Um tipo muito usado compõe-se de uma seção central com painéis externos e pontas de asa. Outro arranjo pode conter projeções da fuselagem, como partes integrantes da asa, ao invés da seção central.

As janelas de inspeção e portas de acesso são geralmente localizadas na superfície inferior da asa (intradorso). Há também drenos na superfície inferior, para escoar a umidade que se condensa ou os fluidos. Em algumas aeronaves há até locais onde se pode andar sobre a asa; em outras, há pontos para apoio de macacos sob as asas.

Diversos pontos nas asas são localizados através do número da estação. A estação de asa zero (W.S. 0.0) está localizada na linha central da fuselagem, e todas as estações de asa são medidas a partir daí, em direção às pontas, em polegadas.

Geralmente a construção de uma asa baseia-se em um dos 3 tipos fundamentais: (1) monolongarina, (2) multilongarina, ou (3) viga em caixa. Os diversos fabricantes podem adotar modificações desses tipos básicos.

A asa monologarina incorpora apenas um membro longitudinal principal em sua construção. As nervuras ou paredes suprem o contorno ou formato necessário ao aerofólio. Apesar do tipo estreitamente monolongarina não ser comum, esse tipo de desenho, modificado pela adição de falsas longarinas, ou de membros leves ao longo do bordo de fuga, como suporte para as superfícies de controle, é às vezes utilizado.

A asa multilongarina incorpora mais de um membro longitudinal principal em sua construção. Para dar contorno à asa, inclui-se geralmente nervuras e paredes.

A asa do tipo viga em caixa (caixa central) utiliza dois membros longitudinais principais com paredes de conexão para dar maior resistência e fazer o contorno de asa. Pode-se usar uma chapa corrugada entre as paredes e o revestimento externo liso para que possa suportar melhor as cargas de tensão e compressão. Em alguns casos, usa-se reforçadores pesados ao invés das chapas corrugadas. Às vezes usa-se uma combinação de chapas corrugadas na superfície superior, e reforçadores, na superfície inferior.

Configurações de asas

Dependendo das características de vôo desejadas, as asas serão construídas em diferentes formas e tamanhos. A fig. 1-9 mostra alguns dos tipos de bordos de ataque e de fuga.

Além da configuração dos bordos de ataque e fuga, as asas são também desenhadas para prover certas características de vôo desejáveis, tais como grande sustentação, balanceamento ou estabilidade. A fig. 1-10 mostra alguns formatos comuns de asas.

Certas características da asa causarão outras variações no projeto. A ponta de asa pode ser quadrada, redonda ou até mesmo pontuda. Ambos, o bordo de ataque e o de fuga, podem ser retos ou curvos. Em adição, a asa pode ser afilada, de forma que a corda nas pontas seja menor que na raiz da asa. Muitos tipos de aeronaves modernas utilizam asas enflechadas para trás (fig. 1-9).

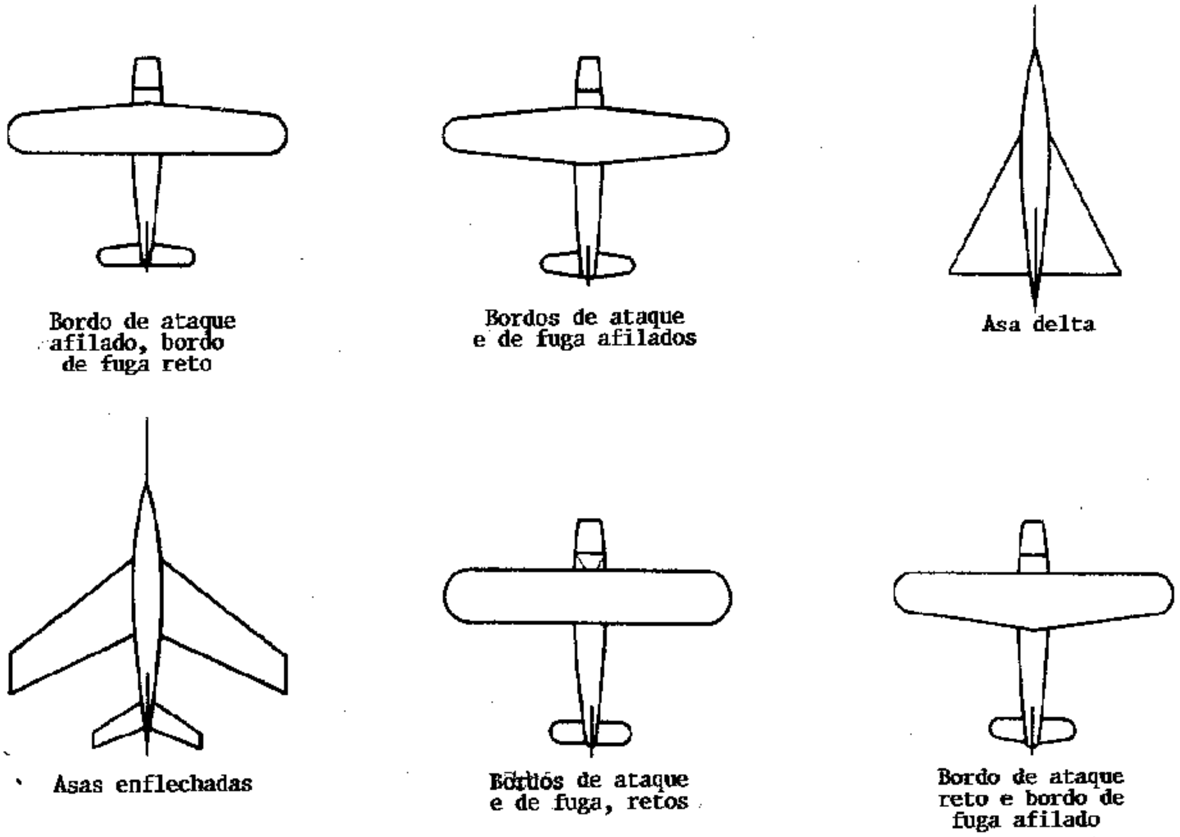

Bordo de ataque afilado, bordo de fuga reto
Bordos de ataque e de fuga afilados
Asa delta
Asas enflechadas
Bordos de ataque e de fuga, retos
Bordo de ataque reto e bordo de fuga afilado

Figura 1-9 Formatos típicos de bordos de ataque e de fuga de asas.

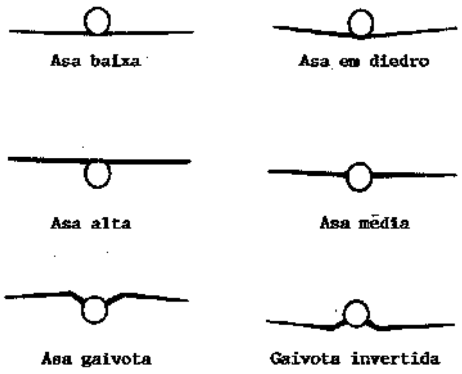

Asa baixa
Asa em diedro
Asa alta
Asa média
Asa gaivota
Gaivota invertida

Figura 1-10 Formatos comuns de asas.

Longarinas de asa

As principais partes estruturais de uma asa são as longarinas, as nervuras ou paredes, e as vigas de reforço ou reforçadores, como mostrado na figura 1-11.

As longarinas são os principais membros estruturais da asa. Elas correspondem às longarinas da fuselagem. Correm paralelamente ao eixo lateral, ou em direção às pontas da asa e, são geralmente presas à fuselagem, através das ferragens da asa, de vigas ou de um sistema de armação metálica.

As longarinas de madeira podem ser classificadas geralmente em 4 tipos diferentes, de acordo com a configuração de sua seção transversal.

Como mostrado na fig.1-12, elas podem ser parcialmente ocas, no formato de uma caixa, sólidas ou laminadas, retangulares, ou em forma de "I".

As longarinas podem ser feitas de madeira ou metal, dependendo do critério de desenho de uma determinada aeronave.

A maioria das aeronaves recentemente produzidas utiliza longarinas de alumínio sólido extrudado ou pequenas extrusões de alumínio rebitadas juntas para formar uma longarina.

O formato da maioria das longarinas de madeira é mostrado na fig. 1-12. O formato retangular, fig. 1-12A, pode ser sólido ou laminado. A fig. 1-12B, é uma viga "I", que foi desbastada lateralmente, para reduzir seu peso, mantendo uma resistência adequada. A longarina em caixa, fig. 1-12C, é construída em compensado e espruce sólido.

A longarina "I", fig. 1-12D, pode ser construída em madeira ou em alumínio extrudado. A construção de uma longarina "I" geralmente consiste de uma armação (uma placa) e algumas ripas, que são extrudadas ou em ângulo.

A armação forma o corpo principal da longarina. As ripas podem ser extrusões, ângulos formados ou aplainadas, e são presas à armação.

Esses membros suportam os esforços de flexão da asa e também formam uma base para fixação do revestimento. Um exemplo de longarina oca ou internamente rebaixada é mostrada na figura 1-12E.

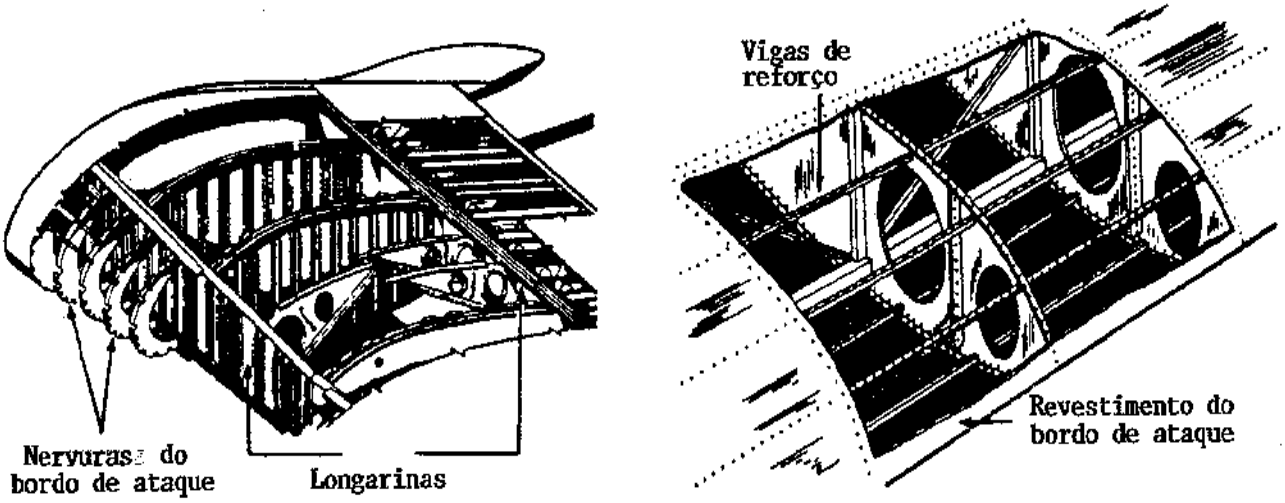


Figura 1-11 Construção interna das asas.

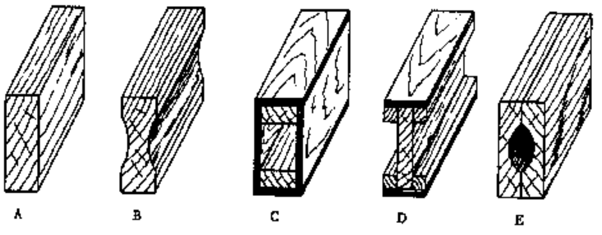


Figura 1-12 Configuração das seções em corte de longarinas típicas de madeira.

A figura 1-13 mostra as configurações de algumas longarinas metálicas. A maioria das longarinas metálicas são feitas de seções de liga de alumínio extrudado, com seções da armação de liga de alumínio, rebitadas a ela para dar maior resistência.

Apesar dos formatos da fig. 1-13 serem os mais comuns, a configuração da longarina pode assumir muitas formas. Por exemplo, uma longarina pode ser feita a partir de uma placa ou de uma armação.

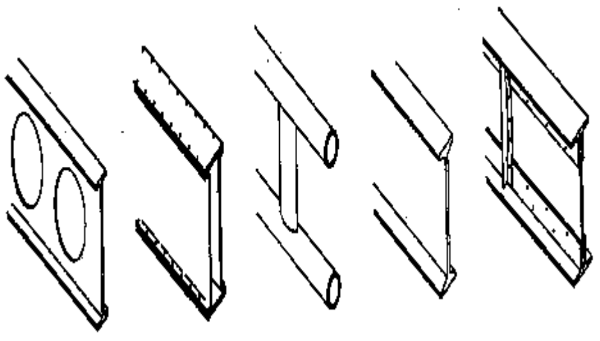


Figura 1-13 Formatos de longarinas metálicas.

A placa de armação (fig.1-14) consiste de uma placa sólida com reforçadores verticais que aumentam a resistência da armação.

Algumas longarinas são construídas de forma diversa. Umas não possuem reforçadores, outras possuem furos flangeados para reduzir o peso. A figura 1-15 mostra uma longarina de armação metálica, feita com uma cobertura superior, uma cobertura inferior e tubos de conexão vertical e diagonal.

Uma estrutura pode ser desenhada de forma a ser considerada à prova de falha. Em outras palavras, se um dos membros de uma estrutura complexa falhar, algum outro membro assumirá sua carga.

Uma longarina construída à prova de falha é mostrada na figura 1-16. Essa longarina é constituída de duas seções.

A seção superior consiste de uma cobertura rebitada à placa de armação.

A seção inferior é uma extensão simples, consistindo de uma chapa e uma armação.

Essas duas seções são unidas para formar a longarina.

Se qualquer uma dessas seções falhar, a outra seção ainda consegue suportar a carga, a qual é o dispositivo à prova de falha.

Via de regra, uma asa possui duas longarinas. Uma delas é geralmente localizada próximo ao bordo de ataque da asa, e a outra fica normalmente a 2/3 da distância até o bordo de fuga.

Qualquer que seja o tipo, a longarina é a parte mais importante da asa.

Quando outros membros estruturais da asa são submetidos a carga, eles transferem a maioria do estresse resultante às longarinas da asa.

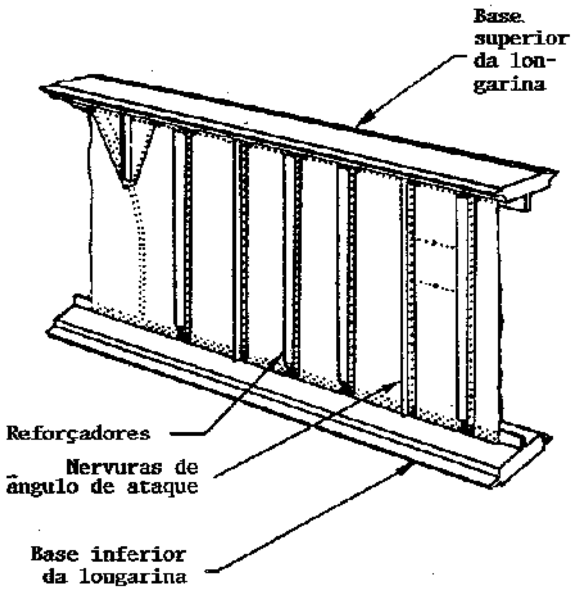

Base superior da longarina
Reforçadores
Nervuras de ângulo de ataque
Base inferior da longarina

Figura 1-14 Longarina com placa de armação (alma).

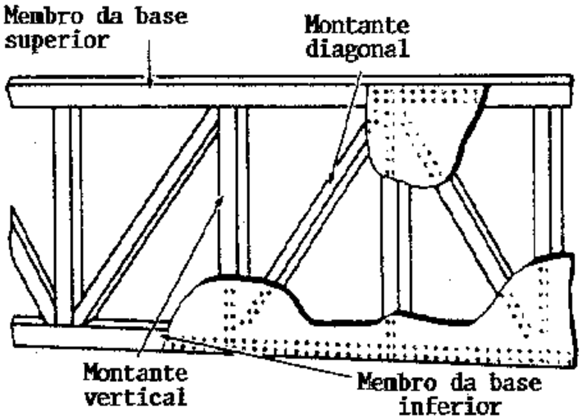

Membro da base superior
Montante diagonal
Montante vertical
Membro da base inferior

Figura 1-15 Longarina de asa em treliça.

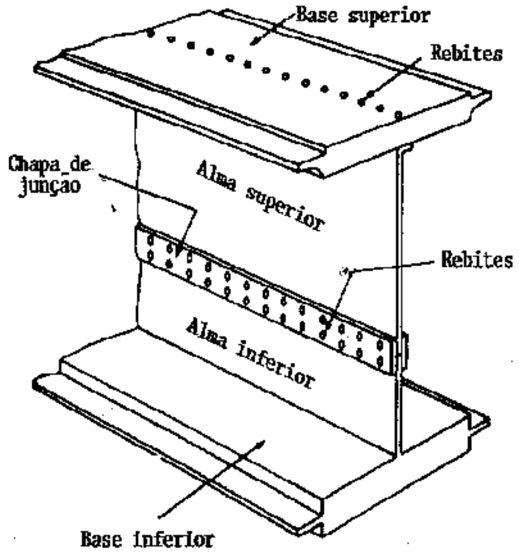

Base superior
Rebites
Chapa de junção
Alma superior
Rebites
Alma inferior
Base inferior

Figura 1-16Longarina de asa de construção a prova de falhas.

Nervuras de asa

Nervuras são membros estruturais que compõem a armação da asa. Elas geralmente estendem-se do bordo de ataque até a longarina traseira ou até o bordo de fuga. São as nervuras que dão à asa sua curvatura e transmitem os esforços do revestimento e reforçadores para as longarinas. As nervuras são utilizadas também em ailerons, profundores, lemes e estabilizadores.

As nervuras são fabricadas em madeira ou metal. Tanto as metálicas como as de madeira são utilizadas com longarinas de madeira, enquanto apenas as nervuras de metal são usadas nas longarinas metálicas. A fig.1-17 mostra algumas nervuras típicas geralmente confeccionadas em espruce.

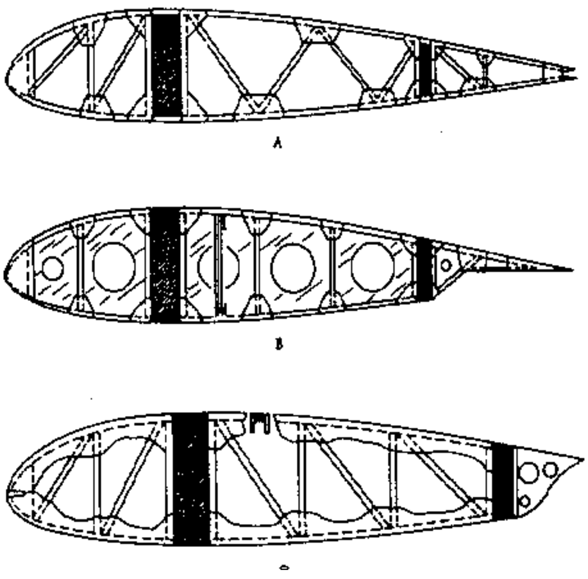


Figura 1-17 Nervuras típicas de madeira.

Os tipos mais comuns de nervuras de madeira são a armação de compensado, a armação leve de compensado e o tipo treliça. Desses 3 tipos, o tipo treliça é o mais eficiente, porém não tem a simplicidade dos outros tipos.

A nervura de asa mostrada na fig. 1-17A é do tipo treliça, com cantoneiras de compensado em ambos os lados da nervura e uma cobertura contínua ao redor de toda a nervura.

Essas coberturas são geralmente feitas do mesmo material da nervura. Elas reforçam e fortalecem a nervura e fornecem uma superfície de fixação para o revestimento.

Uma nervura leve de compensado é mostrada na fig. 1-17B. Nesse tipo, a cobertura pode ser laminada, especialmente no bordo de ataque. A fig. 1-17C mostra uma nervura com uma cantoneira contínua, que dá um suporte extra a toda a nervura com um reduzido acréscimo de peso.

Uma cantoneira contínua reforça a cobertura da nervura. Ela ajuda a prevenir empenamentos e melhora a junção colada entre a nervura e o revestimento, pois pode-se adicionar pequenos pregos, uma vez que esse tipo de nervura resiste melhor que as outras à utilização de pregos.

A cantoneiras contínuas são mais fáceis de lidar que a grande quantidade de pequenas cantoneiras necessárias anteriormente.

A figura 1-18 mostra a estrutura básica longarina/nervura, de uma asa de madeira, junto com outros membros estruturais.

Além das longarinas dianteira e traseira, a fig. 1-18 mostra uma longarina de aileron ou falsa longarina. Esse tipo de longarina estende-se por apenas uma parte da envergadura e dá suporte às dobradiças do aileron.

Vários tipos de nervuras estão também ilustrados na fig. 1-18. Em adição à nervura de asa; às vezes chamada de "nervura plana", ou mesmo "nervura principal", aparecem também nervuras dianteiras e nervuras traseiras. Uma nervura dianteira também é chamada falsa nervura, uma vez que ela geralmente estende-se de um bordo de ataque até a longarina dianteira ou um pouco além. As nervuras dianteiras dão ao bordo de ataque a necessária curvatura e suporte. A nervura de asa, ou nervura plana, estende-se desde o bordo de ataque da asa até a longarina traseira e, em alguns casos, até o bordo de fuga da asa. A nervura traseira é normalmente a seção mais estressada, na raiz da asa, próxima ao ponto de fixação da asa à fuselagem. Dependendo de sua localização e método de fixação, uma nervura traseira pode ser chamada de nervura parede ou de compressão, caso ela seja desenhada para absorver cargas de compressão que tendem a unir as longarinas da asa.

Uma vez que as nervuras têm pouca resistência lateral, elas são reforçadas em algumas asas através de fitas entrelaçadas acima e abaixo das seções da nervura para evitar movimento lateral.

Os estais de arrasto e de antiarrasto (fig. 1-18) cruzam-se entre as longarinas para formar uma armação resistente às forças que atuam sobre a asa no sentido da corda da asa. Esses estais também são conhecidos como tirante ou haste de tensão. Os cabos projetados para resistir às forças para trás são conhecidos como estais de arrasto; os estais de antiarrasto resistem às forças para a frente, na direção da corda da asa.

Os encaixes de fixação da asa, mostrados na fig. 1-18, dão um meio de fixar a asa à fuselagem da aeronave.

A ponta de asa é geralmente uma unidade removível, parafusada às extremidades do painel da asa. Uma das razões é a vulnerabilidade a danos, especialmente durante o manuseio no solo e no taxiamento.

A fig. 1-19 mostra uma ponta de asa removível, de uma aeronave de grande porte. A ponta de asa é construída de liga de alumínio.

Sua cobertura é fixada através de parafusos de cabeça escareada e, presa às longarinas em quatro pontos, por parafusos de 1/4 pol. O bordo de ataque da ponta de asa é aquecido pelo duto de antigelo. O ar quente é liberado através de uma saída na superfície superior da ponta de asa. As luzes de navegação são fixadas no centro da ponta de asa e geralmente não são avistadas diretamente da cabine de comando.

Para verificar o funcionamento da luz de navegação, antigamente se usava uma vareta de lucite que levava a luz até o bordo de ataque; hoje em dia usa-se uma placa de acrílico transparente que se ilumina e é facilmente vizualizado da cabine.

A fig. 1-20 ilustra uma vista da seção transversal de uma asa metálica cantilever. A asa é feita de longarinas, nervuras e revestimento superior e inferior. Com poucas exceções, as asas desse tipo são de revestimento trabalhante (o revestimento faz parte da estrutura da asa e suporta parte dos estresses da asa).

Os revestimentos superior e inferior da asa são formados por diversas seções integralmente reforçadas.

Esse tipo de construção permite a instalação de células de combustível de borracha ou pode ser selado para suportar o combustível sem as células ou tanques usuais. Esse tipo de asa com tanque integral é conhecida como "asa-molhada", e é a mais utilizada nos modernos aviões.

Uma asa que utiliza uma longarina em caixa é mostrada na fig. 1-21. Esse tipo de construção não apenas aumenta a resistência e reduz o peso, mas também possibilita a asa servir como tanque de combustível quando adequadamente selada.

Tanto os materiais formados por sanduíche de colmeia de alumínio, como os de colméia de fibra de vidro, são comumente usados na construção de superfícies de asa e de estabilizadores, paredes, pisos, superfícies de comando e compensadores.

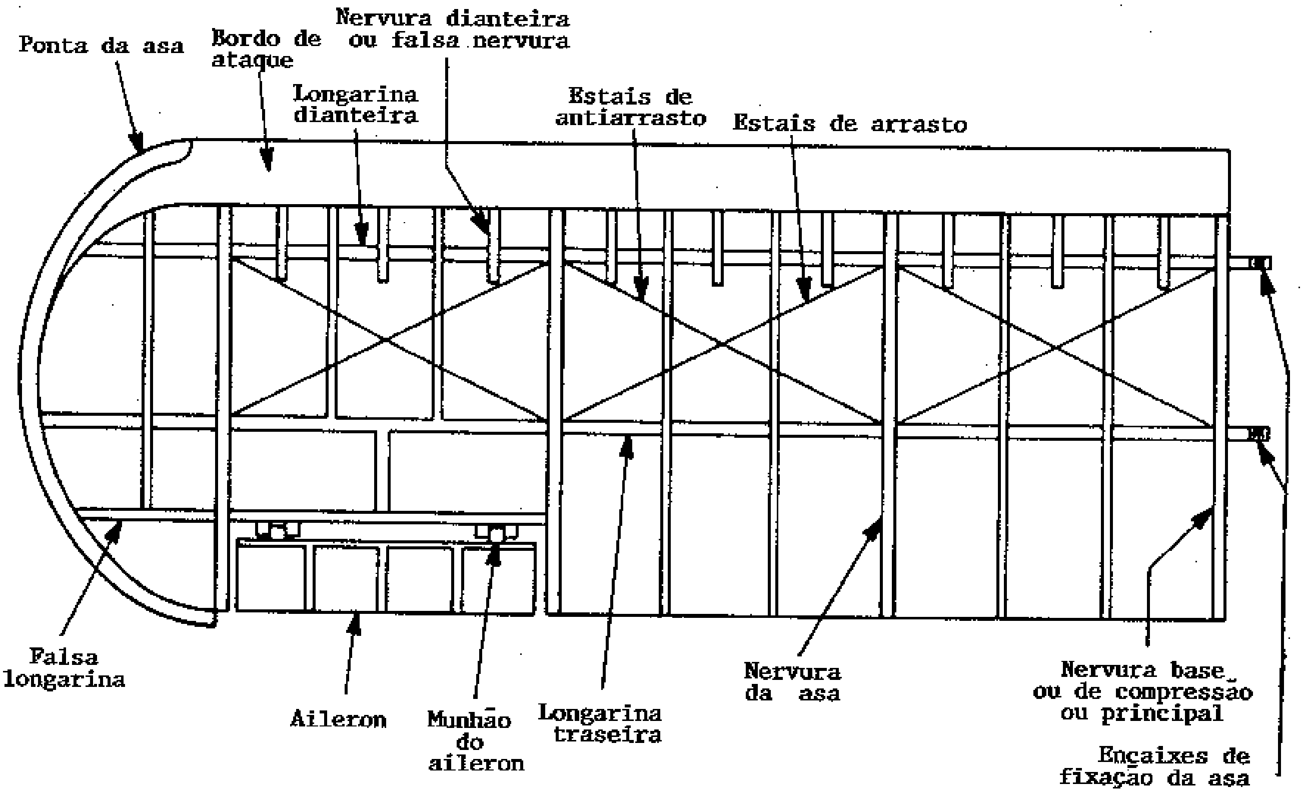

Ponta da asa
Bordo de ataque
Nervura dianteira ou falsa nervura
Longarina dianteira
Estais de antiarrasto
Estais de arrasto
Falsa longarina
Aileron
Munhão do aileron
Longarina traseira
Nervura da asa
Nervura base ou de compressão ou principal
Encaixes de fixação da asa

Figura 1-18 Estrutura básica longarina/nervura de uma asa de madeira.

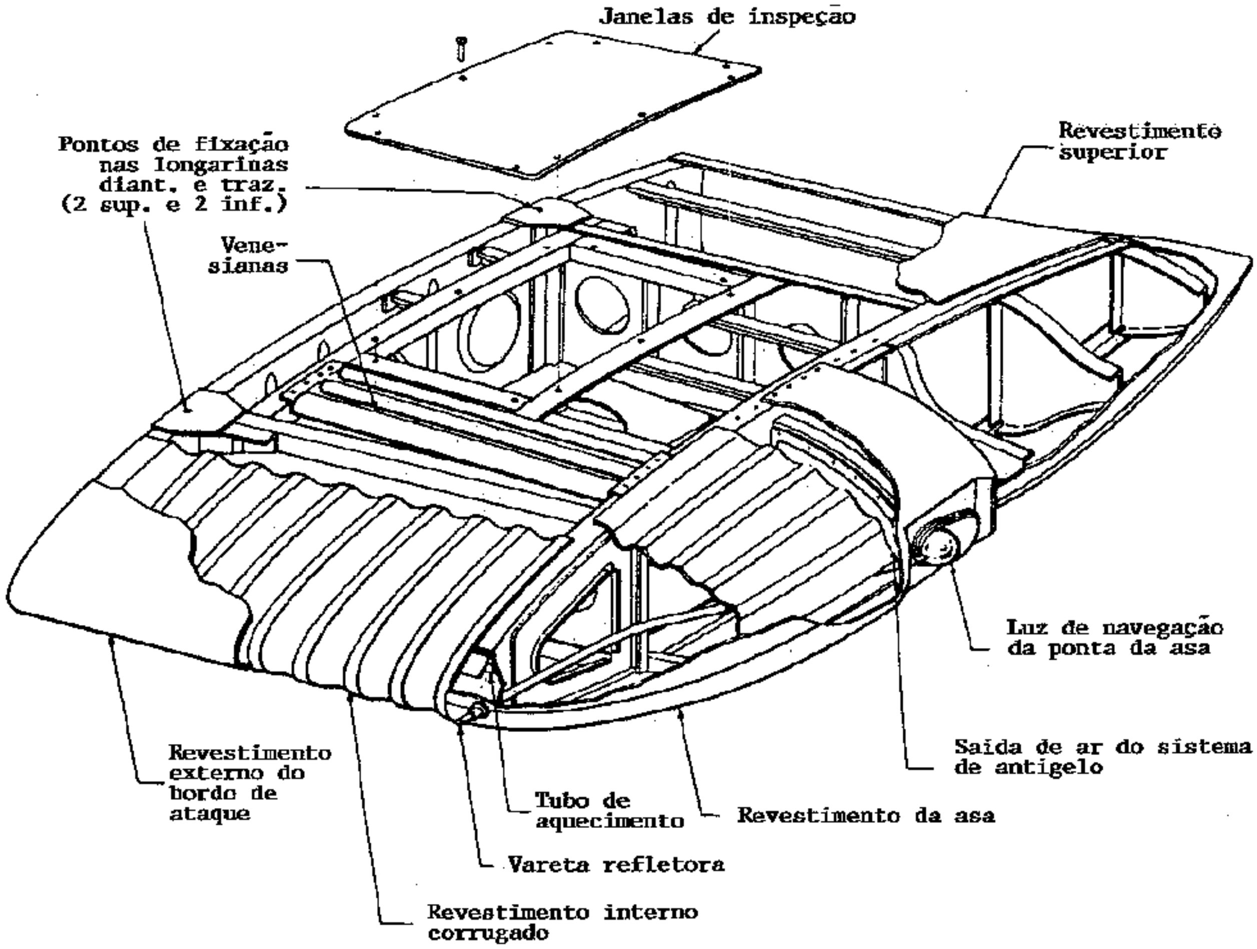

Janelas de inspeção
Pontos de fixação nas longarinas diant. e traz. (2 sup. e 2 inf.)
Revestimento superior
Vene-sianas
Luz de navegação da ponta da asa
Saída de ar do sistema de antigelo
Revestimento externo do bordo de ataque
Tubo de aquecimento
Revestimento da asa
Vareta refletora
Revestimento interno corrugado

Figura 1-19 Ponta removível de uma asa.

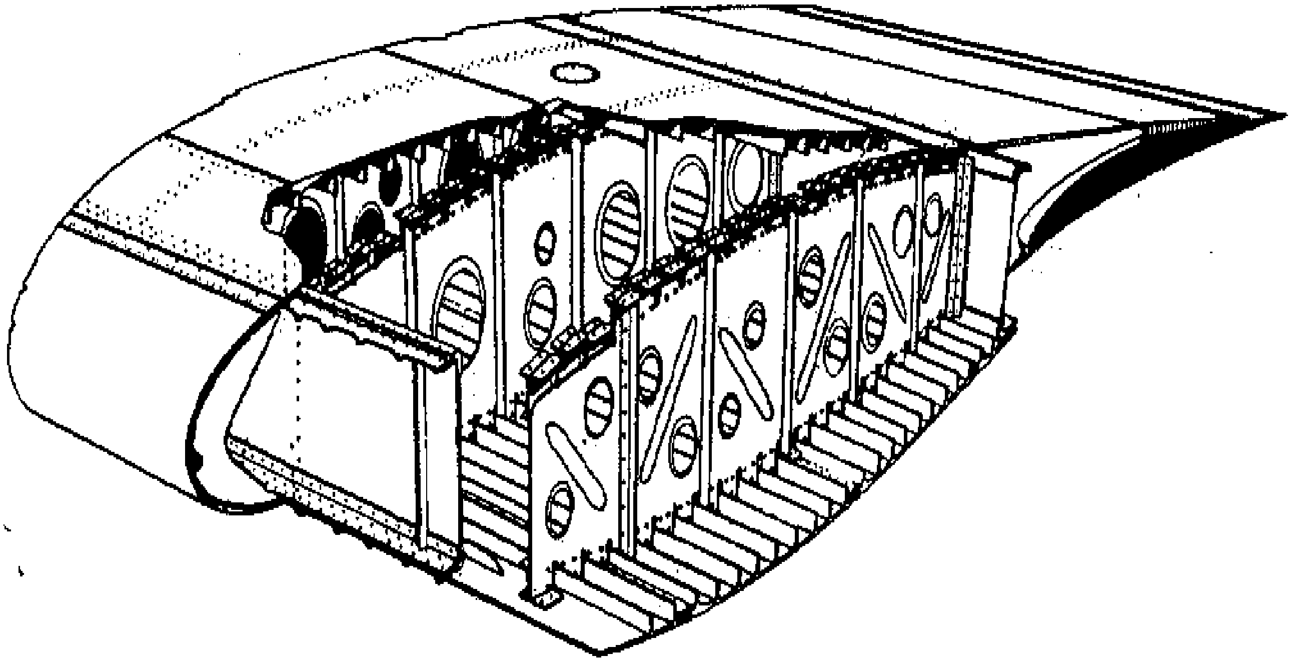


Figura 1-20 Asa metálica com revestimento reforçado.

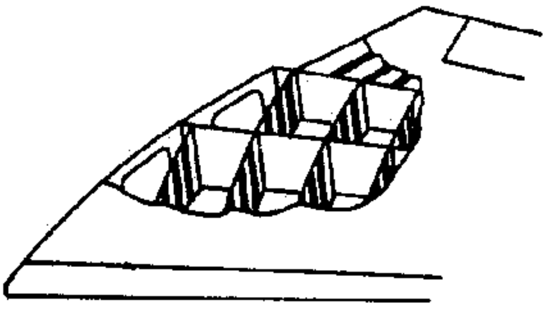


Figura 1-21 Asa com longarina em caixa.

O sanduíche (honeycomb) de alumínio é feito de um núcleo de colmeia de folha de alumínio, colada entre duas chapas de alumínio. O sanduíche de fibra de vidro consiste de um núcleo de colméia colado entre camadas.

Na construção de estruturas de aeronaves de grande porte, e também em algumas aeronaves de pequeno porte, a estrutura em sanduíche utiliza tanto o alumínio como materiais plásticos reforçados. Os painéis de colmeia são geralmente núcleos celulares leves colocados entre dois finos revestimentos tais como o alumínio, madeira ou plástico.

O material de colmeia para aeronaves é fabricado em diversos formatos, mas geralmente tem espessura constante ou afilada. Um exemplo de cada um é mostrado na fig. 1-22.

A fig. 1-23 mostra uma vista da superfície superior de uma aeronave de grande porte de transporte a jato. Os vários painéis fabricados em colmeia são mostrados pelas áreas hachuradas.

Um outro tipo de construção é apresentado na fig. 1-24. Neste caso a estrutura em sanduíche do bordo de ataque da asa é colada à longarina metálica. Nessa figura também aparece o painel de degelo integralmente colado.

NACELES OU CASULOS

As naceles ou casulos são compartimentos aerodinâmicos usados em aeronaves multimotoras com o fim primário de alojar os motores.

Possuem formato arredondado ou esférico e geralmente estão localizados abaixo, acima ou no bordo de ataque da asa.

No caso de um monomotor, o motor é geralmente montado no nariz da aeronave, e a nacele é uma extensão da fuselagem.

Uma nacele de motor consiste de revestimento, carenagens, membros estruturais, uma parede-de-fogo e os montantes do motor. O revestimento e as carenagens cobrem o exterior da nacele. Ambos são geralmente feitos de folha de liga de alumínio, aço inoxidável, magnésio ou titânio. Qualquer que seja o material usado, o revestimento é geralmente fixado através de rebites ao berço do motor.

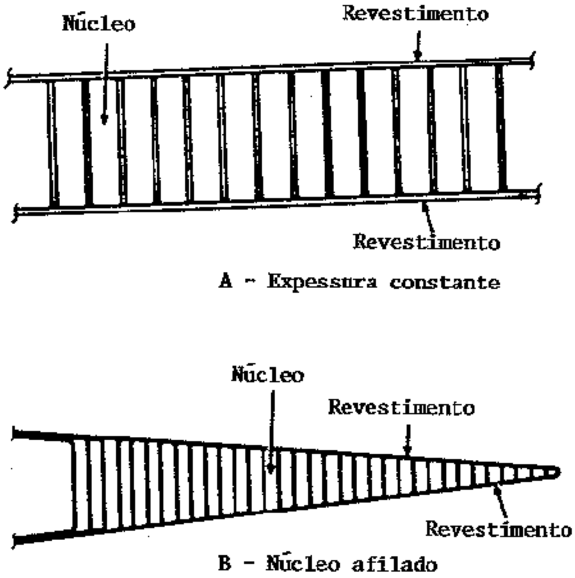


Figura 1-22 Secções de colméia de espessura constante e afilada.

A armação geralmente consiste de membros estruturais semelhantes aos da fuselagem. Ela contém membros que se estendem no sentido do comprimento, tais como as longarinas e reforçadores, e membros que se estendem no sentido da largura e verticalmente, tais como as paredes, cavernas e falsas nervuras.

Uma nacele também contém uma parede-de-fogo que separa o compartimento do motor do resto da aeronave. Essa parede é normalmente feita em chapa de aço inoxidável, ou em algumas aeronaves de titânio.

Um outro membro da nacele são os montantes, ou berço do motor. O berço é geralmente preso à parede-de-fogo, e o motor é fixado ao berço por parafusos, porcas e amortecedores de borracha que absorvem as vibrações. A fig. 1-25 mostra exemplos de um berço semi-monocoque e um berço de tubos de aço usado em motores convencionais.

Os berços são projetados para suprir certas condições de instalação, tais, como a localização e o método de fixação do berço e as características do motor que ele deverá suportar. Um berço é geralmente construído como uma unidade que pode ser rapidamente e facilmente separada do resto da aeronave.

Os berços são geralmente fabricados em tubos soldados de aço cromo/molibdênio, e fusões de cromo / níquel / molibdênio são usadas para os encaixes expostos a altos estresses.

Para reduzir a resistência ao avanço em vôo, o trem de pouso da maioria das aeronaves ligeiras ou de grande porte é retrátil (movido para o interior de naceles aerodinâmicas). A parte da aeronave que aloja o trem de pouso é chamada nacele do trem.

Carenagens

O termo carenagem geralmente aplica-se à cobertura removível daquelas áreas onde se requer acesso regularmente, tais como motores, seções de acessórios e áreas de berço ou da parede-de-fogo.

A fig. 1-26 mostra uma vista explodida das partes que compõem a carenagem de um motor a pistões opostos horizontalmente, utilizado em aeronaves leves.

Alguns motores convencionais de grande porte são alojados em carenagem tipo "gomos-de-laranja". Os painéis de carenagem são presos à parede-de-fogo por montantes que também servem como dobradiças quando a carenagem é aberta (fig. 1-27).

Os montantes da carenagem inferior são presos às dobradiças por pinos que travam automaticamente no lugar, mas podem ser removidos por um simples puxão de um anel. Os painéis laterais são mantidos abertos por pequenas hastes; o painel superior é mantido aberto por uma haste maior, e o painel inferior é seguro na posição "aberto" através de um cabo e uma mola.

Todos os 4 painéis são travados na posição "fechado" por lingüetas de travamento, que são presas fechadas através de travas de segurança com mola. As carenagens são geralmente construídas em liga de alumínio; contudo, geralmente usa-se aço inoxidável no revestimento interno traseiro da seção de potência, para flapes de arrefecimento e próximo às aberturas dos flapes de arrefecimento, e também para dutos de refrigeração de óleo.

Nas instalações de motores a jato, as carenagens são desenhadas de forma bem alinhada com o fluxo de ar sobre os motores para protegê-los contra danos. O sistema completo de carenagens inclui uma carenagem de nariz, carenagens superior e inferior com dobradiças removíveis e um painel de carenagem fixo. Um arranjo típico de carenagem superior e inferior com dobradiça é mostrado na fig. 1-28.

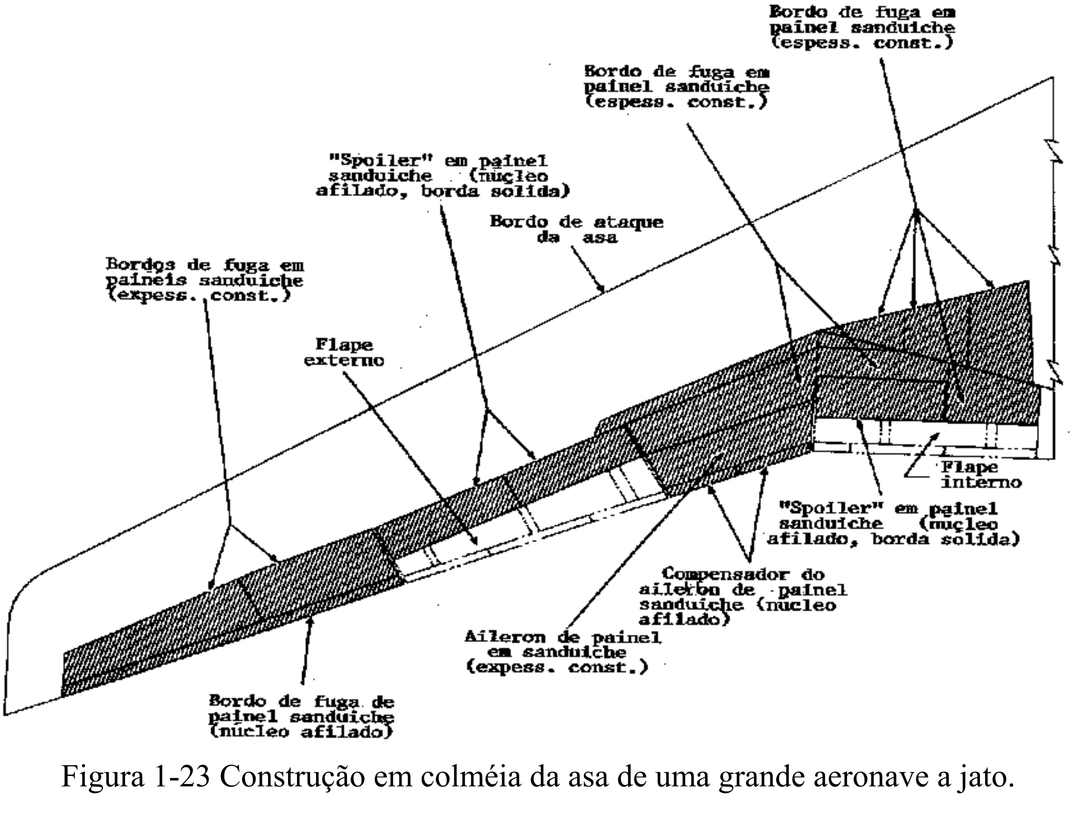

Bordo de fuga em painel sanduiche (espess. const.)
Bordo de fuga em painel sanduiche (espess. const.)
"Spoiler" em painel sanduiche (núcleo afilado, borda solida)
Bordo de ataque da asa
Bordos de fuga em painéis sanduiche (expess. const.)
Flape externo
Flape interno
"Spoiler" em painel sanduiche (núcleo afilado, borda solida)
Compensador do aileron de painel sanduiche (núcleo afilado)
Aileron de painel em sanduiche (expess. const.)
Bordo de fuga de painel sanduiche (núcleo afilado)

Figura 1-23 Construção em colméia da asa de uma grande aeronave a jato.

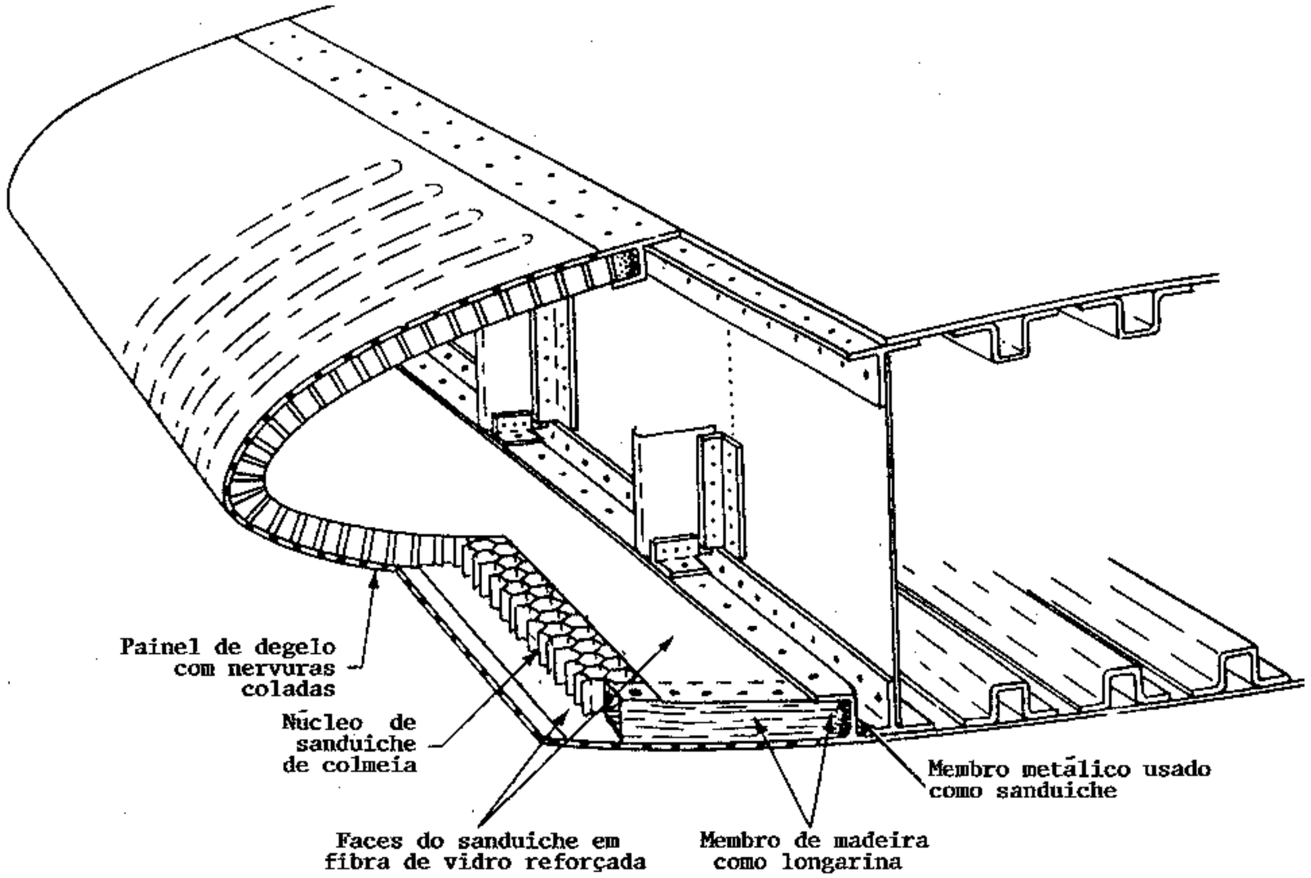

Painel de degelo
com nervuras
coladas
Núcleo de
sanduiche
de colmeia
Faces do sanduiche em
fibra de vidro reforçada
Membro de madeira
como longarina
Membro metálico usado
como sanduiche

Figura 1-24 Bordo de ataque com estrutura em sanduíche colada na longarina.

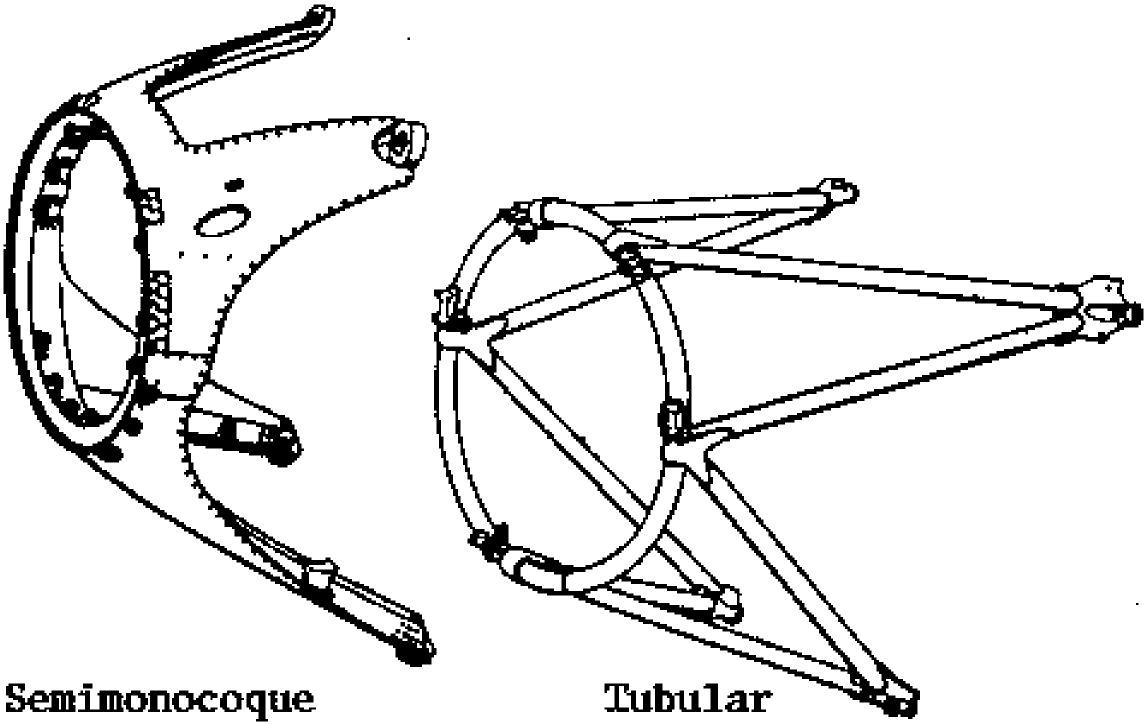

Semimonocoque
Tubular

Figura 1-25 Berços de motor semimonocoque e de tubos de aço soldados.

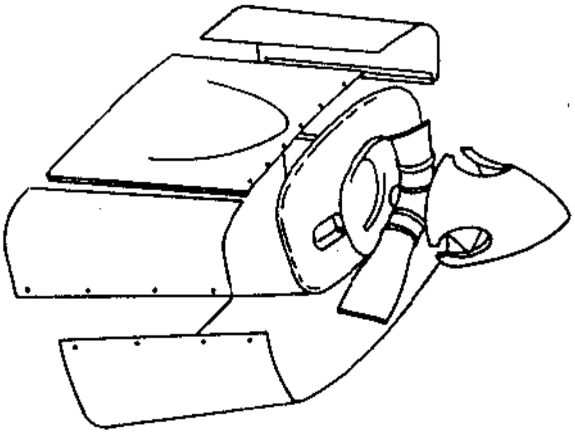


Figura 1-26 Carenagem para motor de cilindros horizontais opostos.

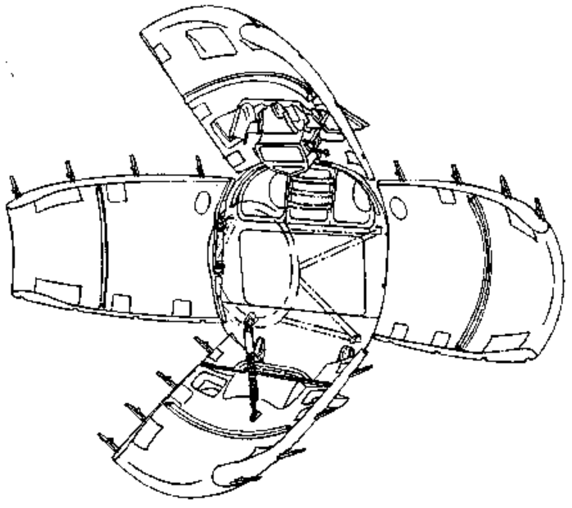


Figura 1-27 Carenagem de motor na posição aberta (tipo “casca de laranja”).

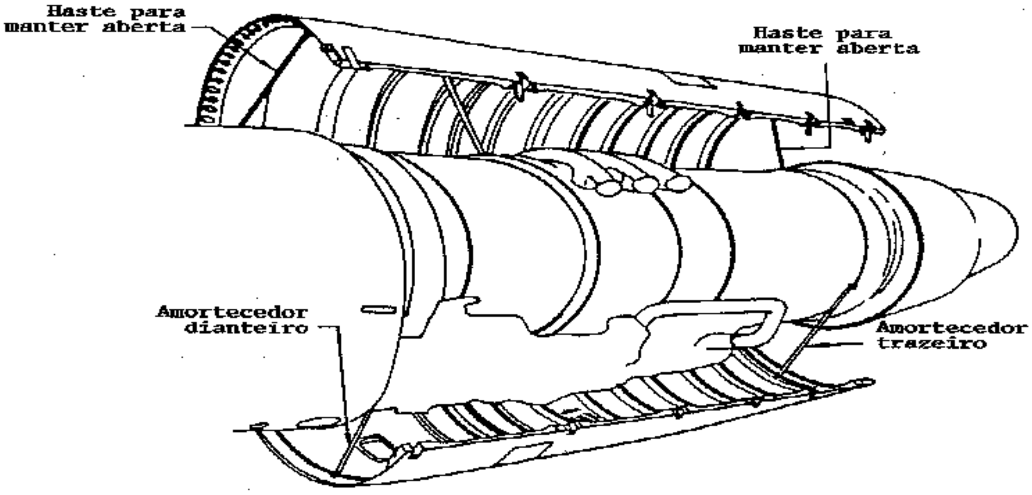


Figura 1-28 Carenagem de motor a jato com dobradiça lateral.

EMPENAGEM

A empenagem é também conhecida como seção de cauda, e na maioria das aeronaves consiste de um cone de cauda, superfícies fixas e superfícies móveis.

O cone de cauda serve para fechar e dar um acabamento aerodinâmico a maioria das fuselagens.

O cone é formado por membros estruturais (fig. 1-29) como os da fuselagem; contudo sua construção é geralmente mais leve, uma vez que recebe menor estresse que a fuselagem.

Outros componentes de uma típica empenagem são mais pesados que o cone de cauda.

São eles, as superfícies fixas que estabilizam a aeronave e as superfícies móveis que ajudam a direcionar o vôo da aeronave. As superfícies fixas são o estabilizador horizontal e o estabilizador vertical. As superfícies móveis são o leme e os profundores.

A fig. 1-30 mostra como as superfícies verticais são construídas, utilizando longarinas, nervuras, reforçadores e revestimento da mesma maneira que na asa.

O estresse em uma empenagem também é suportado como em uma asa. As cargas de flexão, torção e cisalhamento, criadas pelo ar, passam de um membro estrutural para o outro.

Cada membro absorve parte do estresse e passa o restante para os outros membros. A sobrecarga de estresse eventualmente alcança as longarinas, que transmitem-na à estrutura da fuselagem.

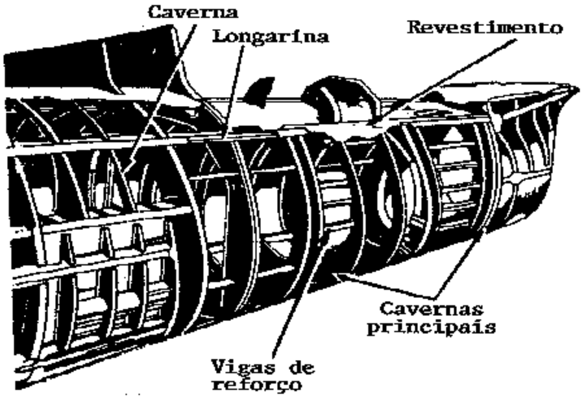


Figura 1-29 A fuselagem termina em um cone traseiro.

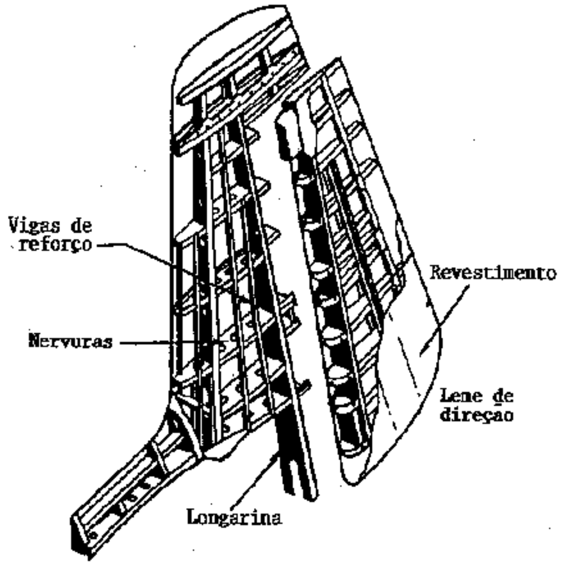


Figura 1-30 Características de construção do estabilizador vertical e do leme de direção.

SUPERFÍCIES DE CONTROLE DE VÔO

O controle direcional de uma aeronave de asa fixa ocorre ao redor dos eixos lateral, longitudinal e vertical, através das superfícies de controle de vôo. Esses dispositivos de controle são presos a dobradiças ou superfícies móveis, através das quais a atitude de uma aeronave é controlada durante decolagens, vôos e nos pousos. Elas geralmente são divididas em dois grandes grupos: as superfícies primárias ou principais e as superfícies auxiliares.

O grupo primário de superfícies de controle de vôo consiste de ailerons, profundores e lemes. Os ailerons são instalados no bordo de fuga das asas. Os profundores são instalados no bordo de fuga do estabilizador horizontal.

O leme é instalado no bordo de fuga do estabilizador vertical.

As superfícies primárias de controle são semelhantes em construção e variam em tamanho, forma e método de fixação. Quanto à construção, as superfícies de controle são semelhantes às asas, totalmente metálicas. Elas são geralmente construídas em liga de alumínio, com uma única longarina ou tubo de torque. As nervuras são presas à longarina nos bordos de fuga e ataque, e são unidas por uma tira de metal. As nervuras, em muitos casos, são feitas de chapas planas. Raramente são sólidas e, geralmente são estampadas no metal, com furos para reduzir o seu peso.

As superfícies de controle de algumas aeronaves antigas são recobertas de tela. Contudo, todas as aeronaves a jato possuem superfícies metálicas devido à maior necessidade de resistência.

As superfícies de controle previamente descritas podem ser consideradas convencionais, porém em algumas aeronaves, uma superfície de controle pode ter um duplo propósito. Por exemplo, um conjunto de comandos de vôo, os elevons, combinam as funções dos ailerons e dos profundores. Os flapeerons são ailerons que também agem como flapes. Uma seção horizontal de cauda móvel é uma superfície de controle que atua tanto como estabilizador horizontal quanto como profundor.

O grupo das superfícies de comando secundárias ou auxiliares consiste de superfícies como os compensadores, painéis de balanceamento, servo-compensadores, flapes, “spoilers” e dispositivos de bordo de ataque. Seu propósito é o de reduzir a força requerida para atuar os controles primários, fazer pequenas compensações e balancear a aeronave em vôo, reduzir a velocidade de pouso ou encurtar a corrida de pouso, e mudar a velocidade da aeronave em vôo.

Eles geralmente estão fixados, ou encaixados nos comandos primários de vôo.

Ailerons

Os ailerons são as superfícies primárias de controle em vôo que fazem parte da área total da asa. Eles se movem em um arco preestabelecido e são geralmente fixados por dobradiça à longarina do aileron ou à longarina traseira da asa. Os ailerons são operados por um movimento lateral do manche, ou pelo movimento de rotação do volante.

Numa configuração convencional, um aileron é articulado ao bordo de fuga de cada uma das asas. A fig. 1-31 mostra o formato e a localização dos ailerons típicos aplicados em aeronaves de pequeno porte, nos diversos tipos de ponta de asa.

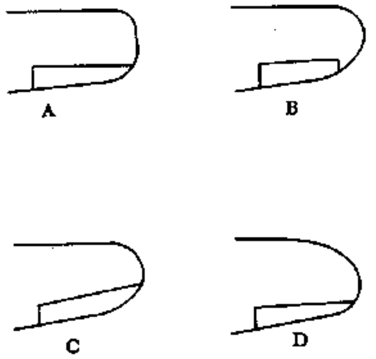


Figura 1-31 Localização do aileron nos diversos tipos de ponta de asa.

Os ailerons são interconectados no sistema de controle de forma que se movam simultaneamente em direções opostas. Quando um aileron move-se para aumentar a sustentação naquele lado da fuselagem, o aileron do lado oposto da fuselagem move-se para cima, para reduzir a sustentação em seu lado. Essas ações opostas resultam na maior produção de sustentação em um dos lados da fuselagem que no outro, resultando em um movimento controlado de rolamento devido a forças aerodinâmicas desiguais nas asas.

Uma vista lateral de uma nervura metálica típica de um aileron é mostrada na fig.1-32. O ponto de articulação desse tipo de aileron é atrás do bordo de ataque para melhorar a resposta sensitiva ao movimento dos controles. Os braços de atuação presos à longarina do aileron são alavancas às quais são ligados os cabos de comando.

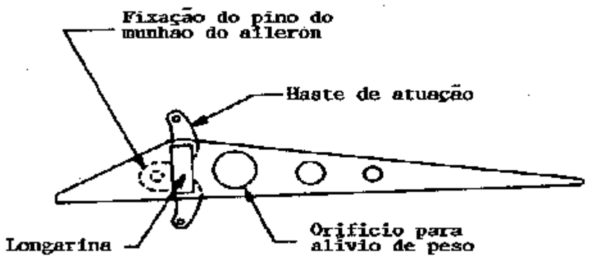

Fixação do pino do munhão do aileron
Haste de atuação
Longarina
Orifício para alívio de peso

Figura 1-32 Vista da nervura final do aileron.

As aeronaves de grande porte usam geralmente ailerons completamente metálicos, exceto quanto ao bordo de fuga, que pode ser de fibra de vidro, articulados à longarina traseira da asa em pelo menos quatro pontos. A figura 1-33 mostra diversos exemplos de instalações de aileron.

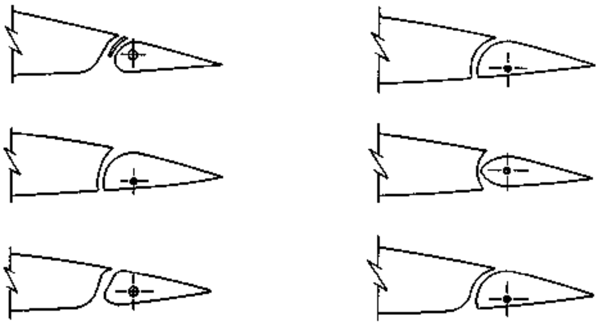


Figura 1-33 Diversas localizações da articulação dos ailerons.

Todas as superfícies de comando de grandes aeronaves a jato são mostradas na fig. 1-34.

Como ilustrado, cada asa possui dois ailerons, um montado na posição convencional na parte externa do bordo de fuga da asa, e outro conectado ao bordo de fuga da asa na seção central.

O complexo sistema de controle lateral das grandes aeronaves a jato é muito mais sofisticado que o tipo usado em aeronaves leves. Durante o vôo a baixa velocidade todas as superfícies de controle lateral operam para gerar estabilidade máxima. Isso inclui os quatro ailerons, flapes e “spoilers”.

No vôo a alta velocidade, os flapes são recolhidos e os ailerons externos são travados na posição neutra.

A maior parte da área do revestimento dos ailerons internos é constituída de painéis de colméia de alumínio.

As bordas expostas da colmeia são cobertas com selante e com o acabamento protetor. O bordo de ataque se afila e se estende à frente da linha de articulação do aileron.

Cada aileron interno é posicionado entre os flapes internos e externos, no bordo de fuga da asa. Os suportes da articulação do aileron, estendem-se para trás, e são fixados aos olhais de articulação do aileron para suportá-los.

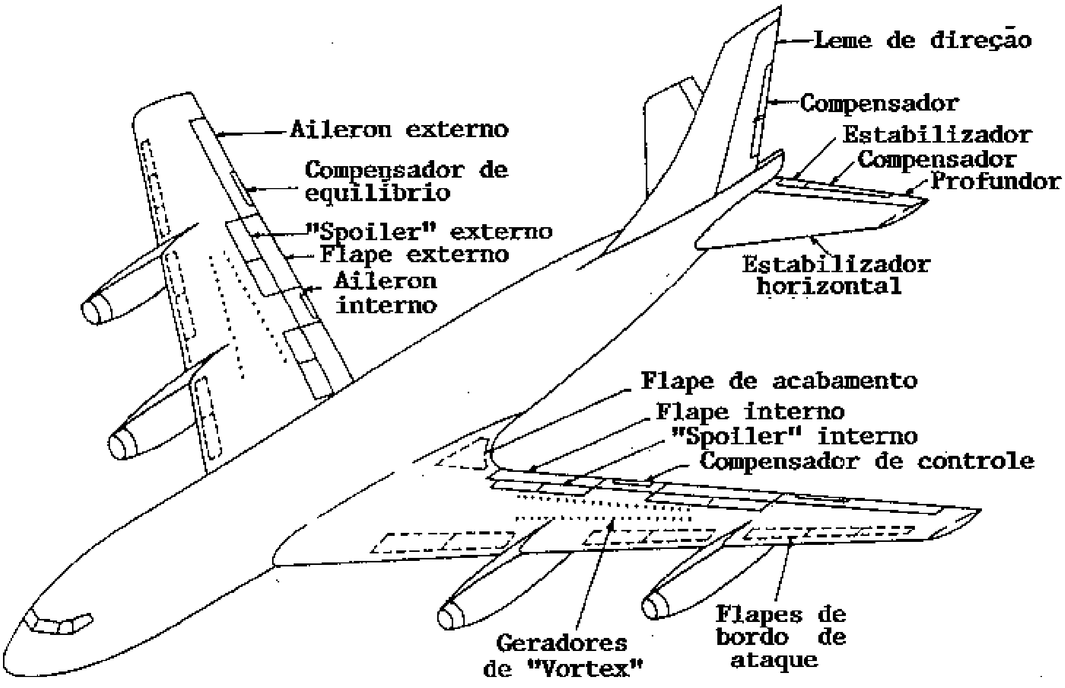

Leme de direção
Compensador
Estabilizador
Compensador
Profundor
Estabilizador horizontal
Aileron externo
Compensador de equilíbrio
"Spoiler" externo
Flape externo
Aileron interno
Flape de acabamento
Flape interno
"Spoiler" interno
Compensador de controle
Geradores de "Vortex"
Flapes de bordo de ataque

Figura 1-34 Superfícies de controle de uma grande aeronave a jato

Os ailerons externos consistem de uma longarina de nariz e de nervuras, recobertas com painéis de colmeia de alumínio. Uma dobradiça contínua presa à borda dianteira do nariz é encaixada de forma a coincidir com a bainha de um selo de tecido.

Os ailerons externos estão localizados no bordo de ataque da seção externa da asa. Os suportes da dobradiça estendem-se a partir da parte traseira da asa e são fixados à dobradiça do aileron, para suportá-lo. O nariz do aileron estende-se para uma câmara de balanceamento na asa e é fixado aos painéis de balanceamento.

Os painéis de balanceamento do aileron (fig. 1-35) reduzem a força necessária para posicionar e manter os ailerons em uma determinada posição. Os painéis de balanceamento podem ser feitos de revestimento em colmeia de alumínio com estrutura de alumínio, ou com revestimento de alumínio e reforçadores. A abertura entre o bordo de ataque do aileron e a estrutura da asa, gera um fluxo de ar controlado, necessário ao funcionamento dos painéis de balanceamento. Selos fixos aos painéis controlam a fuga do ar.

A força do ar que atua nos painéis de balanceamento (fig. 1-35) dependerá da posição do aileron. Quando os ailerons são movidos durante o vôo, cria-se uma pressão diferencial sobre os painéis de balanceamento. Essa pressão diferencial age nos painéis de balanceamento, numa direção que ajuda o movimento do aileron. Toda a força dos painéis de balanceamento não é requerida para pequenos ângulos de movimento dos ailerons, visto que o esforço necessário para girar os controles é pequeno. Uma sangria de ar controlada é progressivamente reduzida à medida que o ângulo de atuação dos ailerons é reduzido. Essa ação aumenta a pressão diferencial de ar sobre os painéis de balanceamento à medida que os ailerons se afastam da posição neutra. A carga crescente nos painéis de balanceamento contraria a carga crescente nos ailerons.

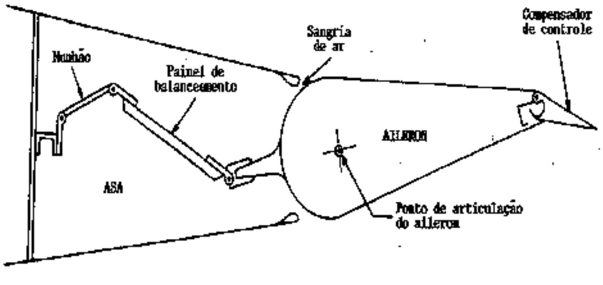

Compensador de controle
Sangria de ar
Munhão
Painel de balanceamento
AILERON
ASA
Ponto de articulação do aileron

Figura 1-35 Balanceamento do aileron.

Superfícies auxiliares das asas

Os ailerons são as superfícies primárias de vôo das asas. As superfícies auxiliares incluem os flapes de bordo de fuga, os flapes de bordo de ataque, os freios de velocidade, os "spoilers" e os "slats" de bordo de ataque. O número e o tipo de superfícies auxiliares em uma aeronave variam muito, dependendo do tipo e tamanho da aeronave.

Os flapes de asa são usados para dar uma sustentação extra à aeronave.

Eles reduzem a velocidade de pouso, encurtando assim a distância de pouso, para facilitar o pouso em áreas pequenas ou obstruídas, pois permite que o ângulo de planeio seja aumentado sem aumentar muito a velocidade de aproximação.

Além disso, o uso dos flapes durante a decolagem reduz a corrida de decolagem.

A maioria dos flapes são conectados às partes mais baixas do bordo de fuga da asa, entre os ailerons e a fuselagem. Os flapes de bordo de ataque também são usados, principalmente em grandes aeronaves que voam a alta velocidade.

Quando eles estão recolhidos, eles se encaixam nas asas e servem como parte do bordo de fuga da asa.

Quando eles estão baixados ou estendidos, pivoteiam nos pontos de articulação e formam um ângulo de aproximadamente 45º ou 50º com a corda aerodinâmica da asa. Isso aumenta a cambra da asa e muda o fluxo de ar gerando maior sustentação.

Alguns tipos comuns de flapes são mostrados na figura 1-36.

O flape simples (figura 1-36A) forma o bordo de fuga da asa quando recolhido. Ele possui tanto a superfície superior como a inferior do bordo de fuga da asa.

O flape vertical simples (fig. 1-36B) fica normalmente alinhado com a cambra inferior da asa.

Ele assemelha-se ao flape simples, exceto pelo fato de que a cambra superior da asa estende-se até o bordo de fuga do flape e não se move. Geralmente esse tipo de flape não passa de uma chapa de metal presa por uma grande dobradiça.

As aeronaves que requerem uma área alar extra para ajudar na sustentação, geralmente utilizam flapes deslizantes ou "Fowler" (figura 1-36C).

Esse sistema, tal como no flape ventral, guarda o flape alinhado com a cambra inferior da asa. Mas ao invés do flape simplesmente cair preso por um ponto de articulação, seu bordo de ataque é empurrado para trás por parafusos sem-fim. Essa atuação provoca um efeito normal do flape e, ao mesmo tempo, aumenta a área alar.

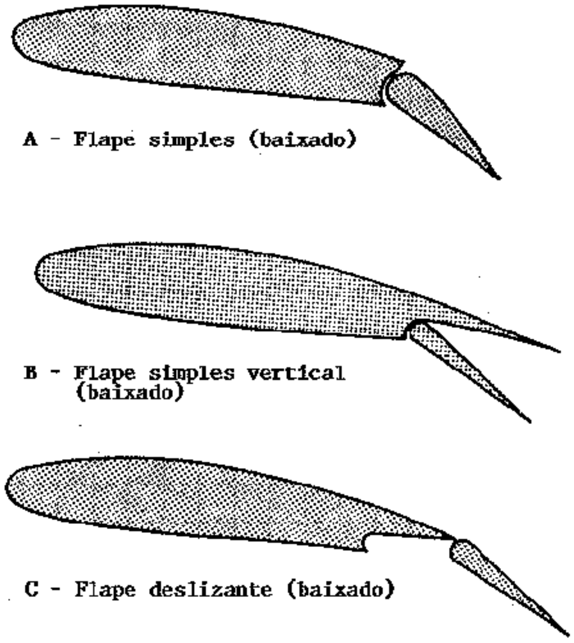

A - Flape simples (baixado)
B - Flape simples vertical (baixado)
C - Flape deslizante (baixado)

Figura 1-36 Flapes das asas.

A fig. 1-37 mostra um exemplo de flape deslizante, com três fendas, usado em algumas aeronaves de grande porte a jato. Esse tipo gera grande sustentação, tanto na decolagem como no pouso. Cada flape consiste de um flape dianteiro, um flape central e um traseiro. O comprimento da corda de cada flape se expande à medida que este é estendido, aumentando em muito a sua área. As fendas entre os flapes evitam o descolamento do fluxo de ar sobre a área.

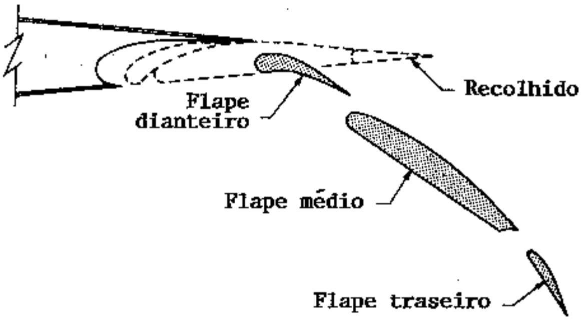


Figura 1-37 Flape deslizante com três fendas.

O flape de bordo de ataque (fig. 1-38) é semelhante em operação ao flape simples; ou seja, ele é articulado pelo lado inferior, e quando atuado, o bordo de ataque da asa estende-se para baixo para aumentar a cambra da asa. Os flapes de bordo de ataque são utilizados em conjunto com outros tipos.

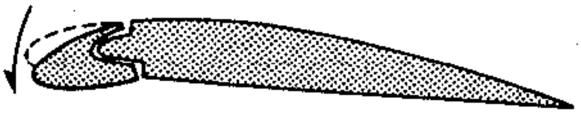


Figura 1-38 Seção em corte de um flape de bordo de ataque.

A fig. 1-34 mostra a localização dos flapes de bordo de ataque em uma aeronave multimotora de grande porte a jato. Os três flapes do tipo "KRUGER" estão instalados em cada uma das asas. Eles são peças de magnésio fundidas e torneadas com nervuras e reforçadores integrais. A armação de magnésio fundido de cada um é o principal componente estrutural, e consiste de uma seção reta oca, chamada de tubo de torque que estende-se a partir da seção reta na extremidade dianteira.

Cada flape de bordo de ataque possui três dobradiças tipo cotovelo (pescoço-de-ganso), presas a encaixes na parte fixa do bordo de ataque da asa, e há também uma carenagem para as articulações instalada no bordo de fuga de cada flape. A fig. 1-39 mostra um típico flape de bordo de ataque, recolhido com uma representação da posição estendida.

Os freios de velocidade, algumas vezes chamados flapes de mergulho, ou freios de mergulho servem para reduzir a velocidade de uma aeronave em vôo.

Esses freios são usados durante descidas íngremes ou durante a aproximação da pista para o pouso. Eles são fabricados em diferentes formas, e sua localização depende do desenho da aeronave e da finalidade dos freios.

Os painéis do freio podem localizar-se em certas partes da fuselagem ou sobre a superfície das asas.

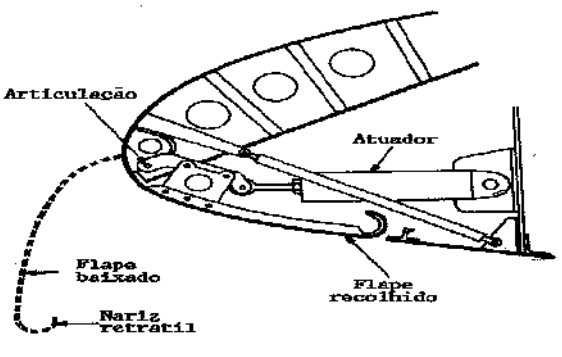


Figura 1-39 Flape de bordo de ataque.

.Na fuselagem eles são pequenos painéis que podem ser estendidos no fluxo de ar suave para gerar turbulência e arrasto.

Nas asas, os freios podem ser canais de múltiplas seções que se estendem sobre e sob a superfície das asas para romper o fluxo suave do ar.

Geralmente os freios de velocidade são controlados por interruptores elétricos e atuados por pressão hidráulica.

Outro tipo de freio aerodinâmico é uma combinação de “spoiler” e freio de velocidade. Uma combinação típica consiste de “spoilers” localizados na superfície superior das asas à frente dos ailerons.

Quando o operador quer operar tanto os freios de velocidade como os “spoilers”, ele pode diminuir a velocidade de vôo e também manter o controle lateral.

Os “spoilers” são superfícies auxiliares de controle de vôo, montados na superfície superior de cada asa, e operam em conjunto com os ailerons, no controle lateral.

A maioria dos sistemas de “spoilers” também pode ser estendido simetricamente para servir como freio de velocidade. Outros sistemas contêm “spoilers” de vôo e de solo separadamente.

A maioria dos ”spoilers” consiste de estruturas de colmeia coladas em um revestimento de alumínio.

São fixados às asas através de encaixes articulados que são colados aos painéis de “spoiler”.

Compensadores

Um dos mais simples e importantes dispositivos aauxiliadores do piloto de uma aeronave é o compensador montado nas superfícies de comando.

Apesar do compensador não tomar o lugar da superfície de comando, ele é fixado a uma superfície de controle móvel e facilita seu movimento ou o seu balanceamento.

Todas as aeronaves, com exceção de algumas muito leves, são equipadas com compensadores que podem ser operados da cabine de comando.

Os compensadores de algumas aeronaves são ajustáveis apenas no solo.

A fig. 1-40 mostra a localização de um típico compensador de leme.

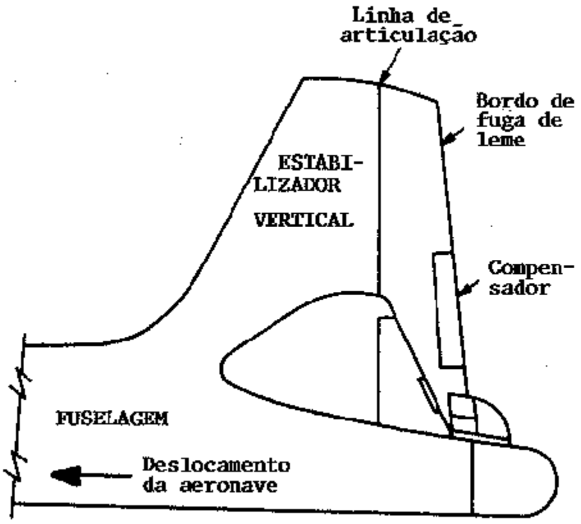


Figura 1-40 Localização típica do compensador de controle do leme de direção.

TREM DE POUSO

O trem de pouso é o conjunto que suporta o peso da aeronave no solo e durante o pouso. Ele possui amortecedores para absorver os impactos do pouso e do táxi. Através de um mecanismo de retração, o trem de pouso fixa-se à estrutura da aeronave e permite ao trem estender e retrair. A arranjo do trem de pouso geralmente tem uma roda de bequilha ou de nariz.

Os arranjos com trem de nariz geralmente são equipados com controle direcional, e possuem algum tipo de proteção na cauda, como um patim ou um amortecedor de impacto (bumper).

Através de rodas e pneus (ou esquis), o trem de pouso forma um apoio estável com o solo durante o pouso e o táxi. Os freios instalados no trem de pouso permitem que a aeronave seja desacelerada ou parada durante a movimentação no solo.

REVESTIMENTO E CARENAGENS

Quem dá o acabamento liso à aeronave é o revestimento. Ele cobre a fuselagem, as asas, a empenagem, as naceles e os compartimentos.

O material geralmente usado no revestimento de aeronaves é a chapa de liga de alumínio, com tratamento anti-corrosivo. Em quantidade limitada usa-se também o magnésio e o aço inoxidável. As espessuras dos revestimentos de uma unidade estrutural podem variar, dependendo da carga e dos estresses impostos dentro e através de toda a estrutura.

Para suavizar o fluxo de ar sobre os ângulos formados pelas asas e outras unidades estruturais com a fuselagem, utilizam-se painéis estampados ou arredondados. Estes painéis ou revestimentos são chamados de carenagens. As carenagens são muitas vezes chamadas de acabamento. Algumas carenagens são removíveis para dar acesso aos componentes da aeronave, enquanto outras são rebitadas à estrutura da aeronave.

PORTAS E JANELAS DE ACESSO E INSPEÇÃO

As portas de acesso permitem a entrada ou saída normal ou em emergência em uma aeronave. Elas também dão acesso aos pontos de lubrificação, abastecimento e dreno da aeronave. As janelas de inspeção dão acesso a partes particulares de uma aeronave durante sua inspeção ou manutenção. Podem ser presas por dobradiças ou totalmente romovíveis. Elas são mantidas na posição fechada através de garras e travas, parafusos, dispositivos de soltura rápida ou presilhas. As janelas de acesso removíveis geralmente possuem um número que também é pintado no compartimento que ela fecha; outras têm impresso o nome do compartimento respectivo.

ESTRUTURAS DE HELICÓPTERO

Tal como as fuselagens das aeronaves de asa fixa, as fuselagens de helicópteros podem ser formadas por uma treliça de tubos soldados ou alguma forma de construção monocoque.

Apesar de suas configurações de fuselagem variarem muito, a maioria das fuselagens de helicóptero utilizam membros estruturais semelhantes aos utilizados nas aeronaves de asas fixas.

Por exemplo, a maioria dos helicópteros possuem membros verticais como as paredes, falsas nervuras, anéis e cavernas. Eles também possuem membros longitudinais como vigas de reforço e longarinas.

Além disso, as placas de reforço, juntas e o revestimento, ajudam a manter os outros membros estruturais unidos.

As seções básicas de fuselagem e cone de cauda de um helicóptero típico são estruturas convencionais, metálicas e rebitadas incorporando paredes de liga de alumínio, vigas, canais e reforçadores.

Os painéis de revestimento que sofrem estresse podem ser lisos ou possuir rebordos. A parede de fogo e o compartimento do motor são geralmente de aço inoxidável. O cone de cauda é geralmente semi-monocoque com paredes modeladas em alumínio, com longarinas extrudadas e painéis de revestimento, ou de tubos de aço soldados.

Os componentes estruturais maiores de um tipo de helicóptero são mostrados na figura 1-41.

Os membros da cauda de um helicóptero variam muito, dependendo do tipo e do desenho. Neste caso, o estabilizador está montado em um pilone.

Em outros casos, o estabilizador pode estar montado no cone de cauda do helicóptero ou na fuselagem. Em ambos os casos, tanto o pilone como o estabilizador contém membros estruturais de liga de alumínio com revestimento de liga de magnésio.

Os tipos de membros estruturais usados, contudo, variam muito. Um pilone geralmente possui paredes, falsas nervuras, cavernas, vigas de reforço e vigas, fazendo-o uma mistura de membros estruturais de asa e de fuselagem. O estabilizador geralmente é construído como uma asa, com nervuras e longarinas.

Em um helicóptero típico, a cauda, a fuselagem, e o cone de cauda são construídos em revestimento metálico trabalhante e membros metálicos de reforço. A cabine do helicóptero é normalmente de "plexiglass", suportado por tubos de alumínio em alguns modelos.

A figura 1-42 mostra um grande helicóptero monomotor. Ele é totalmente metálico e é basicamente composto de duas seções maiores, a cabine e o cone de cauda.

A seção da cabine é também dividida entre o compartimento de passageiros e o compartimento de carga, são nesses compartimentos que são transportados tripulação, passageiros, carga, tanque de combustível e óleo, controles e grupo motopropulsor.

Em helicópteros multi-motores, os motores são geralmente montados em naceles diferentes.

Como mostrado na fig. 1-42, a seção traseira de um helicóptero típico, monomotor, consiste de um cone de cauda, a barbatana (FIN), alojamento da caixa de 45º, o pilone do rotor de cauda, e a carenagem do fim da cauda.

O cone de cauda é parafusado à traseira da seção dianteira e suporta o rotor de cauda, os eixos de acionamento do rotor de cauda, os estabilizadores, a caixa de 45º e o pilone do rotor de cauda. O cone de cauda é de liga de magnésio e liga de alumínio.

A caixa de 45º é parafusada ao fim do cone de cauda.

Os estabilizadores de compensação estendem-se em ambos os lados do cone de cauda à frente da caixa de 45º.

Os membros estruturais do helicóptero são para resistir a um determinado estresse. Um único membro da estrutura de um helicóptero pode estar sujeito a uma combinação de estresses.

Na maioria dos casos é preferível que os membros estruturais suportem esforços em suas extremidades que em suas laterais; ou seja, que seja submetido a tensão ou compressão ao invés de flexão.

Os membros são geralmente combinados a uma treliça que suporta as cargas finais. Em uma estrutura típica "Pratt", os membros longitudinais e verticais são tubos ou hastes capazes de suportar cargas de compressão.

Os membros não-estruturais que não são removíveis do helicóptero geralmente são fixados por rebitagem ou por soldagem a ponto.

A rebitagem é o método mais comum para a fixação de chapas de liga de alumínio. As partes que podem ser removidas da estrutura do helicóptero são geralmente parafusadas.

Usam-se materiais transparentes para os pára-brisas e janelas e, às vezes, para cobrir partes que requeiram uma inspeção visual freqüente.

Peças de plástico transparente e vidro laminado são os materiais mais comumente usados.

Alguns fabricantes de helicópteros utilizam fibra-de-vidro como um substituto leve para certas partes metálicas, uma vez que a fibra-de-vidro é de fácil manuseio, possui um alto índice resistência-peso, e resiste ao mofo, à corrosão e ao apodrecimento por fungos.

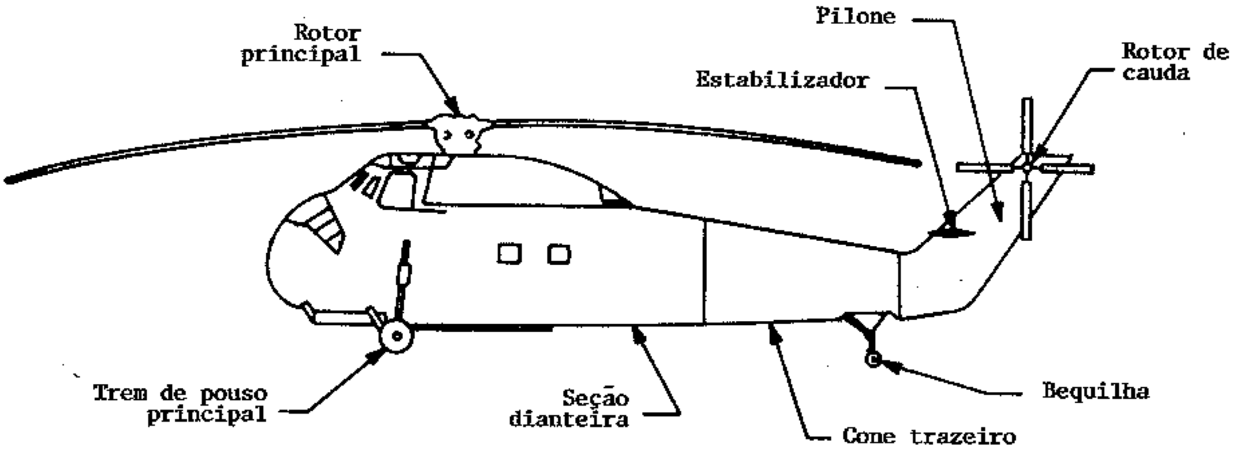

Rotor principal
Pilone
Estabilizador
Rotor de cauda
Trem de pouso principal
Seção dianteira
Bequilha
Cone trazeiro

Figura 1-41 Componentes estruturais de um helicóptero típico.

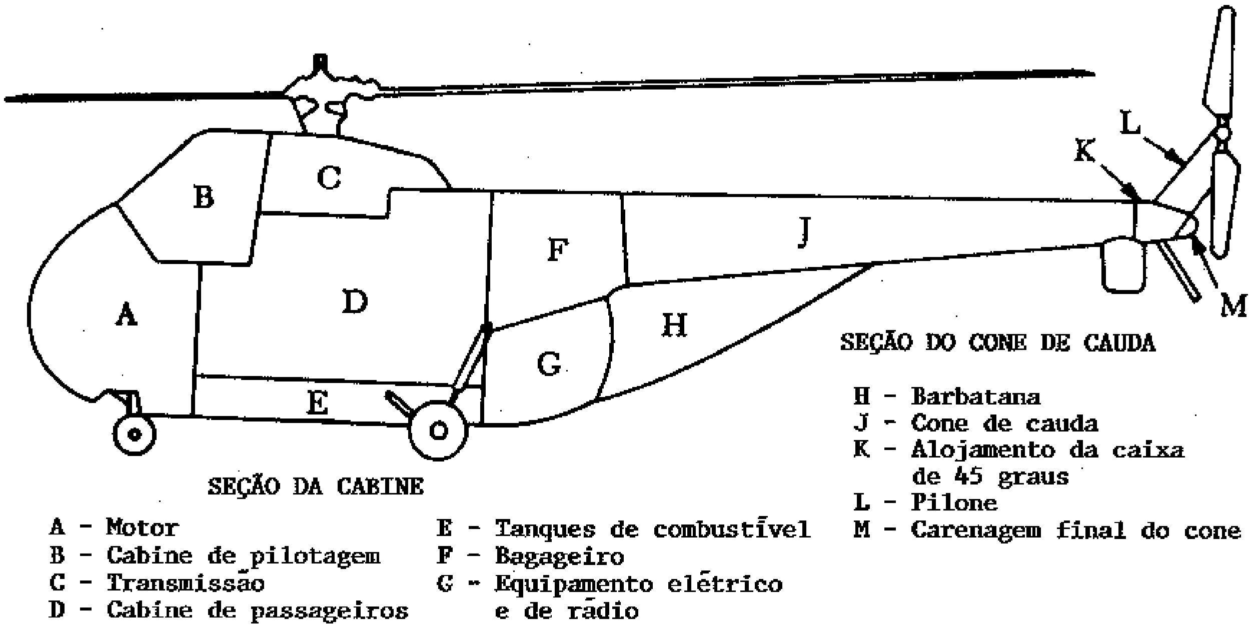

A
B
C
D
E
F
G
H
J
K
L
M
SEÇÃO DO CONE DE CAUDA
H - Barbatana
J - Cone de cauda
K - Alojamento da caixa de 45 graus
L - Pilone
M - Carenagem final do cone
SEÇÃO DA CABINE
A - Motor
B - Cabine de pilotagem
C - Transmissão
D - Cabine de passageiros
E - Tanques de combustível
F - Bagageiro
G - Equipamento elétrico e de rádio

Figura 1-42 Localização dos componentes principais de um helicóptero.

CAPÍTULO 2

MONTAGEM E ALINHAMENTO

INTRODUÇÃO

Este capítulo inclui tanto montagem quanto alinhamento, uma vez que estas matérias estão diretamente relacionadas. A montagem envolve o ajuntamento das diversas seções componentes de uma aeronave, tal como seção da asa, unidades da empenagem, naceles e trem de pouso.

Alinhamento é o ajuste final das diversas seções componentes para proporcionar a reação aerodinâmica apropriada.

Duas considerações importantes em toda operação de montagem e alinhamento são: (1) Operação apropriada do componente quanto à sua função mecânica e aerodinâmica; e (2) manutenção da integridade estrutural da aeronave, através da utilização correta dos materiais, estrutura e dispositivos de segurança.

Montagem e alinhamento impróprios, podem resultar na exposição de determinados componentes em esforços, maiores do que aqueles para as quais eles foram projetados.

A montagem e o alinhamento devem ser feitos de acordo com os requisitos prescritos pelo fabricante da aeronave. Esses procedimentos são geralmente detalhados no manual de serviço, ou no de manutenção aplicável.

A especificação da aeronave ou a folha de dados de especificação de tipo, também proporcionam informações valiosas relativas ao controle.

O alinhamento dos sistemas de controle varia com cada tipo de aeronave, dessa forma, seria impraticável definir um procedimento preciso. Contudo, alguns princípios aplicam-se para todas as situações, e isso será discutido nesse capítulo.

É essencial que as instruções do fabricante da aeronave sejam seguidas, quando ajustando uma aeronave.

SISTEMAS DE CONTROLE DE VÔO

São usados, geralmente, três tipos de sistemas de controle: (1) a cabo; (2) por meio de hastes rígidas; e (3) sistema de tubo de torque. O sistema de cabo é extremamente mais utilizado porque as deflexões da estrutura, na qual está instalado, não afetam a sua operação. Muitas aeronaves incorporam sistemas de controle que são a combinação de todos os três tipos.

Ferragens do sistema de controle de vôo, ligações mecânicas e mecanismos

Os sistemas que operam as superfícies de controle de vôo, ferragens, hastes de ligação e mecanismos. Esses itens conectam as superfícies de controle aos controles na cabine.

Incluídos nestes sistemas, estão conjuntos de cabos, guias de cabos, ligações, batentes ajustáveis, amortecedores das superfícies de controle ou mecanismos de travamento, unidades de reforço das superfícies de controle, atuadores operados por motores hidráulicos.

Conjunto de cabos

Um conjunto convencional de cabos consiste de cabo flexível, terminais (prensados na extremidade do cabo) para a ligação com outras unidades, e esticadores. As informações com relação a construção de cabos convencionais e as terminais de ligação, estão contidas no capítulo 6 do Livro de Matérias Básicas.

Em cada inspeção periódica regular, os cabos deverão ser inspecionados por quebra dos fios, passando um pano ao longo do seu comprimento e observando os pontos onde o pano fica preso.

Para uma cuidadosa inspeção do cabo, movemos a superfície de controle para o seu limite extremo de curso. Isto permitirá a verificação das áreas do cabo na polia, guia do cabo e do tambor.

Se a superfície do cabo estiver corroída, aliviamos a tensão do cabo. Então, cuidadosamente forçamos a abertura do cabo distorcendo os fios, e inspecionamos o interior. A corrosão no interior dos fios do cabo é considerada como falha, devendo o cabo ser substituído.

Se não existir corrosão interna, removemos a corrosão externa com um trapo de pano grosso ou escova de fibra. Nunca devemos usar escovas de fios metálicos ou solventes para limpar o cabo. Escovas metálicas incrustadas com diferentes partículas metálicas poderão causar futuras corrosões.

Solventes removem o lubrificante interno do cabo, resultando também em futuras corrosões. Após a limpeza cuidadosa do cabo flexível, aplicamos um composto preventivo da corrosão. Esse composto preserva e lubrifica o cabo.

A ruptura dos fios ocorre mais freqüentemente onde os cabos passam sobre polias, e através dos guias de cabo. Pontos típicos de quebra são mostrados na figura 2-1. Os cabos de controle e arames deverão ser substituídos, se estiverem desgastados, distorcidos, corroídos ou com outro tipo de avaria.

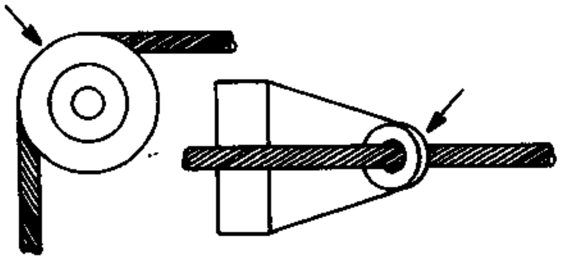


Fig. 2-1 Pontos típicos de ruptura de cabos.

Cabos revestidos são usados ao longo de algumas das grandes aeronaves. Eles consistem de cabos de aço flexível, convencionais, envolvidos em um tubo de alumínio prensado para prender o cabo em seu interior.

A construção do cabo revestido tem certas vantagens. As mudanças de tensão, devido a temperatura, são menores do que nos cabos convencionais. Além disso, a quantidade de estiramento em uma determinada carga, é menor do que a que ocorre com o cabo convencional.

Os cabos revestidos devem ser substituídos quando a cobertura estiver desgastada, expondo fios com desgaste, quebrada, ou apresentando pontos de desgaste causados pelo atrito com os pinos guia dos cabos.

Esticadores

O esticador é um dispositivo usado nos sistemas de cabo de controle para o ajuste da tensão do cabo. A parte central do esticador possui rosca esquerda interna em uma das extremidades e rosca direita, também interna, na outra extremidade. Quando ajustando a tensão do cabo, os terminais são aparafusados em igual distância, em ambos os finais, na parte central.

Após o ajuste do esticador, ele deverá ser frenado. Os métodos de frenagem de esticadores são abordados no capítulo 6 do Livro Matérias Básicas.

Conectores de cabo

Em adição aos esticadores, conectores de cabo são usados em alguns sistemas. Esses conectores permitem que um cabo seja rapidamente conectado ou desconectado de um sistema. A figura 2-2 ilustra um tipo usado de conector de cabo. Esse tipo é conectado ou desconectado pela compressão da mola.

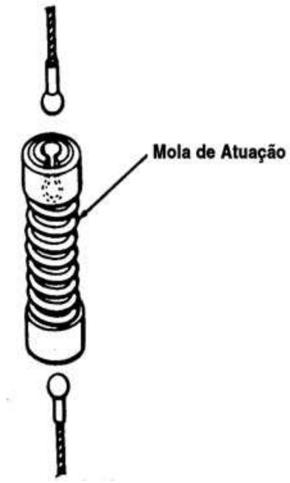


Figura 2-2 Conector de cabo do tipo mola.

SISTEMAS DE CONTROLE OPERADOS HIDRAULICAMENTE

Como a velocidade dos mais recentes modelos de aeronaves aumentou, a atuação dos controles em vôo ficou mais difícil. Logo, tornou-se evidente que o piloto necessitaria de auxílio para superar a resistência do fluxo de ar, para controlar o movimento.

Os compensadores de mola, que eram operados pelo sistema de controle convencional, eram movimentados para que o fluxo de ar sobre eles, realmente movessem as superfícies de controle primário. Isso era suficiente para as aeronaves que não operavam em uma gama de alta velocidade (250 - 300 m.p.h.).

Para as altas velocidades foi projetado um sistema de controle auxiliado por força hidráulica.

Sistema de cabos de comando convencionais, ou de hastes rígidas, estão instalados e fixados a um quadrante de transmissão de força. Com o sistema ativado, o esforço do piloto é usado para abrir as válvulas, direcionando, desse modo, o fluido hidráulico para os atuadores, os quais estão conectados às superfícies de controle por hastes de comando.

Os atuadores movem as superfícies de controle para a condição de vôo desejada. O esforço inverso move a superfície de controle na direção oposta.

Controle manual

O sistema de controle da cabine é conectado por uma haste através do quadrante de transmissão de força ao sistema de controle do atuador. Durante a operação manual, o esforço do piloto é transmitido ao manche, e, por ligações diretas a superfícies de controle. Os aviões que não têm sistema de reversão manual podem ter pelo menos três fontes de força hidráulica: principal, secundária (standby) e auxiliar. Alguns ou todos os controles primários podem ser operados por esses sistemas.

Trava dos comandos

Um came no eixo do quadrante de controle encaixa em um rolete, sobre pressão de mola, para neutralizar os controles com o sistema hidráulico desligado (aeronave estacionada).

A pressão é bloqueada nos atuadores e desde que os controles estejam neutralizados pelo came e rolete, nenhum movimento das superfícies de controle será permitido.

GUIAS DOS CABOS

Os guias dos cabos (figuras 2-3) consistem primariamente de guias, selos de pressurização, e polias.

Um guia de cabo pode ser feito de material não metálico, tal como o FENOL, ou um material metálico macio como o alumínio. Os guias envolvem o cabo na sua passagem por orifícios em paredes, ou qualquer outra parte metálica. Eles são usados para guiar os cabos em linha reta, através, ou entre partes estruturais da aeronave. Os guias nunca alteram o alinhamento do cabo mais do que 3º da linha reta.

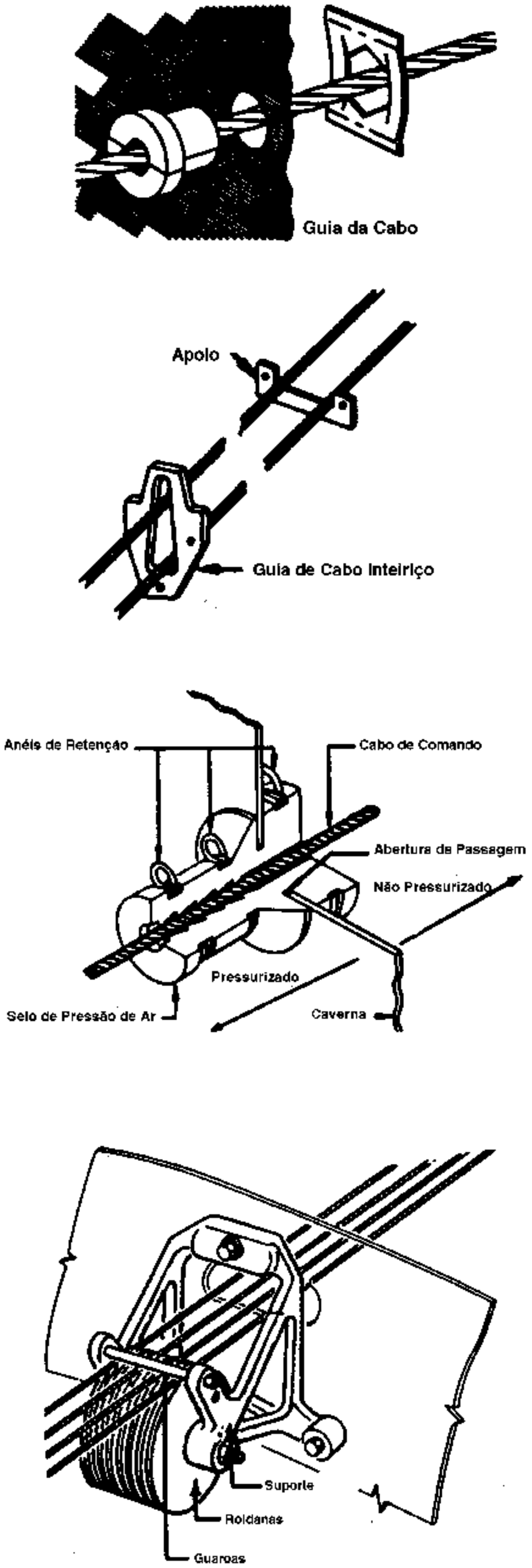


Fig. 2-3 Guias dos cabos de comando.

Selos de pressão estão instalados onde os cabos (ou hastes) se movem através das cavernas de pressão.O selo agarra fortemente o bastante para evitar perda de pressão de ar, mas não para impedir o movimento do cabo.

Os selos de pressão devem ser inspecionados em intervalos regulares, para determinar que os anéis de retenção estão no lugar. Se um anel de retenção soltar-se, ele pode escorregar ao longo do cabo e causar emperramento de uma roldana.

Roldanas são usadas para guiar os cabos e também para mudar a direção do movimento do cabo.

Os rolamentos das roldanas são selados, e não necessitam de outra lubrificação senão aquela feita na fabricação. Braçadeiras presas à estrutura da aeronave suportam as roldanas. Os cabos que passam sobre as roldanas são mantidos no lugar por guardas bem ajustadas para prevenir emperramento ou que os cabos escapem quando afrouxarem, devido às variações da temperatura.

LIGAÇÕES MECÂNICAS

Várias ligações mecânicas conectam os comandos da cabine com os cabos e as superfícies de controle.

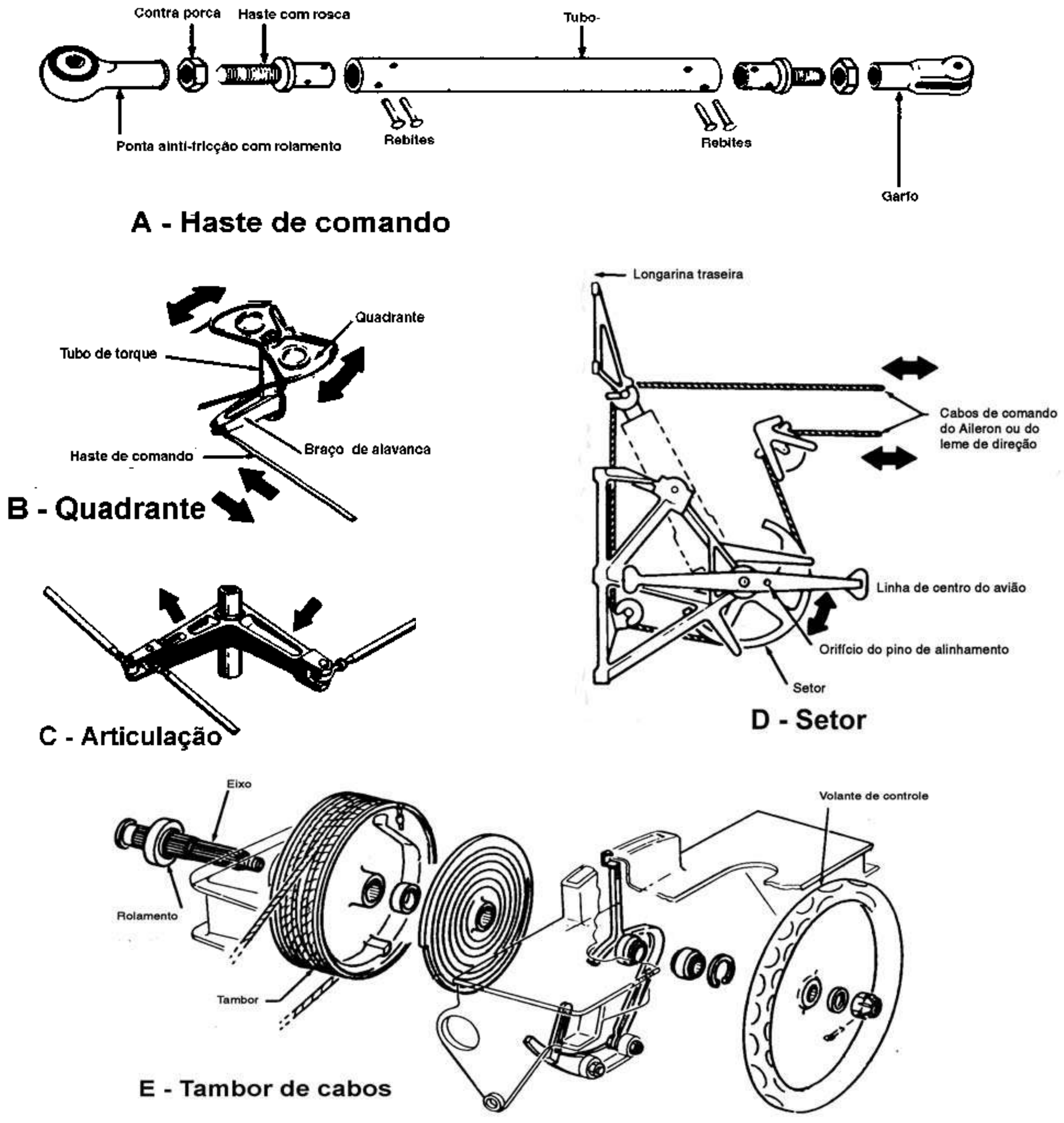

Contra porca
Haste com rosca
Tubo
Ponta ainti-fricção com rolamento
Rebites
Rebites
Garfo
A - Haste de comando
Quadrante
Tubo de torque
Braço de alavanca
Haste de comando
B - Quadrante
C - Articulação
Longarina traseira
Cabos de comando do Aileron ou do leme de direção
Linha de centro do avião
Orifício do pino de alinhamento
Setor
D - Setor
Eixo
Rolamento
Tambor
Volante de controle
E - Tambor de cabos

Figura 2-4 Ligações mecânicas dos controles de vôo.

Qualquer desses mecanismos transmite movimento, ou, mudança de movimento, do sistema de comando. A ligação consiste primariamente de hastes de comando (puxa-empurra), tubos de torque, quadrantes, setores, articulações e tambores.

Hastes de comando são usadas como conexões nos sistemas de comando de vôo, para dar um movimento de puxa-empurra. Elas podem ser ajustadas por um ou ambos os terminais. A figura 2-4 A, mostra as partes de uma haste de comando. Observe que ela consiste de um tubo com roscas nas pontas e uma haste ajustável antifricção, ou haste com esticador, fixa em cada extremidade do tubo. A haste, ou esticador, permite a fixação do tubo às partes do sistema de comando de vôo. A contra-porca, quando apertada, previne que a haste ou esticador afrouxem.

As hastes de comando devem estar perfeitamente retas, a menos que projetadas para serem de outra maneira, quando estiverem instaladas.

O braço articulado a que elas estão fixadas, deve ser checado quanto a liberdade de movimento, antes e depois de ser fixado às hastes de comando.

O conjunto como um todo deve ser checado para o correto alinhamento. Quando a haste é ajustada com os rolamentos de alinhamento próprio, o movimento de livre rotação das hastes deve ser obtido em todas as posições.

É possível que as hastes fixadas com os rolamentos venham a desconectarem-se, por causa da fixação que retém a pista das esferas na haste.

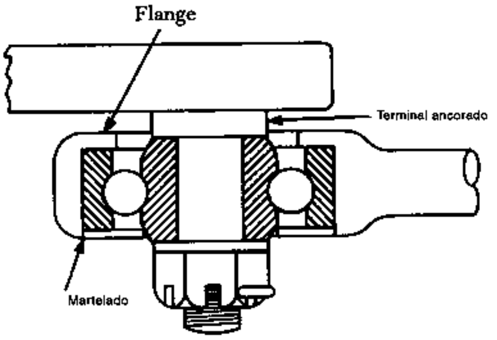


Figura 2 -5 Flange da haste interposto entre a pista do rolamento e o terminal do parafuso.

Isso pode ser evitado através da instalação de hastes de comando, de forma que o flange da haste seja interposto entre a pista das esferas e o terminal ancorado do pino de fixação, ou parafuso, como mostrado na figura 2 - 5.

Outra alternativa é colocar uma arruela, de diâmetro maior do que o furo no flange, sob a porca de retenção na extremidade do pino ou do parafuso de fixação.

TUBOS DE TORQUE

Quando é necessário um movimento angular ou de torção no sistema de comando, um tubo de torque é instalado. A vista "B" da figura 2-4 mostra como um tubo de torque é usado para transmitir movimento em direções opostas.

Quadrantes, articulações, setores e tambores mudam a direção do movimento e transmitem movimento a peças, tais como hastes de comando, cabos e tubos de torque. O quadrante mostrado na figura 2-4B é típico de conexões de sistema de comando de vôo usado por vários fabricantes. As figuras 2-4C e 2-4D ilustram uma articulação e um setor. A vista "E" ilustra um tambor de cabos. Os tambores de cabos são usados primariamente em sistemas de compensação. Como a roda de comando de compensação é movida no sentido do relógio, ou no sentido contrário ao do relógio, o tambor enrola ou desenrola para atuar os cabos do compensador.

BATENTES

Batentes ajustáveis ou não (o que o caso requeira) são usados para limitar o percurso ou curso de movimento dos ailerons, profundores e leme.

Normalmente existem dois jogos de batentes para cada uma das três superfícies de comando principais, sendo um jogo localizado na superfície de comando, ou nos cilindros amortecedores, ou como batentes estruturais (figura 2-6), e outro no comando da cabine. Qualquer destes pode servir como real limite de parada. Contudo, aqueles situados nas superfícies de controle, normalmente realizam esta função.

Os outros batentes normalmente não se tocam, mas são ajustados para uma folga definitiva quando a superfície de comando está totalmente estendida de seu curso.

Estes funcionam como batentes de sobrepujamento para prevenir que os cabos estiquem e danifiquem o sistema de comando, durante manobras violentas.

Quando da montagem dos sistemas de controle, consultamos o Manual de Manutenção aplicável, para a seqüência dos passos de ajuste destes batentes, para limitar o percurso da superfície de controle.

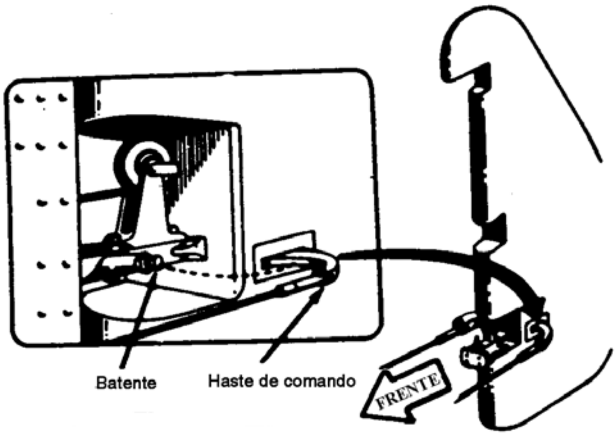


Fig. 2-6 Batente ajustável do leme de direção.

AMORTECEDORES DE SUPERFÍCIES DE CONTROLE E EQUIPAMENTOS PARA TRAVAMENTO

Vários tipos de equipamentos são usados para travar as superfícies de controle, quando a aeronave está parqueada ou ancorada. Equipamentos para travamento previnem danos às superfícies de controle e suas conexões dos ventos, em alta velocidade ou em rajadas. Os equipamentos comuns que estão em uso são: freio de trava interno (freio de setor) e êmbolo atuado por mola e travas externas das superfícies de controle.

Equipamentos para travamento interno

O equipamento para travamento interno é usado para segurar os ailerons, leme e profundor em suas posições neutras.

O equipamento para travamento é usualmente operado através de um sistema de cabos por um êmbolo atuado por mola (pino) que encaixa em um furo na conexão mecânica da superfície de controle.

A mola conectada ao pino força-o de volta à posição destravada quando a alavanca de comando na cabine for colocada na posição "destravada". Um tarugo excêntrico é usado em alguns outros tipos de aeronaves para travar as superfícies de controle.

Os sistemas de travamento de superfície de comando são usualmente projetados de tal forma, que as manetes não podem ser avançadas até as superfícies de controle estarem destravadas. Isso previne decolagem com as superfícies de controle na posição travada.

Uma típica trava de comando para pequenas aeronaves consiste de um tubo de metal, que é instalado para travar a roda de comando, e os pedais do leme a um ponto de fixação na cabine. Desse tipo, é o sistema ilustrado na figura 2-7.

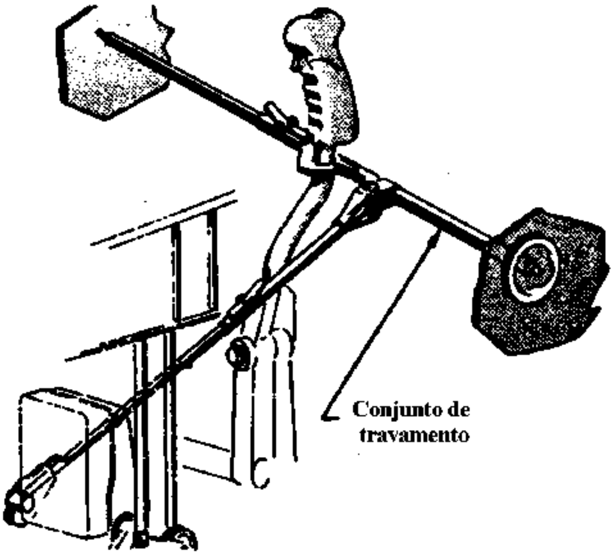


Fig. 2-7 Conjunto típico de trava de comandos para pequenas aeronaves.

Amortecedores de superfícies de controle

Unidades de reforço hidráulico são usadas em algumas aeronaves para mover as superfícies de controle. As superfícies são usualmente protegidas das rajadas de vento através de amortecedores incorporados às unidades de reforço.

Em algumas aeronaves, um cilindro amortecedor auxiliar é conectado diretamente à superfície para fornecer proteção.

Os amortecedores controlam hidraulicamente ou amortecem o movimento da superfície de controle, quando a aeronave está parqueada. Isto previne que as rajadas de vento façam com que as superfícies de controle batam violentamente entre os seus batentes e possivelmente provoquem danos.

Travas externas das superfícies de controle

São travas com o formato de blocos de madeira canelada. Os canais dos blocos encaixam-se em aberturas entre as superfícies de comando e a estrutura da aeronave, travando as superfícies na posição neutra.

Quando não estão em uso, essas travas ficam estocadas dentro da aeronave.

Reguladores de tensão dos cabos

Reguladores de tensão dos cabos são usados em alguns sistemas de controle de vôo, porque existe uma considerável diferença na expansão da temperatura entre a estrutura de alumínio das aeronaves, e os cabos de aço de controle.

Algumas das grandes aeronaves incorporam reguladores de tensão nos sistemas de cabos de controle para manterem, automaticamente uma desejada tensão nos cabos. A unidade consiste de uma mola de compressão e um mecanismo de travamento, o qual permite que a mola corrija a tensão do sistema somente quando o sistema de cabos estiver em neutro.

AJUSTANDO A AERONAVE

As superfícies de controle devem moverse em uma certa distância da posição neutra. Estes movimentos devem se sincronizados com os movimentos dos controles da cabine.O sistema de controles de vôo deve ser ajustado para que estas condições possam ser obtidas.

De um modo geral, a ajustagem consiste no seguinte:

1. Posicionamento do sistema de controles de vôo em neutro, e temporariamente, travado por meio de pinos de trava ou blocos; e

2. Ajustagem do curso das superfícies, tensão dos cabos de comando, hastes de ligação, e ajustagem dos batentes para as especificações dos fabricantes das aeronaves.

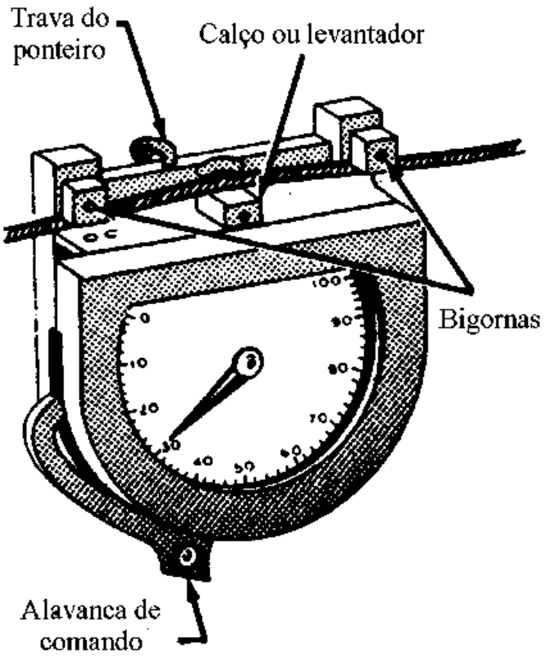
Quando ajustando os sistemas de controles de vôo, são necessários diversos equipamentos de regulagem. Esses equipamentos consistem principalmente de tensiômetros, cartas de regulagem de tensão de cabos, transferidores, acessórios de regulagem, gabaritos de contorno e réguas.

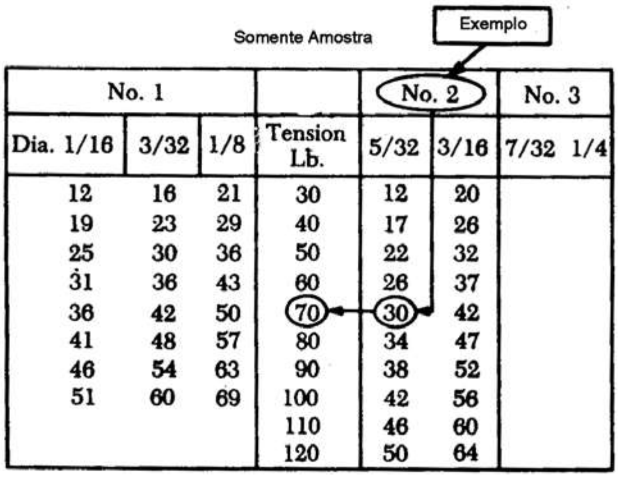
Medição da tensão dos cabos

Para determinar a quantidade de tensão de um cabo de comando, é usado um tensiômetro. Quando sujeito a uma correta manutenção, um tensiômetro tem uma precisão de 98%.

A tensão do cabo é determinada pela quantidade medida de força, necessária para estica-lo entre dois blocos de aço endurecido, chamados de bigornas. Um levantador, ou calço, é pressionado contra o cabo, forçando-o a um afastamento. Diversos fabricantes produzem uma variedade de tensiômetros, sendo cada tipo destinado a uma diferente espécie de cabo, medida de cabos, ou diferentes tensões.

Um tipo de tensiômetro é ilustrado na figura 2-8.




Somente Amostra
Exemplo

No. 1				No. 2		No. 3	
Dia. 1/16	3/32	1/8	Tension Lb.	5/32	3/16	7/32	1/4
12	16	21	30	12	20		
19	23	29	40	17	26		
25	30	36	50	22	32		
31	36	43	60	26	37		
36	42	50	70	30	42		
41	48	57	80	34	47		
46	54	63	90	38	52		
51	60	69	100	42	56		
			110	46	60		
			120	50	64		

Figura 2-8 Tensiômetro.

Com a alavanca de comando afastada, colocamos o cabo a ser testado, sob as duas bigornas. Então, apertamos a alavanca (movendo-a para cima). Esse movimento da alavanca empurra para cima o levantador, o qual empurra o cabo, forçando-o contra as bigornas. A força necessária para isso é indicada pelo ponteiro no mostrador. Como o exemplo da tabela apresentada abaixo, diferentes levantadores numerados são usados com as diferentes medidas de cabos.

Cada levantador possui um número de identificação e pode ser facilmente inserido no tensiômetro.

Além disso, cada tensiômetro tem uma tabela de calibração (figura 2-8), a qual é usada para converter a leitura do dial em libras (a tabela de calibração é muito semelhante a carta exemplo mostrada abaixo na ilustração). A xleitura do dial é convertida em libras de tensão do seguinte modo: usando o levantador nº 2 (figura 2-8) para medir a tensão de um cabo de 5/32 de polegada de diâmetro, uma leitura de "30" é obtida.

A verdadeira tensão (ver a tabela de calibração) do cabo é de 70 libras. Observando a carta, notamos também, que um levantador nº 1 é usado com os cabos de 1/16, 3/32 e 1/8 de polegada. Como o tensiômetro não foi projetado para o uso em cabos de 7/32 ou de 1/4 de polegada, nenhum valor é mostrado na coluna nº 3 da carta.

Quando tomando uma leitura, poderá haver dificuldade em ver o dial, devido à posição do tensiômetro no cabo. Por este motivo, o tensiômetro possui uma trava para o ponteiro. Empurrando essa trava, o ponteiro ficará travado, indicando a última leitura. O tensiômetro poderá, então, ser removido, e a leitura da tensão ser feita em melhor posição. Após a leitura, destravamos o ponteiro, que retornará a zero.

As cartas de regulagem da tensão de cabos (figura 2-8), são ferramentas gráficas, usadas para compensar as variações de temperatura. Elas são usadas, quando for necessário estabelecer a tensão de cabos dos sistemas de controles de vôo, sistemas de trem de pouso, ou qualquer outro sistema operado por cabos.

Para usar a carta, determinamos a medida do cabo que deve ser ajustado e a temperatura do ar ambiente. Por exemplo, suponhamos que o cabo seja de 1/8 de polegada de diâmetro, e que é um cabo 7x19 (cabo com 7 pernas de 19 fios), e a temperatura ambiente é de aproximadamente 25º C (85º F).

Seguimos a linha de 85º F até o ponto em que ela intercepta a curva de 1/8 de polegada (medida do cabo). Estendemos uma linha horizontal, do ponto de intercessão até o ponto extremo à direita da carta. O valor neste ponto indica a tensão (carga de regulagem em libras) a ser aplicada no cabo. A tensão para este exemplo é de 70 libras.

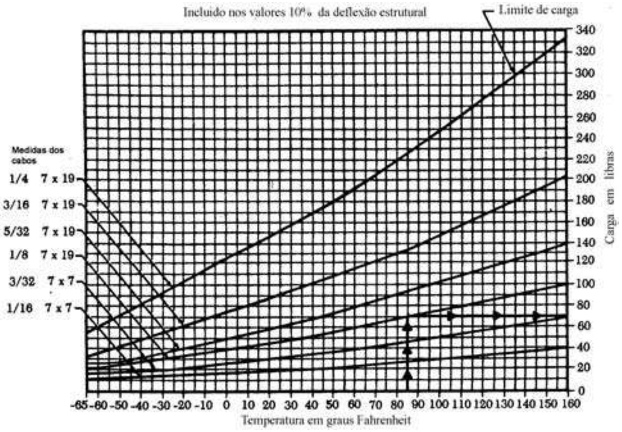
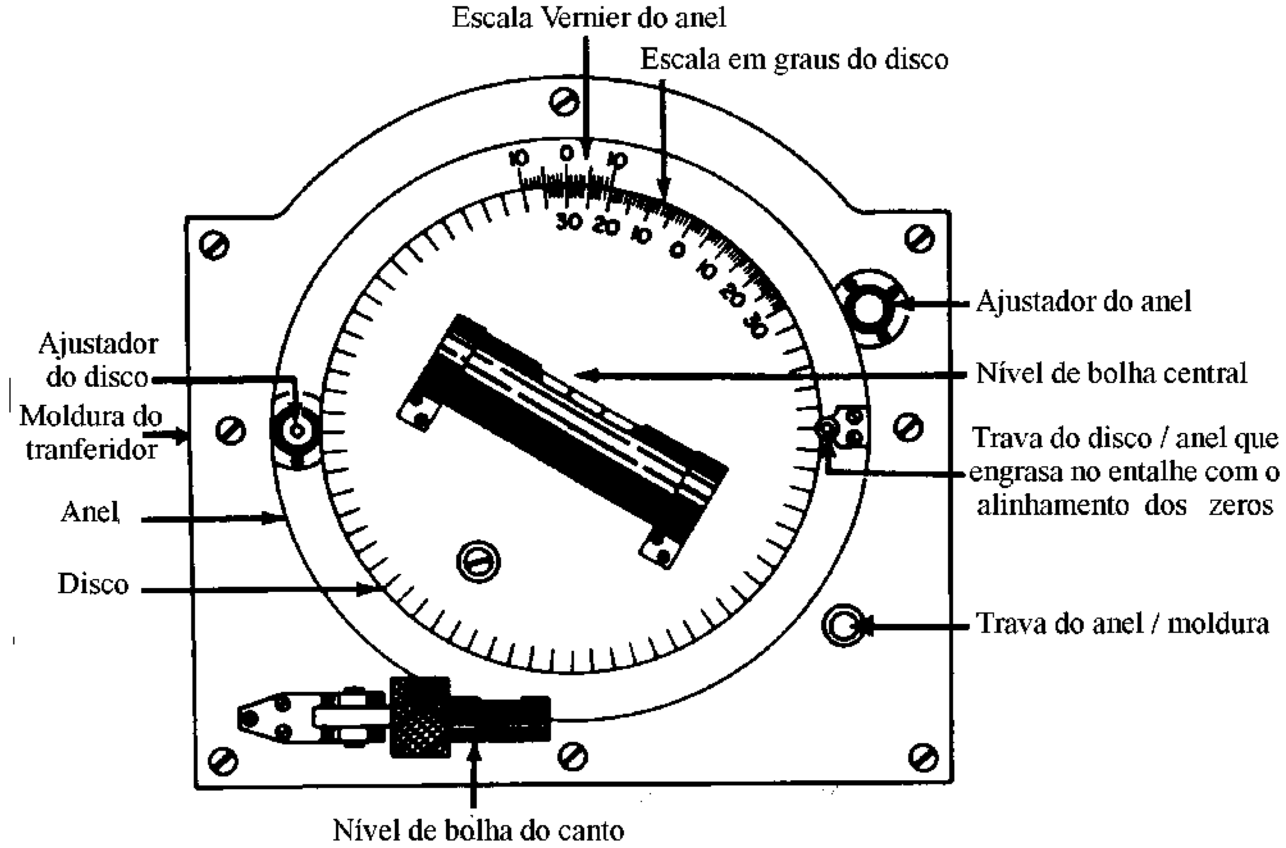


Figura 2-9 Tabela típica de ajustagem de cabos.

Medição da amplitude das superfícies de comando

As ferramentas de medição da amplitude das superfícies, primariamente inclui transferidores, gabaritos de contorno, réguas e moldes para ajuste. Essas ferramentas são usadas na regulagem dos sistemas de controle dos comandos de vôo para assegurar que o desejado deslocamento será obtido.

Os transferidores são ferramentas para medir ângulos em graus. Vários tipos de transferidores são usados para determinar a amplitude das superfícies dos comandos de vôo. Um transferidor que pode ser usado para medir aileron, leme de profundidade, ângulo de deslocamento do flape, é o transferidor universal de hélice. Esse transferidor (figura 2-10) é montado em uma moldura, um disco, um anel e dois níveis de bolhas de ar. O disco e o anel rodam independentemente um do outro e da moldura (o nível do canto é usado para posicionar a moldura verticalmente quando medindo ângulo das pás de hélice). O nível do centro é usado para posicionar quando medindo o deslocamento da superfície de controle.


Escala Vernier do anel
Escala em graus do disco
10 0 10
30 20 10 0 10 20 30
Ajustador do anel
Nível de bolha central
Trava do disco / anel que engrasa no entalhe com o alinhamento dos zeros
Trava do anel / moldura
Nível de bolha do canto
Ajustador do disco
Moldura do tranferidor
Anel
Disco

Com a trava disco/anel no entalhe, girar o ajustador do disco até o travamento com o anel;

1. Mover a superfície de controle para a posição neutra. Colocar o transferidor sobre a superfície de controle e girar o ajustador do anel até que a bolha do nível esteja centralizada (o anel deve estar destravado da moldura do transferidor);
2. Travar o anel na moldura do transferidor utilizando a trava anel/moldura;
3. Mover a superfície de controle até o seu limite de movimento;
4. Destravar o disco do anel utilizando a trava disco/anel;
5. Girar o ajustador de disco até a centralização da bolha do nível central;
6. Ler a amplitude da superfície de controle em graus no disco e em décimos de graus na escala Vernier.

Figura 2-10 Usando o transferidor universal de hélices para medir o curso das superfícies de controle

A trava do disco / anel é usada para assegurar que o zero do anel na escala Vernier e o zero do disco em graus estão alinhados.

A trava do anel na moldura não permite que o anel se mova quando o disco estiver em movimento.

Notamos que eles saem de um ponto e avançam em direções opostas.

A escala Vernier do anel é graduada com marcação dupla de 0 - 10.

O procedimento para uso e operação do transferidor no controle de medida da amplitude das superfícies de controle é mostrado na figura 2-10.

Gabaritos e moldes

Moldes e gabaritos são ferramentas especiais (de precisão) designadas pelo fabricante para medir e controlar o deslocamento de superfícies. Marcando o gabarito ou o molde, assegura-se o controle da amplitude da superfície.

Réguas

Muitas vezes o fabricante da aeronave dá o valor do deslocamento de um particular controle de superfície em graus e polegadas.

Se o deslocamento for em polegadas, a régua pode ser usada para medir o deslocamento da superfície.

VERIFICAÇÃO DO AJUSTE

O objetivo desta seção é explanar os métodos de verificação do alinhamento, relativo ao ajuste dos componentes estruturais principais da aeronave. Não é intenção que estes procedimentos sejam exatamente aplicáveis a uma aeronave em particular. Quando ajustando uma aeronave, sempre os procedimentos e métodos devem ser especificados pelo fabricante da aeronave.

Alinhamento estrutural

A posição ou o ângulo dos componentes da estrutura principal é relacionado com a linha de referência longitudinal, paralela à linha central da aeronave e a uma linha de referência lateral, paralela a linha que liga as pontas das asas.

Antes de verificar a posição ou o ângulo dos componentes principais, a aeronave deve estar nivelada.

As aeronaves pequenas geralmente têm fixos cavilhas ou blocos, conectados a fuselagem, paralelos ou coincidentes com as linhas de referência.

Um nível d'água e uma prancha reta são apoiados nas cavilhas ou blocos, para a verificação do nível da aeronave. Esse método de verificação de nível da aeronave, também é aplicável nas aeronaves de grande porte.

Entretanto, o método da grade é algumas vezes usado em grandes aeronaves.

A placa de grade (figura 2-11) é fixada no piso da aeronave ou suporte da estrutura, um fio de prumo é suspenso de uma posição pré-determinada no teto da aeronave sobre a placa de grade.

O ajuste necessário dos suportes para nivelar a aeronave, é indicado na escala da grade.

A aeronave estará nivelada, quando o fio de prumo estiver suspenso sobre o ponto central da grade.

Certas preocupações precisam ser observadas a todo momento. Normalmente, ajustes e alinhamentos não podem ser realizados em local aberto. Se isto não puder ser evitado, a aeronave deverá ser posicionada com o nariz contra o vento. A pesagem e o balanceamento da aeronave deverão ser, exatamente, como descrito no manual do fabricante. Em todos os casos, a aeronave não será levantada pelo macaco, antes de se assegurar que o peso máximo de levantamento, não excedeu o especificado pelo fabricante.

Com poucas exceções, o diedro e os ângulos de incidência das aeronaves modernas convencionais não podem ser ajustados. Alguns fabricantes permitem o ajuste do ângulo de incidência das asas, para corrigir as condições de asa pesada.

O diedro e o ângulo de incidência são verificados após um pouso duro ou após uma carga de vôo anormal, para assegurar que os componentes não estão torcidos, e que os ângulos estão dentro dos limites especificados.

Existem diversos métodos de verificação do alinhamento estrutural e ajuste de ângulos. Quadros de ajustes especiais, os quais incorporam ou podem receber os instrumentos especiais (nível de bolha ou inclinômetro) para determinar o ângulo usado em algumas aeronaves.

O alinhamento da aeronave é verificado usando-se um fio de prumo sobre uma placa graduada ou um teodolito e uma escala de visada.

Geralmente o manual do fabricante especifica o equipamento a ser utilizado.

Quando da verificação do alinhamento, uma tabela de seqüência deve ser montada e seguida para garantir que as inspeções estejam sendo feitas em todas as posições especificadas.

As inspeções especificadas de alinhamento, geralmente incluem:

1) Ângulo do diedro da asa.

2) Ângulo de incidência da asa.

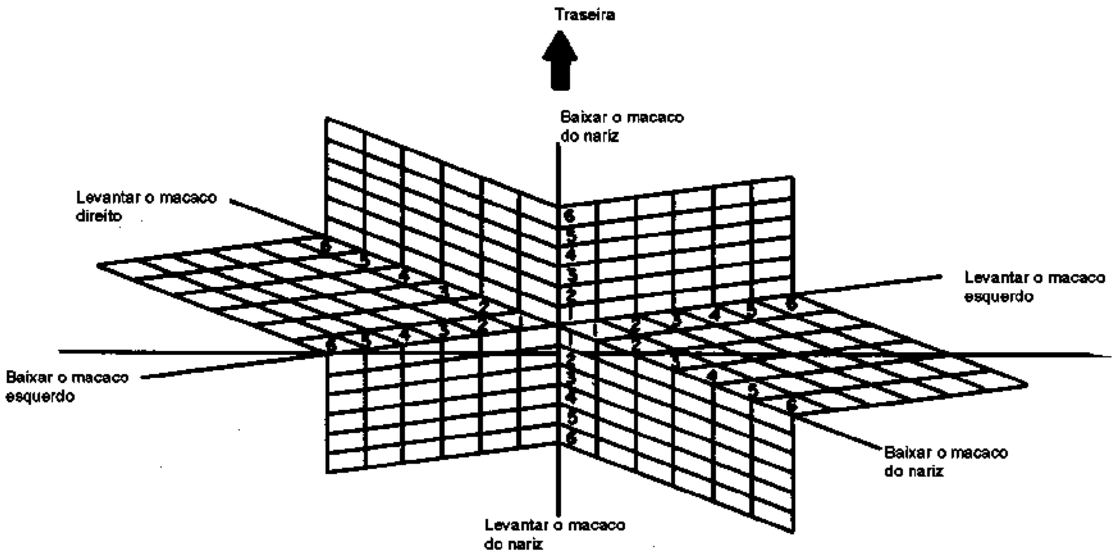
3) Alinhamento do motor.

4) Incidência do estabilizador horizontal.

5) Diedro do estabilizador horizontal.

6) Verificação do estabilizador vertical quando a sua correta posição (vertical).

7) Inspeção de simetria


Traseira
Baixar o macaco do nariz
Levantar o macaco direito
Levantar o macaco esquerdo
Baixar o macaco esquerdo
Baixar o macaco do nariz
Levantar o macaco do nariz

A escala indica uma unidade por polegada de movimento do macaco

Figura 2-11 Típica placa de nivelamento.

Inspeção do diedro

O ângulo do diedro é inspecionado em posições específicas, usando quadros especiais previstos pelo fabricante da aeronave. Se tal quadro não estiver disponível, uma prancha, plana e um inclinômetro podem ser usados. Os métodos de inspeção do diedro são mostrados na figura 2-12.

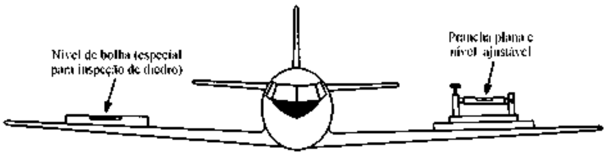

Nível de bolha (especial para inspeção de diedro)
Prancha plana e nível ajustável

Figura 2-12 Inspeção do diedro.

É importante que o diedro seja inspecionado nas posições especificadas pelo fabricante. Sem dúvida, parte das asas ou o estabilizador horizontal podem, algumas vezes, ser horizontais, ou, em raras ocasiões, um diedro negativo pode estar presente.

Inspeção de incidência

A incidência geralmente é inspecionada pelo menos em duas posições especificadas na superfície da asa, para assegurar que a asa está livre de torção.

Vários quadros de incidência são usados para checar o ângulo de incidência. Alguns têm pontos nas bordas dianteiras, que precisam ser colocadas em contato com o bordo de ataque da asa; outros são equipados com cavilhas, que ficam fixadas em alguma parte da estrutura.

O propósito um qualquer em desses casos é nos certificarmos que o quadro está fixado na posição exata. Em muitas situações os quadros serão colocados na área livre do contorno da asa, por uma pequena extensão fixada ao quadro. Um típico quadro de incidência é mostrado na figura 2-13.

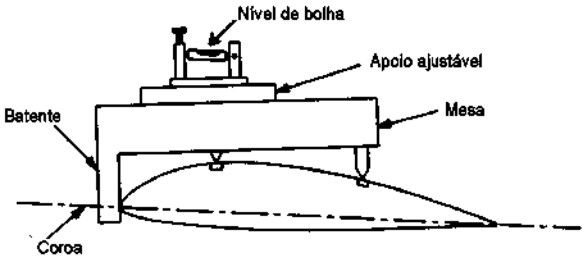

Nível de bolha
Apoio ajustável
Mesa
Batente
Coroa

Figura 2-13 Um típico quadro de medição do ângulo de incidência.

Quando usado, o quadro é colocado na posição especificada na superfície que está sendo inspecionada. Se o ângulo de incidência estiver correto, uma inclinação no topo do quadro indicará zero, ou dentro de uma tolerância especificada do zero.

Modificações das áreas onde o quadro de tolerância está localizado pode afetar a leitura.

Por exemplo, se um sistema de degelo estiver instalado no bordo de ataque, isto afetará a posição tomada por um quadro que tenha um batente no bordo de ataque.

Inspeção da superfície vertical

Após o ajuste do estabilizador horizontal ter sido inspecionado, a verticalidade do outro estabilizador, relativa a linha de referência lateral, pode ser inspecionada.

As medidas são tomadas de um dado ponto em um dos lados do topo da superfície, para um ponto dado na esquerda ou direita do estabilizador horizontal (fig. 2-14). As medidas devem ser similares, sem ultrapassar os limites.

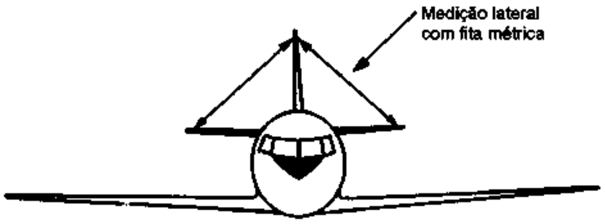


Figura 2-14 Checando a verticalidade do estabilizador vertical.

Quando for necessário inspecionar o alinhamento das dobradiças do leme direcional, removemos o leme e passamos uma linha de fio de prumo através da ligação das cavernas das dobradiças do leme. A linha deve passar centralizada por todas as cavernas.

Deve ser notado que algumas aeronaves têm o bordo de ataque do estabilizador vertical compensado com a linha central longitudinal, para neutralizar o torque dos motores.

Inspeção de alinhamento dos motores

Os motores são geralmente montados com a linha de empuxo paralela ao plano longitudinal horizontal de simetria.

Entretanto, isto nem sempre é verdadeiro quando os motores são montados nas asas. Inspecionamos para assegurar que a posição dos motores, incluindo alguns graus de compensação, está de acordo com o tipo de montante.

Geralmente, a inspeção acarreta uma medida da linha central do montante, até a linha central longitudinal da fuselagem (fig. 2-15) no ponto especificado no manual aplicável.

Inspeção de simetria

O princípio de uma inspeção típica de simetria é ilustrado na figura 2-15. As figuras necessárias, tolerâncias e pontos de inspeção de uma aeronave em particular, serão encontrados no seu manual de serviço ou manutenção.

Nas pequenas aeronaves, as medidas entre os pontos são geralmente tomadas usando uma trena. Quando medindo longas distâncias, é aconselhável que uma escala com mola seja usada com a trena, para obter tensão igual. Umas 5lbs de tensão normalmente são suficientes.

Onde grandes aeronaves são medidas, as posições onde as medições são tomadas, normalmente estão marcadas no solo. Isto é feito pela suspensão de um fio de prumo nos pontos de inspeção, e marcando o ponto do chão sob cada prumo. As medidas são, então, tomadas entre o centro de cada marca no solo.

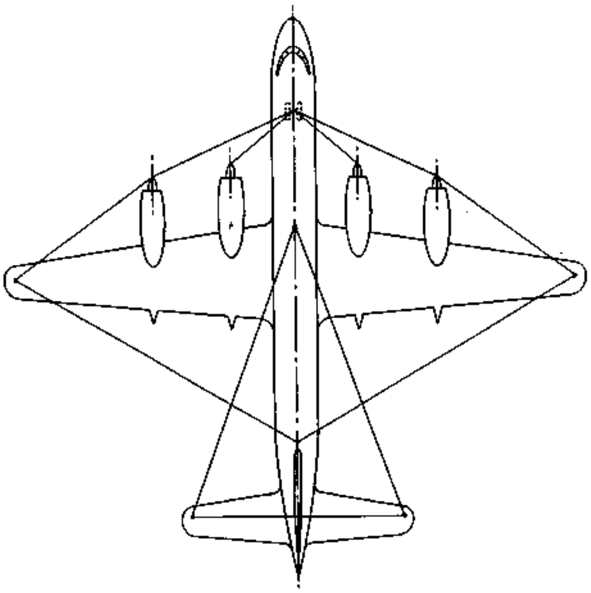


Figura 2-15 Método típico de inspeção da simetria de uma aeronave.

AJUSTE DAS SUPERFÍCIES DE COMANDO

Na seqüência, para um sistema de controle funcionar apropriadamente, é preciso ser ajustado corretamente. As superfícies de controle movem-se através de roldanas e são sincronizadas com o movimento dos controles da cabine de comando. Ajustes em alguns sistemas requerem que os procedimentos sejam seguidos passo-a-passo, como o esboço do manual de manutenção da aeronave. Embora um procedimento de ajuste completo para muitas aeronaves, esteja fora dos detalhes naturais que requerem diferentes ajustes, o método básico segue três passos:

1) Travar os controles na cabine de comando e as superfícies na posição neutra.

2) Ajustar a tensão dos cabos, mantendo o leme direcional, profundores ou ailerons na posição neutra.

3) Ajustar os batentes dos controles para o limite do movimento da superfície, nas dimensões dadas para a aeronave em ajuste.

A faixa de amplitude dos controles e das superfícies de controle, devem ser inspecionadas em ambas as direções, partindo do neutro.

O ajuste do sistema de compensadores, é feito da mesma maneira. O controle do compensador é colocado no neutro (sem compensação), e a superfície é geralmente ajustada para a linha de fluxo com a superfície de controle. Porém, em algumas aeronaves, os compensadores podem ser ajustados um ou dois graus fora do alinhamento, com a posição neutra. Após o compensador e seu mecanismo de controle estarem na posição neutra, ajustamos a tensão do cabo de comando.

Pinos, normalmente chamados pinos de ajuste, são muitas vezes usados para simplificar o conjunto de roldanas, hastes e etc., nas suas posições neutras. Um pino de ajuste é um pequeno pino metálico ou braçadeira.

Quando um pino de ajuste não está disponível, a posição neutra pode ser estabelecida por meio das marcas de alinhamento, por um gabarito especial ou pela tomada linear das medidas.

Se o alinhamento final e o ajustamento do sistema estiverem corretos, devemos se possível, sacar os pinos de ajustagem facilmente.

Qualquer aperto indevido dos pinos nos furos de ajustagem indica tensionamento incorreto ou mau alinhamento do sistema.

Após um sistema ter sido ajustado, o movimento completo e sincronizado dos controles deveriam ser checados. Quando checando a faixa de movimento da superfície de controle, os controles devem ser operados da cabine sem mover a superfície de controle.

Durante a checagem do deslocamento da superfície de controle, nos asseguramos que correntes, cabos, etc, não tenham chegado a seus limites de deslocamento, quando os controles estiverem em seus respectivos batentes. Onde dois controles estão instalados, deve haver sincronia para que funcionem satisfatoriamente, quando operados de ambos as posições.

Compensadores articulados, e outros tipos, devem ser checados de maneira similar aos controles principais de superfície. O indicador de posição deve ser checado, para ver se funciona corretamente. Se macacos de rosca são usados para atuar nos compensadores articulados, checamos para ver se eles não estão estendidos mais que o limite especificado, quando o compensador estiver nas posições extremas.

Após determinar que o sistema de controle funciona apropriadamente, e está ajustado, ele deve ser inspecionado, para determinar se o sistema está montado corretamente; assim, operará livremente sobre a faixa especificada de movimento. Devemos ter certeza de que todos os esticadores, terminais das hastes, porcas e parafusos, estão corretamente frenados.

AJUSTAGENS DE UM HELICÓPTERO

As unidades de controle de vôo localizadas na cabine (figura 2-16) de todos os helicópteros, são muito semelhantes. Eles têm ainda um ou dois dos seguintes controles: (1) controle de passo coletivo; (2) controle de passo cíclico; e (3) pedais de controle direcional.

Basicamente, essas unidades fazem as mesmas coisas, apesar do tipo de helicóptero na qual eles estão instalados. Porém, isso acontece onde a maioria das semelhanças terminam.

A operação dos sistemas em que essas unidades estão instaladas, varia de acordo com o modelo do helicóptero. O ajuste do helicóptero coordena os movimentos dos controles de vôo, e estabelece as relações entre o rotor principal e seus controles e, também, entre o rotor de cauda e seus controles. O ajuste não é um trabalho difícil, mas requer grande precisão e atenção aos detalhes. Severo detalhamento para os procedimentos de ajustes é necessário. Ajustes, limpezas e tolerâncias devem ser exatos.

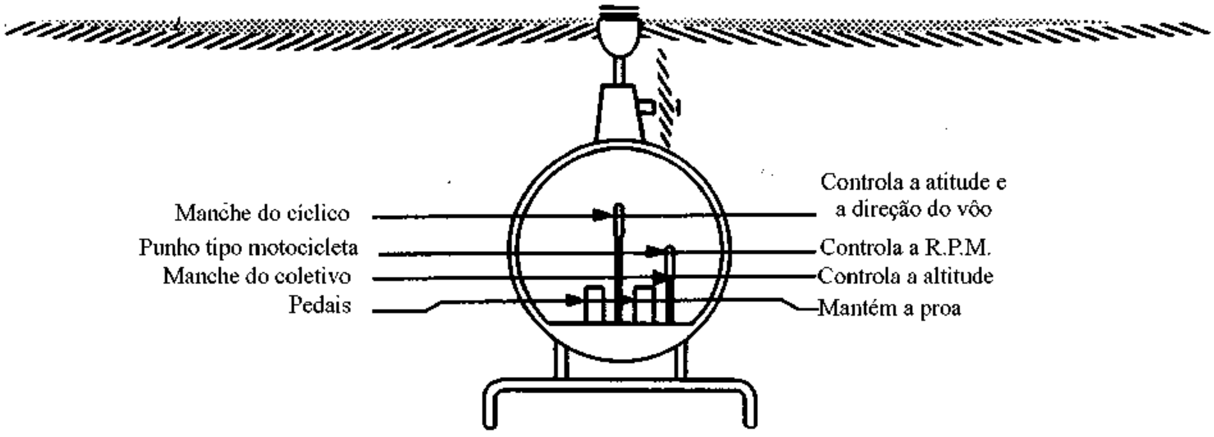


Figura 2-16 Controles do helicóptero e a principal função de cada um.

Os ajustes de vários sistemas de controle de vôo podem ser separados em três grandes itens:

1. - O primeiro consiste da colocação do sistema de controle numa posição particular, mantendo-o na posição com pinos, grampos, ou guias; e ajustando as várias ligações para consertar o componente de controle imobilizado.
2. - O item dois, consiste da colocação das superfícies de controle na específica posição de referência: usando um ajuste guia (figura 2-73), um transferidor de precisão, ou um nível de bolha de ar, para checar a diferença entre a superfície de controle e uma superfície fixa na aeronave.
3. - O item três, consiste em ajustar a faixa máxima de deslocamento dos vários componentes.

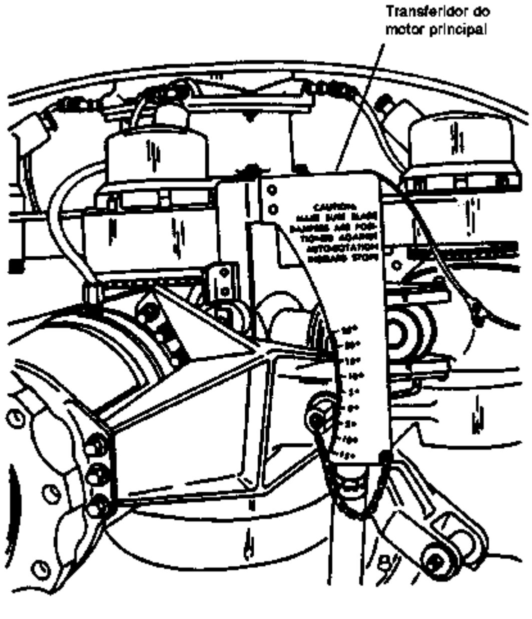


Figura 2-17 Um típico transferidor de ajuste.

Esse ajuste limita o movimento físico do sistema de controle.

Após o completo ajuste estático, uma verificação do sistema de controle de vôo deve ser realizada, de acordo com o tipo de helicóptero e sistema afetado, mas usualmente incluem determinar que:

1) A direção do movimento das pás do rotor principal e de cauda está correta em relação ao movimento dos controles do piloto.
2) As operações interconectadas dos sistemas de controle (potência do motor e passo coletivo) estão coordenadas corretamente.
3) A faixa de movimento e a posição neutra dos controles dos pilotos estão corretas.
4) Os ângulos de passo máximo e mínimo das pás do rotor principal, estão dentro dos limites especificados. Isto inclui cheques de para frente e para trás (*for-and-aft*), passo cíclico lateral e ângulos das pás do passo coletivo.
5) A trajetória das pás do rotor principal está correta.
6) No caso de aeronave multirotora, o ajuste e movimento das pás do rotor estão sincronizados.
7) Quando compensadores são instalados nas pás do rotor principal, eles estão corretamente ajustados.
8) Os ângulos de passo máximo, mínimo, neutro, e o ângulo de inclinação das pás do rotor de cauda estão corretos.
9) Quando controles duplos são fornecidos, eles funcionam corretamente e em sincronismo.

Para completar os ajustes, um cheque total de todas as ligações deve ser feito, garantindo pontos essenciais. Todos os parafusos, porcas, e extremidades das hastes devem estar corretamente fixados e frenados.

Trajetória da pá

Quando as pás do rotor principal não fazem um mesmo cone durante a rotação, é denominado fora de trajetória. Isto pode resultar em excessiva vibração na coluna de controle.

Trajetória da pá é o processo de determinar as posições das pontas das pás do rotor relativas uma a outra, enquanto a cabeça do rotor está girando, e determinando a necessária correção para manter estas posições dentro das tolerâncias certas. A trajetória mostra somente a posição relativa das pás, não suas trajetórias de vôo. As pás devem todas seguir uma às outras, o máximo possível.

O propósito da trajetória da pá trazer as pontas de todas as pás no mesmo caminho, durante o seu ciclo completo de rotação.

A fim de manter as pás do rotor na trajetória com um tempo mínimo, e o máximo de precisão, o equipamento correto deve ser usado.

O equipamento geralmente usado para a trajetória das pás inclui:

1) Bandeira de trajetória com material de bandeira.
2) Lápis de cera ou giz colorido.
3) Material conveniente de marcação.
4) Refletores e lâmpadas de rastreamento (figura 2-18).
5) Bastão de trajetória.
6) Ferramenta de ajuste de compensador.
7) Indicador de ângulo do compensador.

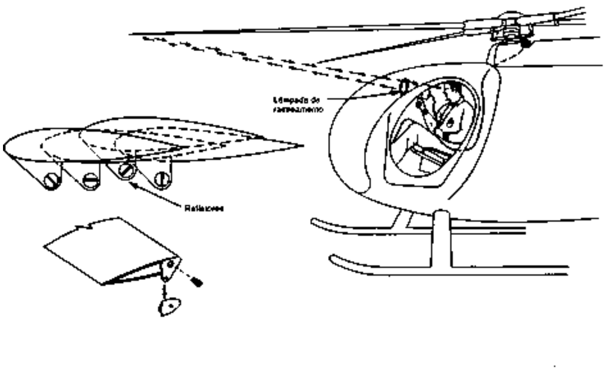

Lâmpada de rastreamento
Refletores

Figura 2-18 Trajetória da pá com lâmpada de rastreamento.

Antes de começar uma operação de trajetória de pá, as pás novas ou recentemente revisadas devem ser checadas quanto a adequada incidência. Os compensadores devem estar em zero nas pás novas ou revisadas. Os compensadores de pás em funcionamento não devem ser alterados até que uma trajetória das pás tenha sido determinada.

Um dos meios de verificar a trajetória das pás é o da bandeira (figura 2-19).

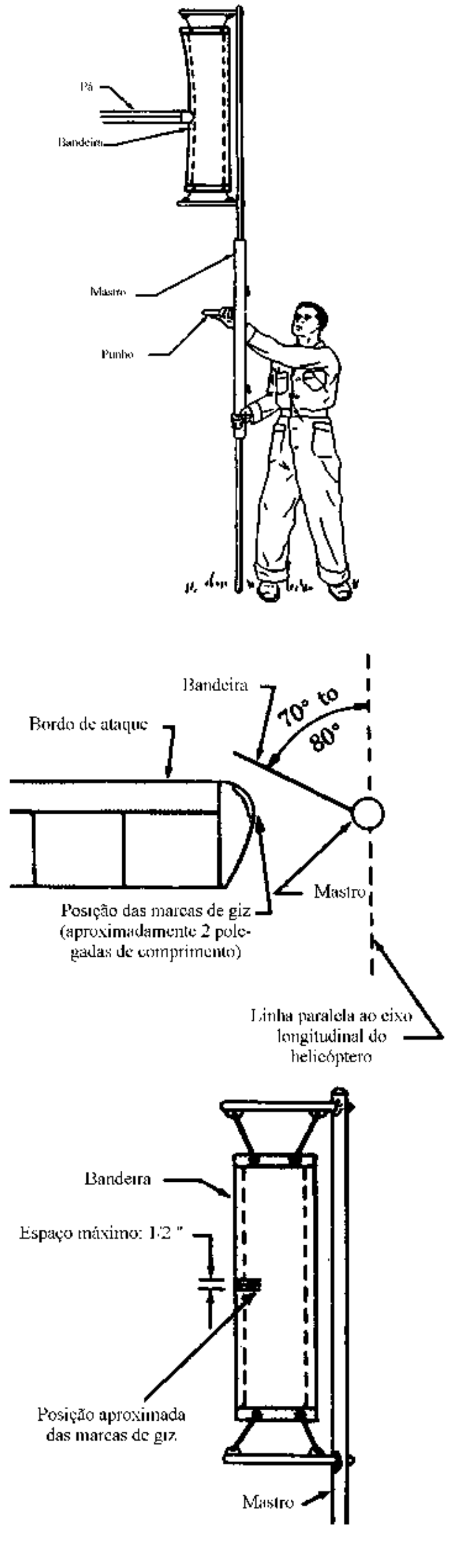

Pá
Bandeira
Mastro
Punho
Bandeira
Bordo de ataque
70° to 80°
Mastro
Posição das marcas de giz (aproximadamente 2 polegadas de comprimento)
Linha paralela ao eixo longitudinal do helicóptero
Bandeira
Espaço máximo: 1/2 "
Posição aproximada das marcas de giz
Mastro

Figura 2-19 Trajetória da pá

As pontas das pás são marcadas com gizou lápis de cera. Cada ponta de pá deve ser marcada com uma cor diferente de modo que facilite determinar a trajetória de uma em relação a outra. Este método pode ser usado para todos os tipos de helicópteros que não tenham dispositivo de propulsão nas pontas das pás. Um homem mantém as faces da bandeira na direção da rotação das pás, assistindo a retração das pás.

Faceando por fora, próximo as pás, permite ao homem que segura a bandeira, observar as pás quando elas entram em contato com a bandeira. O ângulo da bandeira para a corda da pá é importante.

Se esse ângulo for grande, as marcas serão longas e a bandeira tremulará excessivamente. Se o ângulo for estreito, a pá deve cortar a bandeira.

O ângulo mais satisfatório é de mais ou menos 80º para a corda da pá. As marcas das bandeiras serão então de aproximadamente 3/16 a 1/4 de polegada de comprimento. O método da bandeira para trajetória, pode ser usado não somente para descobrir a posição relativa das pás, mas também as características de vôo das pás nas diferentes rotações e ajustes de potência.

De modo que, para plotar as características de vôo para ajustes das pás, é necessário pegar um pouco das diferentes r.p.m. selecionadas e gravar seus resultados. Um mínimo de três traços é necessário para produzir um *plot* satisfatório. Quatro traços são desejáveis para produzir um *plot* nas cabeças tendo três ou mais pás de rotor.

Quando a trajetória delineada está completa, uma pá é escolhida como referência. Usualmente, a pá referência é a pá central do *plot* de um sistema de rotor multipá e a pá mais baixa no sistema de rotor dessas pás. Se a pá central ou a pá mais baixa da plot mostra uma característica de vôo incomum, outra pá deve ser escolhida como pá de referência.

A trajetória da pá que aparece com o aumento do r.p.m. é uma pá elevada, outra que desce com o aumento da r.p.m., ou a potência, é uma pá de descida.

Quando uma pá elevada e uma pá de descida se encontram no mesmo ponto, é chamado um cruzamento. Por causa das tendências de subida e descida das pás ajustadas impropriamente, é possível ter todas as pás em um ponto comum em certa r.p.m. e potência, mas fora da trajetória outra r.p.m. ou potência é selecionada.

O erro mais comum na trajetória da pá é trazer as pás com os compensadores somente na r.p.m. de cruzeiro. As pás devem, então, se encontrar no ponto de um cruzamento e se separar em diferentes r.p.m. e potência selecionadas, ou velocidade à frente; o que resultará uma condição fora de trajetória.

A trajetória correta é produzida mantendo uma constante separação das pás, em todas r.p.m., potência selecionada e velocidade de vôo. Uma separação constante pode ser mantida somente pelo ajuste correto dos compensadores. Após uma separação constante ter sido estabelecida com os compensadores, é necessário trazer as pontas das pás num caminho único de rotação com os comandos de inclinação das pás. Dobrando o compensador para cima, a pá subirá, para baixo, ela descerá.

A dobra do compensador deverá ser mantida para um mínimo, porque o ângulo do compensador produz um excessivo arrasto nas pás. Os ajustes dos compensadores das pás de rotor principal (se houver) deverão ser checados para eliminar momentos de desbalanceamento, que aplicarão torque nas pás do rotor.

O ajuste do compensador é checado quanto a correção pelo giro do rotor na velocidade prescrita, e assegurando que a coluna do controle do passo cíclico permanece estacionário. Fora de balanceamento aparecerão movimentos de vibração na coluna.

PRINCÍPIOS DE BALANCEAMENTO OU REBALANCEAMENTO

Dos princípios que são essenciais no balanceamento ou rebalanceamento das superfícies de controle não é difícil compreender se uma simples comparação for usada. Por exemplo, uma gangorra que está desbalanceada deve ser comparada a uma superfície de controle que não teve pesos de balanceamento instalados, como na figura 2-76. Pela ilustração, é fácil compreender como uma superfície de controle tem naturalmente cauda (bordo de fuga) pesada.

A condição de desbalanceamento pode causar uma avaria de flutuação ou vibração na aeronave e, portanto, deve ser eliminada. A melhor solução para isto, é o adicionamento de pesos, internamente, ou no bordo de ataque dos compensadores, ailerons, ou no local apropriado nos painéis de balanceamento. Quando isto é feito certo, existe uma condição de equilíbrio, que pode ser comparada com uma gangorra com uma criança sentada na parte menor da prancha.

O efeito dos momentos nas superfícies de controle pode ser facilmente compreendido pela observação e estudo da gangorra com duas crianças de pesos diferentes, e sentadas em diferentes posições sobre ela.

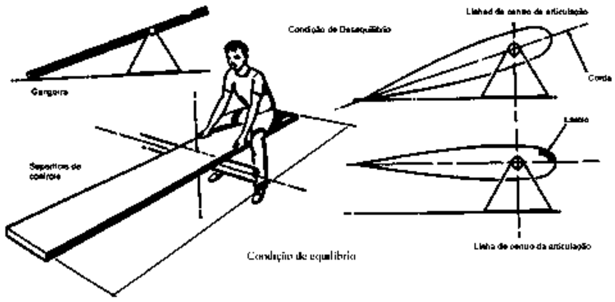

Linhad do centro de articulação
Condição de Desequilíbrio
Gangorra
Corda
Lastro
Superfícies de controle
Condição de equilíbrio
Linha de centro da articulação

Fig. 2-20 Condições de equilíbrio e de desequilíbrio.

A figura 2-21 mostra uma gangorra com uma criança de 40 quilos sentada à uma distância de 1,80m do ponto de apoio da mesma. O peso da criança tende a girar a gangorra na direção dos ponteiros do relógio até que toque o chão. Para se nivelar a gangorra ou trazê-la para uma condição de balanceamento, uma criança é colocada na ponta oposta da mesma. A criança deve ser colocada num ponto igual ao momento da criança do lado esquerdo da gangorra.

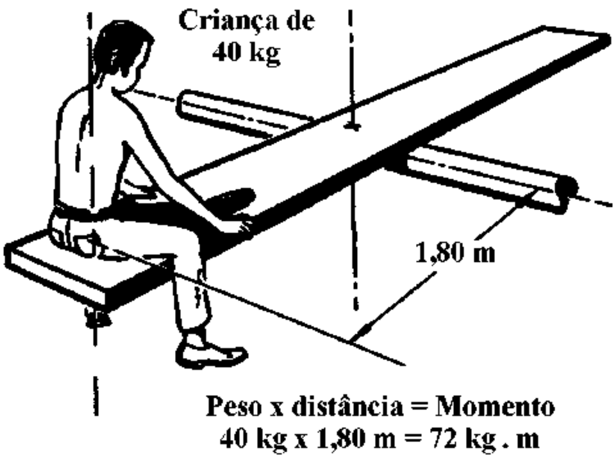


Figura 2-21 Momento.

Suponhamos que a criança seja colocada a uma distância de 2,40m à direita do ponto de apoio. Uma simples fórmula pode ser usada para determinar o peso exato que a criança deve ter para equilibrar ou trazer a gangorra para uma condição de nivelamento. Para se produzir uma condição de balanceamento da gangorra (ou superfície de controle), o momento no sentido anti-horário deve igualar o momento no sentido horário.

O momento é encontrado multiplicando-se o peso pela distância. Portanto, a fórmula para balancear a gangorra é:

$$P_2 \times D_2 = P_1 \times D_1$$

P2 seria o peso desconhecido da segunda criança. D_2 seria a distância (em metros) do ponto de apoio até onde a segunda criança está sentada (2,40m). P_1 seria o peso da primeira criança (40 kg). D_1 seria a distância do ponto de apoio até onde a primeira está sentada (1,80m).

Para encontrar-se o peso da segunda criança torna-se um caso simples de substituição, aplicando-se a fórmula como se segue:

$$P_2 \times D_2 = P_1 \times D_1$$
$$P_2 \times 2{,}40\ \text{m} = 40\text{kg} \times 1{,}80\text{m}$$
$$P_2 = \frac{72}{2{,}40} = 30kg$$

$$P_2 = 30\text{kg}$$

Assim, o peso da segunda criança teria de ser 30kg. Isto prova a fórmula:

$$30\ \text{kg} \times 2{,}40\ \text{m} = 40\ \text{kg} \times 1{,}80\ \text{m}$$
$$72\ \text{kg} \cdot \text{m} = 72\ \text{kg} \cdot \text{m}$$

Isso resultaria numa condição de equilíbrio da gangorra uma vez que o momento no sentido anti-horário em torno do ponto de apoio e igual ao momento no sentido horário em torno do mesmo ponto.

O mesmo efeito é obtido numa superfície de controle, pela adição de peso.

Uma vez que a maioria dos reparos em superfícies de controle são feitos atrás da linha central da dobradiça, resultando numa condição de bordo de fuga pesado, o peso é adicionado adiante da linha central da dobradiça.

O correto peso para o rebalanceamento deve ser calculado e instalado na posição adequada.

Rebalanceamento de superfícies móveis

A matéria nesta seção é apresentada somente com o propósito de familiarização, e não deve ser usado num rebalanceamento de superfícies de controle. Instruções explícitas para o balanceamento de superfícies, são dadas nos manuais de serviço, e deve ser seguida com muito atenção.

Após reparos feitos a qualquer hora em superfícies de controle, adicionando-se peso à frente ou atrás da linha central da dobradiça, a superfície de controle deve ser rebalanceada.

Algumas superfícies de controle que estejam desbalanceadas estarão instáveis e não ficarão numa posição aerodinâmica durante o vôo normal.

Por exemplo, um aileron que está com o bordo de fuga pesado, se deslocará para baixo quando as asas desviam para cima; e para cima, quando as asas desviam para baixo.

Tais condições podem causar inesperadas e violentas manobras da aeronave. Em casos extremos, trepidações e oscilações podem desenvolver-se a tal ponto, que podem causar a completa perda da aeronave. O rebalanceamento de uma superfície de controle diz respeito ao balanceamento estático e ao dinâmico.

Balanceamento Estático

Balanceamento estático é a tendência de um objeto de permanecer parado quando sustentado pelo seu próprio centro de gravidade. Existem duas maneiras pelas quais uma superfície de controle pode estar desbalanceada estaticamente.

Elas são chamadas de sub-balanceamento e sobre-balanceamento. Quando uma superfície de controle é montada numa posição balanceada, a tendência do movimento do bordo de fuga sob a posição horizontal indica um balanceamento deficiente.

Alguns fabricantes indicam esta condição com um sinal de mais (+).

A figura 2-22A ilustra uma condição de sub-balanceamento de uma superfície de controle.Um movimento para cima, do bordo de fuga, acima da posição horizontal (figura 2-22B), indica sobrebalanceamento. Esse é designado por um sinal de menos (-). Estes sinais mostram a necessidade de peso no ponto correto para conseguir-se uma superfície de controle balanceada, como mostrado na figura 2-22C.

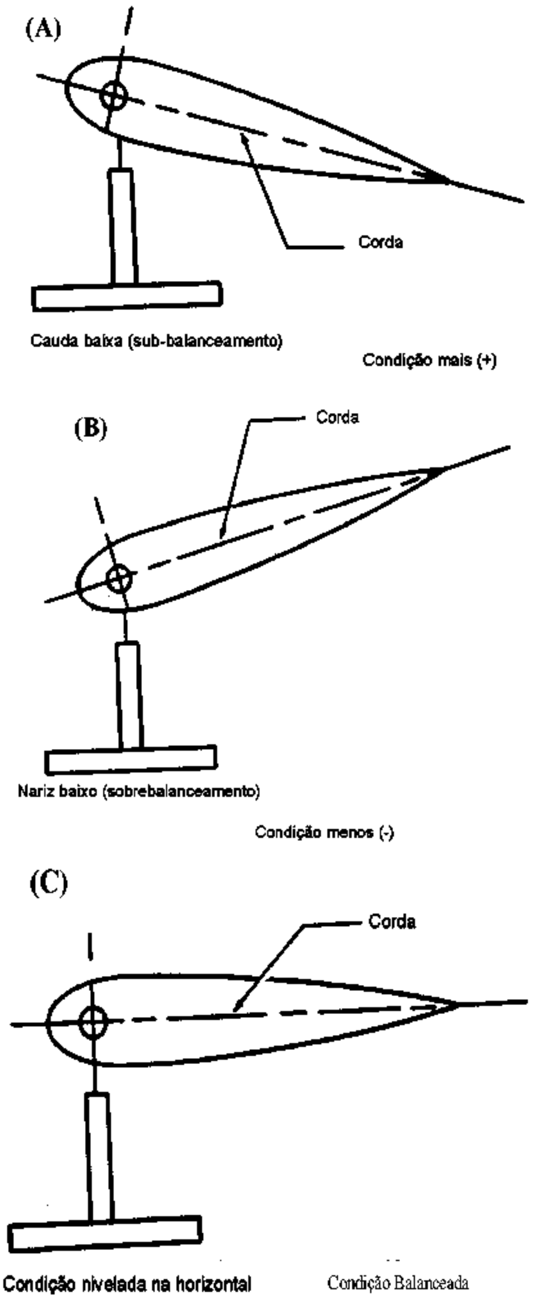

(A)
Corda
Cauda baixa (sub-balanceamento)
Condição mais (+)
(B)
Corda
Nariz baixo (sobrebalanceamento)
Condição menos (-)
(C)
Corda
Condição nivelada na horizontal
Condição Balanceada

Figura 2-22 Balanceamento estático das superfícies de controle

Uma condição de cauda pesada (balanceamento estático) causa indesejável desempenho de vôo, e, normalmente, não é admitida.

Melhores operações de vôo são obtidas através de um balanceamento estático com nariz pesado. A maioria dos fabricantes defende a existência de superfícies de controle feitas especificamente para se obter esta condição.

Balanceamento Dinâmico

Balanceamento dinâmico é aquela condição na rotação de um corpo, no qual todas as forças de rotação são balanceadas dentro dos mesmos, de modo que nenhuma vibração é produzida enquanto o corpo estiver em movimento.

O balanceamento dinâmico, assim relacionado às superfícies de controle, é um esforço para se manter o equilíbrio quando a superfície é submetida a movimento durante o vôo. Implica na colocação de pesos em pontos corretos ao longo da longarina das superfícies. A localização dos pesos será, na maioria dos casos, adiante da linha central da dobradiça.

PROCEDIMENTOS PARA REBALANCEAMENTO

Requisitos

Reparos na superfície de controle ou seus compensadores, geralmente aumentam o peso atrás da linha central da dobradiça, requerendo um rebalanceamento estático em toda a superfície bem como em seus compensadores.

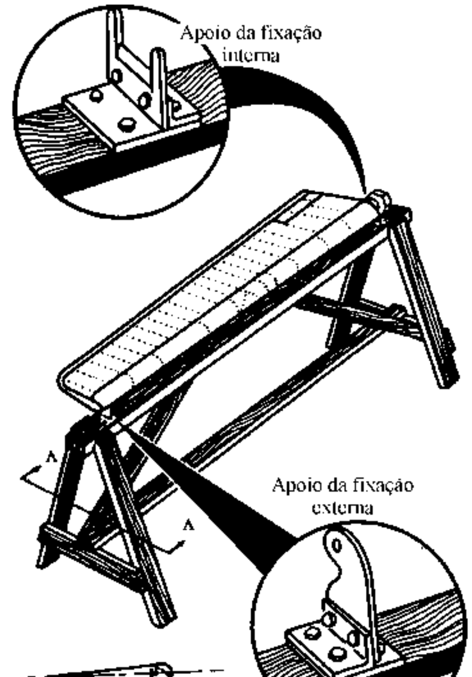


Figura 2-23 Gabarito de balanceamento

As superfícies, de controle para serem rebalanceadas, devem ser removidas da aeronave e apoiadas sobre um lugar apropriado, um cavalete ou gabarito de montagem.(figura 2-23)

Os compensadores da superfície devem ser presos numa posição neutra, quando esta superfície estiver montada num local apropriado. Este local deve estar nivelado e ser localizado numa área livre de correntes de ar.A superfície deve ser capaz de girar livre em torno da dobradiça. Uma condição de balanceamento é determinada pelo comportamento do bordo de fuga quando a superfície é suspensa pelos pontos da dobradiça.

Qualquer atrito excessivo resultaria numa falsa reação causando um sub-balanceamento ou sobrebalanceamento da superfície.

Quando a superfície de controle é instalada no local ou gabarito, uma posição neutra deve ser estabelecida pela linha da corda da mesma, na posição horizontal (figura 2-24). Usamos um nivelador para determinar a posição neutra antes de continuarmos com os procedimentos de balanceamento. Às vezes uma simples checagem visual é o suficiente para determinarmos se a superfície está balanceada ou não.

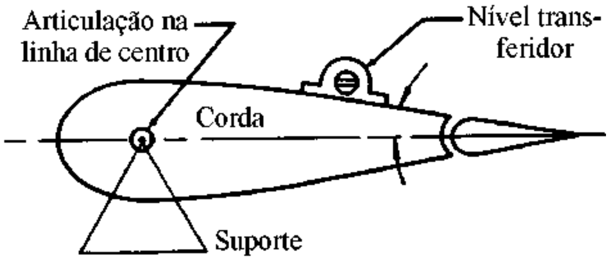


Figura 2-24 Estabelecendo uma posição neutra.

Qualquer compensador, ou outras montagens que permaneçam na superfície durante o balanceamento, devem estar nos seus devidos lugares. Se qualquer das montagens ou partes precisarem ser removidas antes do balanceamento, devem ser removidas.

MÉTODOS

Atualmente, quatro métodos de balanceamento (rebalanceamento) de superfícies de controle, são usados por vários fabricantes de aeronaves. Os quatro métodos são comumente chamados de método de tentativa por peso (tentativa e erro) e método de componentes.

O método de cálculo para o balanceamento de uma superfície de controle é diretamente mencionado, para os princípios de balanceamento discutidos anteriormente. Ele tem uma vantagem sobre os outros métodos, pois pode ser executado sem remover a superfície da aeronave.

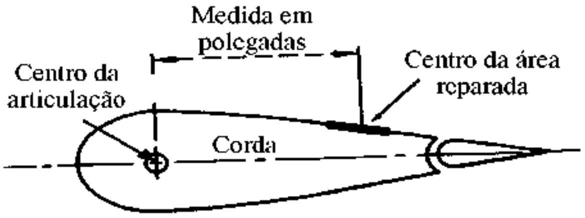

Medida em polegadas
Centro da articulação
Centro da área reparada
Corda

Figura 2-25 Método de calcular o balanceamento.

Usando-se o método de cálculo, o peso do material da área do reparo, e o peso dos materiais usados para realizar o reparo, devem ser conhecidos. Subtraindo-se o peso removido do peso acrescido, teremos como resultado o peso líquido, do montante adicionado à superfície.

A distância da linha central da dobradiça ao centro da área do reparo é então medida em polegadas. Esta distância deve ser determinada para uma medida mais próxima de um centésimo de polegada. (fig. 2-25).

O próximo passo é multiplicar a distância versus o peso líquido do reparo. Isto resultará resposta em POL-LBS (Polegadas-Libras).

Se as POL-LBS resultantes dos cálculos estiverem dentro das tolerâncias especificadas, a superfície de controle será considerada balanceada. Se não estiver dentro dos limites especificados, consultamos o manual de serviços do fabricante, a fim de sabermos quantos pesos são necessários, materiais usados para pesos, desenhos para fabricação e locais de instalação para se adicionar pesos.O método para o balanceamento de uma superfície de controle requer o uso de uma balança graduada em centésimos de libras. Um local de apoio e gabaritos de balanceamento para a superfície são também requeridos.

A figura 2-26 mostra uma superfície de controle montada para fins de balanceamento.

O uso do método da balança requer a remoção da superfície de controle da aeronave.

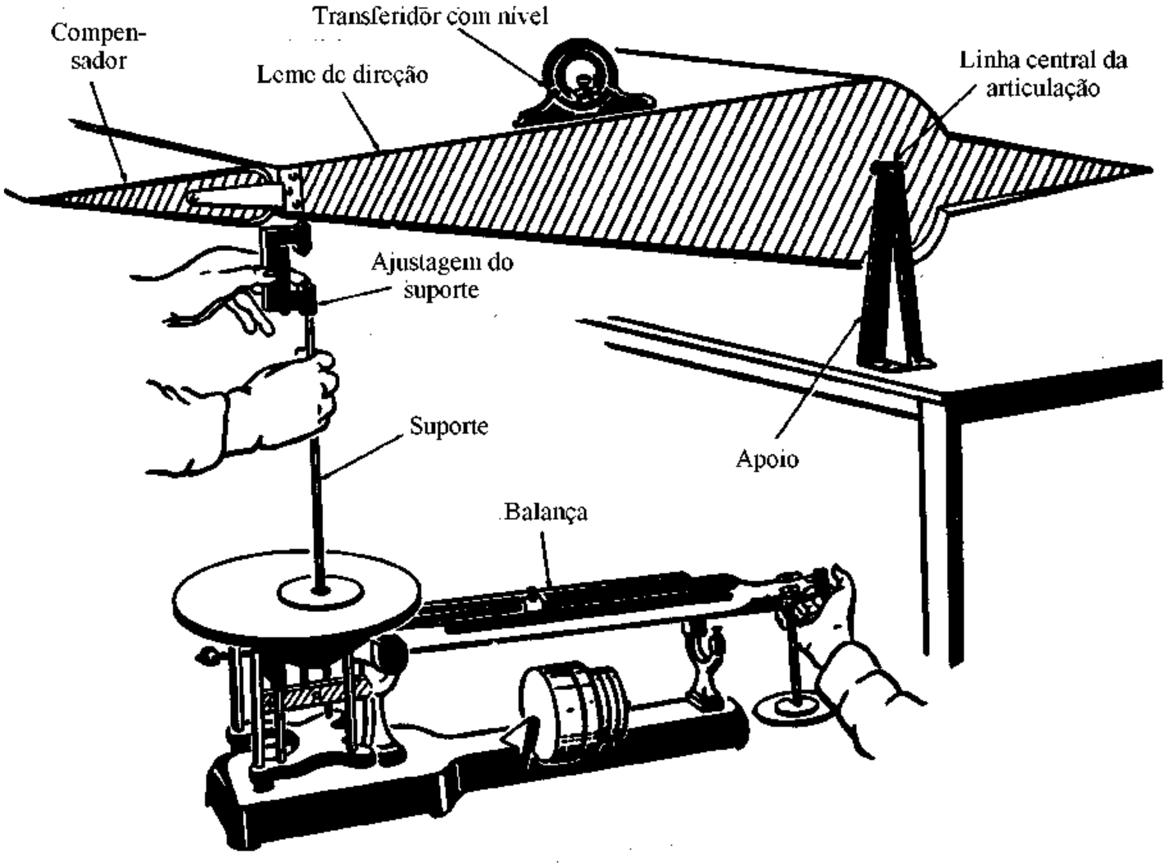

Compensador
Transferidor com nível
Leme de direção
Linha central da articulação
Ajustagem do suporte
Suporte
Apoio
Balança

Figura 2-26 Balanceamento de superfície de comando.

CAPÍTULO 3

ENTELAGEM

INTRODUÇÃO

A maioria das aeronaves produzidas hoje são de construção totalmente metálica. De qualquer modo, muitas aeronaves em serviço, usam tecidos para cobrir asas, fuselagens e superfícies de comando. Os tecidos de algodão têm sido normalmente usados como material de cobrir aeronaves, mas outros tecidos semelhantes, como linho Dacron e fibra de vidro, estão ganhando em popularidade.

Fibras orgânicas e sintéticas são usadas na fabricação de tecidos ou materiais para revestimento de aeronaves. As fibras orgânicas incluem algodão e linho; as fibras sintéticas incluem fibra de vidro e fibra termo-retrátil.

Três das fibras sintéticas termo-retráteis mais comumente utilizadas são: a poliamida, conhecida tradicionalmente como nylon; a fibra de acrílico chamada orlon; e a fibra de polyester conhecida como Dacron.

TECIDOS PARA AERONAVES

Na fabricação original de um tecido para revestimento de aeronaves, a qualidade e resistência dos tecidos, fitas de superfície, cordéis, linhas, etc., são determinadas pelo limite de velocidade da aeronave, e a pressão por pé quadrado na carga da asa. O limite de velocidade para uma determinada aeronave, é aquela que não pode exceder a velocidade de segurança.

A carga da asa de uma aeronave é determinada, dividindo-se a área total da asa (em pés quadrados) pela carga máxima suportada pela asa.

Todos os tecidos, fitas de superfície, fitas de reforço, máquinas de costuras, cordéis, etc., usados para recobrir ou reparar aeronaves, devem ser de alta qualidade. O material auxiliar, também deve ser no mínimo de boa qualidade e de equivalentes requisitos, como aqueles originalmente usados pelo fabricante da aeronave.

Tecidos aceitáveis para cobrir asas, superfícies de comando e fuselagens estão listados nas figuras 3-1 e 3-2. Os tecidos, conforme as especificações de material aeronáutico, incorporam uma contínua marcação de números de especificação ao longo da borda, para permitir a identificação do tecido. No seguimento, definições são apresentadas para simplificar a discussão sobre tecidos. Alguns desses termos são mostrados graficamente na figura 3-3.

1. *Urdidura ou Urdimento (WARP)* - A direção dos fios ao longo do comprimento do tecido.
2. *Pontas do Urdimento (WARP END)* - Ponta dos fios ao longo do comprimento.
3. *TRAMA* - A direção do fio através da largura do tecido.
4. *"COUNT"* - Número de fios por polegada na urdidura ou trama.
5. *PREGA* - Número de jardas feitas com linha.
6. *VIÉS* - Um corte feito diagonalmente na urdidura ou na trama.
7. *ACETINAR* - Processo de amaciar o tecido através de tratamento térmico.
8. *MERCERIZAR* - Processo de banho do fio de algodão ou tecido, em solução quente de soda-caústica. Tratamento submetido ao tecido, para encolhimento do material e aquisição de maior resistência e brilho.
9. *ENGOMAR* - Ato de colocar goma no tecido e remover dobras.
10. *PICOTAR* - Arremate feito no bordo do tecido, por máquina ou tesoura, numa série contínua de "V".
11. *OURELA* - A borda do tecido para evitar desfiamento.

Tecidos de algodão

O tecido utilizado para aeronaves é do tipo "A" mercerizado, 4-OZ (quatro onças) feito de alta qualidade, de algodão de fibra longa. Ele é acetinado para reduzir a espessura e para a superfície ficar mais lisa. Existem de 80 a 84 fios por polegada de urdidura e trama. O mínimo de resistência a tensão é de 80 lbs/pol na largura da urdidura e da trama.

O termo 4 OZ (quatro onças) é o peso do tecido normal acabado, e de 4 oz/yard^2 (onça/jarda quadrada) para 34 e 42 de largura. O tecido deste tipo e peso/polegada é aceitável para cobertura da superfície de qualquer aeronave.

Materiais	**Especificação**	**Mínima resistência a tensão, novo e sem dope**	**Mínima resistência ao rasgo, novo e sem dope**	**Mínima resistência a tensão, deteriorado, sem dope**	**Fios por polegada**	**Uso e observações**
Tecido de algodão mercerizado Tipo "A".	Society Automotive Engineers AMS 3806 (TSO-C15 como referência).	80 lbs/pol. na urdidura e na trama.	5 lbs na urdidura e na trama.	56 lbs/pol.	Mínimo de 80 e máximo de 84 na urdidura e na trama.	Requerido nas aeronaves com carga alar maior que 9 p.s.f. e com velocidades abaixo de 160 m.p.h.
Tecido de algodão mercerizado Tipo "A".	MIL-C-5646	80 lbs/pol. na urdidura e na trama.	5 lbs na urdidura e na trama.	56 lbs/pol.	Mínimo de 80 e máximo de 84 na urdidura e na trama.	Alternativa para o AMS 3806.
Tecido de nitrato de celulose, pré-dopado.	MIL-C-5643	80 lbs/pol. na urdidura e na trama.	5 lbs na urdidura e na trama.	56 lbs/pol.	Mínimo de 80 e máximo de 84 na urdidura e na trama.	Altern. para MIL-C-5646 ou AMS 3806 (sem dope). Acab. com dope de nitrato de celulose.
Tecido de acetato de celulose, butirato, pré-dopado.	MIL-C-5642	80 lbs/pol. na urdidura e na trama	5 lbs na urdidura e na trama.	56 lbs/pol.	Mínimo de 80 e máximo de 84 na urdidura e na trama.	Altern. para o MIL-C-5646 ou AMS 3806 (sem dope). Acab. com dope butirato acetato de celulose.
Tecido de algodão mercerizado	Society Automotive Engineers AMS 3804 (TSO-C14 como referência).	65 lbs/pol. na urdidura e na trama.	4 lbs na urdidura e na trama.	46 lbs/pol.	Mínimo de 80 e máximo de 94 na urdidura e na trama.	Para aeronaves com carga alar de 9 p.s.f. e que nunca exceda a velocidade de 160 m.p.h.
Tecido de algodão para planadores.	A.A.F. Nº 16128. AMS 3802.	55 lbs/pol. na urdidura e na trama.	4 lbs na urdidura e na trama	39 lbs/pol.	Mínimo de 80 na urdidura e na trama.	Alternativa para o AMS 3802-A.
Linho para aeronaves	Bristish 7F1	-	-	-	-	Este material possui a resistência mínima requerida do TSO-C15.

Figura 3-1 Tecidos usados no revestimento de aeronaves.

Materiais	Especificação	Yarn Size	Mínima resist. à tensão	Jardas x Lbs	Uso e Observações
Fita de reforço (cadarço) de algodão.	MIL-T-5661	-	150 lbs for 1 ½ largura	-	Usado como fita de reforço em tecido e sob lardagem de nervuras. A resistência de outras larguras na proporção aproximada.
Cordel de lardagem de algodão, pré-encerado e trançado.	MIL-C-5649	-	80 lbs duplo	No mínimo 310	Para fixar os tecidos nas estruturas. Se não estiver encerado, deve ser levemente encerado antes do uso.
Cordel de algodão especial	US ARMY nº 6-27	20/3/3/3	85 lbs duplo	-	Para fixar os tecidos nas estruturas. Se não estiver encerado, deve ser levemente encerado antes do uso.
Cordel de algodão trançado.	MIL-C-5648	-	80 lbs simples	No mínimo 170	Para fixar os tecidos nas estruturas. Se não estiver encerado, deve ser levemente encerado antes do uso.
Linha de linho e de linho cânhamo	MIL-T-6779	6 ply 11 ply	59 lbs simples 70 lbs simples	Mín. 620 Mín. 510	Para fixar os tecidos nas estruturas. Se não estiver encerado, deve ser levemente encerado antes do uso.
Linha de algodão de alta tenacidade.	MIL-T-5660	nº 10	62 lbs simples	Mín. 480	Para fixar os tecidos nas estruturas. Se não estiver encerado, deve ser levemente encerado antes do uso.
Linha de algodão para máquina	Federal V-T-2766	20/4 ply	5 lbs simples	Normal 5.000	Usada em todas as máquinas de costura.
Linha de algodão para costura manual	V-T-276 b Tipo III B	8/4 ply	14 lbs simples	Normal 1.650	Usada para todas as costuras manuais. Usada completamente encerado.
Fita de superfície de algodão (Feito de AN-C-121)	MIL-T-5083	-	80 lbs/pol.	-	Usada sobre emendas, bordas de ataque e de fuga, outros bordos e nervuras, picotadas, recortadas, ou em quinas.
Fita de superfície de algodão	Idêntica do tecido udaso	-	Idêntica do tecido usado	-	Alternativa para MIL-T-5083.

Figura 3-2 Miscelânea de materiais têxteis.

Tecido de linho

O tecido de linho não alvejado é usado extensivamente na Inglaterra, já nos E.U.A. o grau é limitado. Esse tecido é praticamente idêntico ao tecido de algodão tipo “A”, de acordo com o peso, resistência e fios por polegada que são produzidos.

Tecido Dacron

O Dacron é um monofilamento muito macio, fabricado pela condensação da fibra polyester em “dimethyl terephthalate” e etileno glicol. Casualmente o estilo padrão e peso do tipo Dacron são utilizados para uso na cobertura de aeronaves.

Ele tem um trançado liso com um peso de 3.7 oz/yd^2 (onça por jarda quadrada). Esse tecido leve (heavy-duty) tem uma resistência a tensão de aproximadamente 148 lbs/pol e pode ser usado como substituto do algodão tipo “A” ou tecidos de linho.

Um tecido de Dacron, peso médio e fino acabamento, é usado quando uma cobertura leve e um acabamento muito liso são desejados.

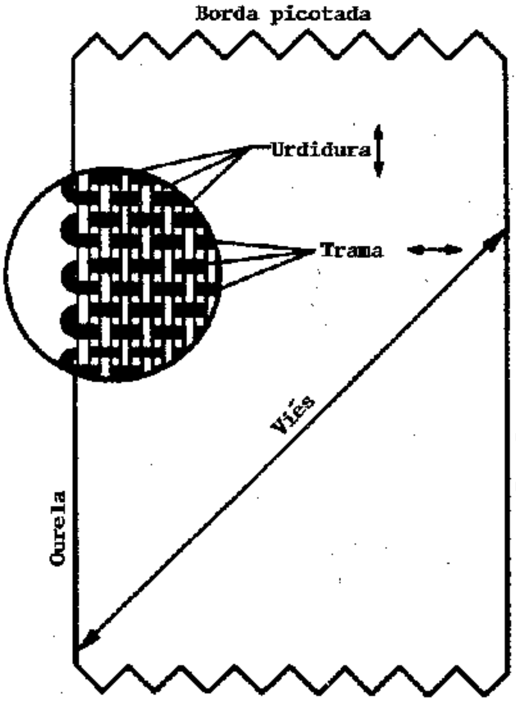


Figura 3-3 Termos do tecido (nomeclatura).

O tecido de médio peso tem uma resistência a tensão de aproximadamente 96 lbs/pol. e peso acerca de 2.7 oz/yd^2 (onça por jarda quadrada), e pode também ser usado como substituto do tecido de algodão tipo “A”.

Tecido de fibra de vidro

O tecido de fibra de vidro é feito de filamentos de vidro torcido, os quais são trançados dentro de um forte e resistente tecido. Os tecidos de fibra de vidro usados para cobrir, possuem superfície forte e peso com 4,5 oz/yd^2.

Os tecidos de fibra de vidro não são afetados por umidade, mofo, químicas ou ácidos. Eles também são resistentes ao fogo.

Os tecidos de fibra de vidro são aplicados geralmente dentro das seguintes classes:

1. Classe A é um reforço completo ou parcial de tecido, aproveitado para coberturas. Tecido de vidro não possui fixação direta na estrutura. Essa cobertura composta deve ser considerada aeronavegável até que o tecido, que se encontra por baixo dele deteriore-se, atingindo os valores inferiores dos listados na figura 3-1.

2. Classe B é um reforço de uma cobertura de tecido, onde o tecido de fibra de vidro possui fixação direta com a cobertura original.

3. Essa cobertura composta é considerada aeronavegável, até o tecido convencional (o que se encontra por baixo do reforço) ter-se deteriorado a menos de 50% dos mínimos valores de resistência a tensão de um tecido novo, listado na figura 3-1.

4. Classe C é uma substituição da cobertura aplicada, ou independentemente, ou sobre uma cobertura convencional. A cobertura de fibra de vidro deverá possuir todas as características necessárias para aeronavegabilidade. Portanto, não dependerá da cobertura que se encontra por baixo dela, se houver.

MISCELÂNEA DE MATERIAIS TÊXTEIS

Fita de superfície

A fita de superfície é uma fita de acabamento, colada com dope sobre cada nervura ou junção ponteada, para prover fino acabamento , alinhamento e uma boa aparência final. Ela pode ser encontrada com borda picotada, serrilhada ou em linha reta, impregnada com um composto selante. As bordas impregnadas de composto ou picotadas, geram uma melhor aderência a cobertura de tecidos.

A fita de superfície é feita de tecido tipo “A” em várias larguras, desde 1.1/4 a 5” ou de tecidos deslizantes de 1 ½ a 6” de largura. A fita de superfície de algodão pode ser usada com algodão tipo “A”, linho ou Dacron. A fita de superfície é também disponível em Dacron, a qual deverá ser a primeira escolha, no caso de uma aeronave revestida de Dacron.

A fita de superfície de linho é freqüentemente usada em revestimentos de fibra de vidro, especialmente usada para cobrir cabeças de parafusos. Se for usada a fita de fibra de vidro, será difícil remover as irregularidades causadas pelas cabeças de parafusos. Usando a fita de linho para cobrir parafusos, temos um acabamento mais suave.

A fita de superfície ou fita de acabamento deve colocar-se sobre todos os cordéis (lacing), costuras (de máquinas e manuais), cantos e lugares onde haja necessidade. As fitas de duas polegadas, geralmente são usadas para estes propósitos. As fitas de superfície picotadas são algumas vezes aplicadas sobre os bordos de fuga das superfícies de comando e aerofólios. Para essa aplicação, a fita deve ter no mínimo 3 polegadas de largura, e se a aeronave nunca ultrapassar a velocidade de 200 mph, deve-se cortar a fita em intervalos iguais, não excedendo 18 polegadas entre os cortes.

Os cortes no bordo de fuga são desnecessários se a aeronave nunca exceder a velocidade de 200 mph. Se a fita começar a separar-se do bordo de fuga, ela romperá na seção cortada, e evitará que se solte completamente do local onde foi aplicada.

A fita é aplicada sobre uma segunda camada úmida de dope, a qual foi aplicada após a primeira demão seca. Uma outra camada de dope é aplicada imediatamente sobre a fita, que irá aderir firmemente à cobertura, porque ambas as superfícies da fita estão impregnadas de dope.

Fita de reforço (cadarço)

A fita de reforço é usada sobre nervuras entre o tecido da cobertura, prendendo-o para prevenir o rasgo (ruptura) na costura através do tecido. Ela também é usada para assentamento da nervura transversal. As fitas de reforço são fabricadas de algodão, Dacron, fibra de vidro, ou materiais de linho. A fita feita de fibra de vidro no acetato, com uma sensível pressão adesiva, é também utilizada.

A fita de reforço está disponível numa variedade de larguras, conforme as diferentes larguras das nervuras, e nas tiras de reforço das nervuras. A fita deve ser ligeiramente maior do que os componentes por ela cobertos. Uma largura dupla somente é necessária para membros muito largos.

As fitas de reforço são usadas sob todos os cordéis, para proteger os tecidos de possíveis cortes.

Essa fita deve estar sob uma delicada tensão e segura em ambas as extremidades. Para asa composta de madeira compensada ou coberturas com bordas de metal, a fita de reforço é estendida somente na longarina dianteira, nas superfícies superiores e inferiores.

Linha de costura

A linha é feita através de torção para a direita ou para a esquerda, que é identificada por vários termos; linha de máquina, linha de máquina torcida, torcida para a esquerda, ou "z-twist" (indica uma linha torcida para a esquerda); "S-twist" indica a linha torcida para a direita.

Uma linha de acabamento de seda não alvejada de algodão, torcida para a esquerda, é usada para costurar na máquina tecidos de algodão.

A linha referida é uma linha a qual vem sendo usada para produzir uma superfície dura e com brilho.

Esse acabamento impede a linha de esfiapar-se ou romper-se. A linha a ser usada deve ter uma resistência à tensão de até 5 lbs por fio.

Uma linha não alvejada de algodão branco e acabamento de seda, é usada em costuras manuais em tecido de algodão. Essa linha deve ter uma resistência de até 14 lbs por fio.

Os tecidos Dacron são costurados com fios de Dacron. Tecidos de vidro (fibra), quando costurados, são com fios sintéticos especiais.

Os fios para costura a mão e codéis devem ser encerados levemente antes do uso. A cera usada não deve exceder 20% do peso do cordel de acabamento.

Uma cera de abelha sem parafina pode ser usada para encerar os fios.

Cordéis de amarração das nervuras

Os cordéis são usados para fixar os tecidos nas nervuras. O cordel deve ser forte para proporcionar uma melhor aderência nos tecidos das superfícies superiores das asas e das nervuras, os quais conduzem a carga para a estrutura principal da asa. O cordel também resiste ao desfiamento, que pode ser provocado pela ação de flexão do tecido e nervuras da asa. Dacron, linho, vidro ou algodão são usados na fabricação dos cordéis que servem para a fixação dos tecidos nas nervuras.

Prendedores especiais

Quando reparos são feitos em superfícies de tecidos, executam-se métodos mecânicos especiais; a fita original de prendimento pode ser duplicada. Parafusos e arruelas são usados em vários modelos de aeronaves, e grampos de arame são usados em outros modelos. Parafusos ou grampos não são utilizados, a menos que já tenham sido usados pelo fabricante da aeronave.

Quando parafusos de auto-freno são usados para fixar tecidos em nervuras da estrutura de metal, deve-se observar os procedimentos a seguir: Buracos desgastados ou distorcidos devem ser redimensionados, e um parafuso de tamanho maior que o original deve ser usado como substituto.

O comprimento do parafuso deve ser suficiente para permitir que os dois últimos fios de rosca ultrapassem a nervura. Uma arruela fina de celulóide deve ser usada sob a cabeça dos parafusos, e deve-se colocar fita de borda picotada com dope sobre cada cabeça.

EMENDAS

Uma emenda consiste numa série de pontos, unindo duas ou mais peças de material. Os pontos bem dados em uma emenda possuem as seguintes características:

1) *Resistência* - Uma emenda deve ter resistência suficiente para suportar o esforço a que será submetida. A resistência de uma emenda é afetada pelo tipo de ponto e linha usados, número de pontos por polegada, pela firmeza da emenda, pela construção da emenda, pelo tamanho e tipo da agulha usada.

2) *Elasticidade* - A elasticidade do material a ser costurado determina o grau de elasticidade desejável em uma emenda. A elasticidade é afetada pela qualidade da linha usada, tensão do fio, comprimento do ponto e tipo de emenda.

3) *Durabilidade* - A durabilidade da emenda é determinada pela durabilidade do material. Tecidos compactos são mais duráveis que os menos incorpados, os quais tendem a trabalhar ou deslizar sobre o outro. Por essa razão, os pontos devem estar firmes, e a linha dentro do tecido para minimizar a abrasão e o desgaste, por contato com objetos externos.

4) *Boa Aparência* - A aparência da emenda é largamente controlada por sua estrutura. Entretanto, a aparência não deve ser o principal fator do serviço. Devem ser levados em consideração a resistência, elasticidade e durabilidade da costura.

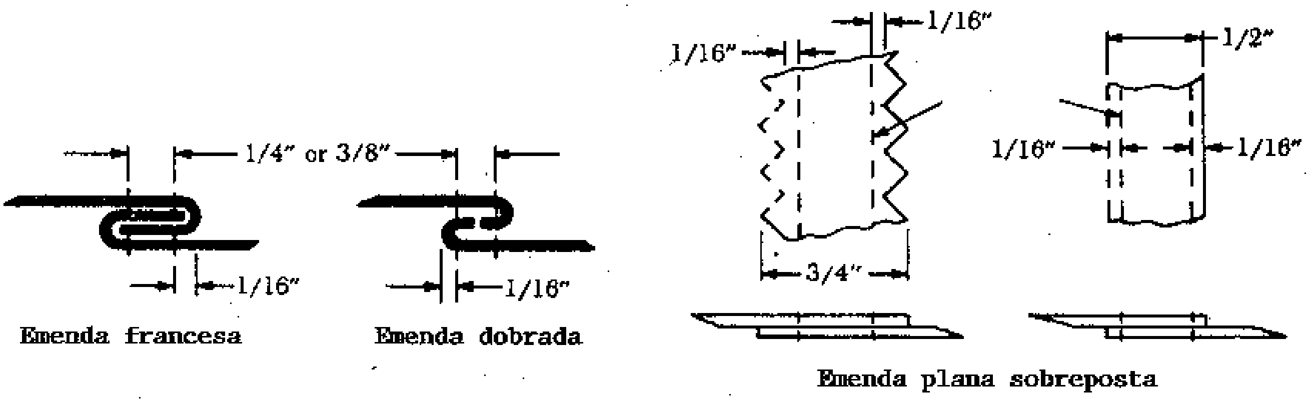
Emendas costuradas

Nas emendas costuradas à máquina (figura 3-4), as bainhas deverão ser do tipo dobrada ou francesa. A emenda plana sobreposta é satisfatoria quando são unidas a ourela, e a parte picotada.

Toda máquina de costura, deveria ter duas fileiras de pontos, com 8 até 10 pontos por polegada. A de pesponto duplo é a preferida. Toda costura deve ser o mais suave possível e de considerável resistência.

Os pontos deverão ter aproximadamente 1/16 de polegada da beira da junção, e de 1/4 até 3/8 de polegada da fileira da costura adjacente.

É necessário costurar à mão para fechar a abertura final na entelagem. As aberturas finais em asa de madeira são às vezes fechadas por alinhavo, mas é preferível que sejam costuradas. Uma bainha de ½ polegada deverá ser dobrada para baixo, e toda costura feita à mão.



Emenda francesa

Emenda dobrada

Emenda plana sobreposta

Figura 3-4 Emendas costuradas à máquina

Como preparatório para costurar à mão, nas asas de madeira, a entelagem pode ser tensionada por meio de percevejos.

Nas asas de metal, a entelagem pode ser tensionada por uma fita adesiva passada no bordo de fuga.

A costura manual ou alinhavo deve iniciar onde a máquina de costura parou, e deve continuar do ponto onde a máquina alcançou, ou onde o tecido estiver inteiro.

A costura à mão deverá ter um arremate em intervalos de 6 polegadas, e a costura deverá terminar com um pesponto duplo e um nó (figura 3-5).

Onde a costura manual ou alinhavo for necessário, o tecido deverá ser cortado e dobrado antes de ser costurado ou alinhavado permanentemente.

Após a costura à mão ter sido terminada, o alinhavo temporário deverá ser removido. Na costura manual deverá haver um mínimo de 4 pontos por polegada.

O ponto duplo na costura sobreposta deverá ser coberto com uma fita de borda picotada, com 4 polegadas de largura no mínimo.

A emenda na superfície superior ou inferior, no sentido da envergadura da asa, deverá ser o mínimo saliente possível.

A emenda deverá ser coberta com uma fita de borda, picotada com 3 polegadas de largura, no mínimo.

A emenda no sentido da envergadura, no bordo de fuga, deverá ser coberta com uma fita de borda picotada no mínimo, com 3 polegadas de largura.

Entalhes (no formato de V) de no mínimo 1 polegada de profundidade e 1 polegada de largura deverão ser cortados em ambas as bordas da fita, se ela for usada para cobrir a su perfícies de controle.

Para aplicação nas aeronaves, que nunca excedem velocidades de 200 MPH, a fita deverá ser entalhada em intervalos iguais, sem exceder 18" entre os entalhes.

Se a fita começar a descolar por causa da pouca aderência ou outras razões, ela será rasgada na seção entalhada, evitando dessa maneira a descolagem no comprimento total da fita.

Emendas costuradas paralelas à linha de vôo podem ser colocadas sobre uma nervura, mas a emenda deverá ser colocada de modo que a laçada não entre na nervura.

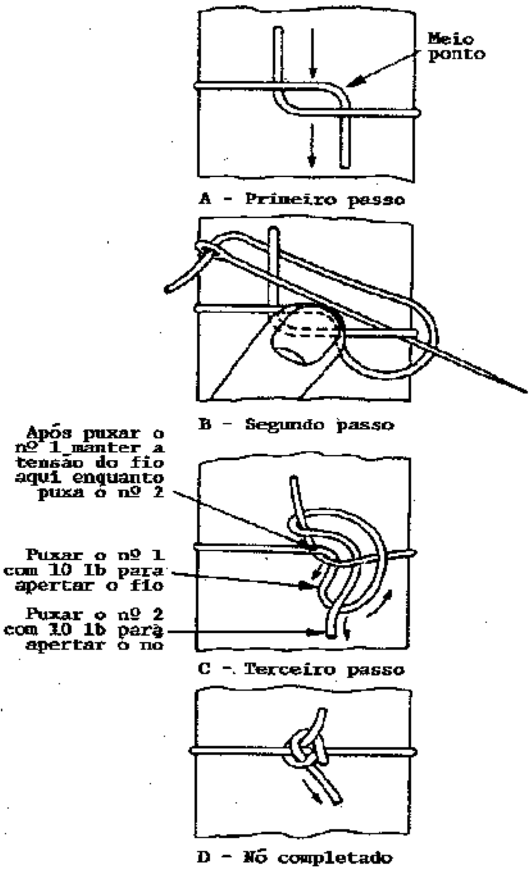

Meio ponto
A - Primeiro passo
B - Segundo passo
Após puxar o nº 1 manter a tensão do fio aqui enquanto puxa o nº 2
Puxar o nº 1 com 10 lb para apertar o fio
Puxar o nº 2 com 10 lb para apertar o no
C - Terceiro passo
D - Nó completado

Figura 3-5 Nó padrão para amarração de nervuras (Nó Seine modificado).

Emendas impermeabilizadas com dope

1) Para uma emenda superposta e impermeabilizada, no sentido da envergadura, em um bordo de ataque coberto por metal ou madeira, dobrar o tecido a no mínimo 4 polegadas e cobrir com uma fita de superfície com bordas picotadas, e tendo no mínimo 4 polegadas de largura.
2) Para uma emenda superposta e impermeabilizada, no sentido da envergadura, no bordo de fuga, dobrar o tecido a no mínimo 4 polegadas e cobrir com uma fita de superfície com bordas picotadas, e tendo no mínimo 3 polegadas de largura.

APLICANDO O REVESTIMENTO

Geral

A aplicação correta do tecido na superfície é satisfatória, se uma boa aparência e grande resistência forem obtidas do material selecionado.

Um bom trabalho de revestimento é importante, não somente pelo ponto de vista da aparência e resistência, mas também porque ele afeta o desempenho da aeronave. Todo o revestimento deve estar esticado e liso, para um melhor desempenho.

Todo material de tecido a ser usado em revestimento deverá ser estocado em um lugar seco, e protegido da luz solar direta, até ser utilizado. O local onde será feita a costura e a aplicação do revestimento deve estar limpo e bem arejado.

Preparação da estrutura para o revestimento

Um dos mais importantes itens para o revestimento de uma aeronave é a adequada preparação da estrutura.

A impermeabilização com dope, a cobertura das arestas que possam desgastar o tecido, a preparação das superfícies de compensados e operações similares, se forem executadas adequadamente, irão garantir um atraente e durável trabalho.

Impermeabilização com dope (ou induto)

Todas as partes da estrutura que forem entrar em contato com o tecido impermeabilizado com dope, devem ser tratadas com uma camada de proteção como papel laminado, tinta impermeabilizante ou fita de celulose. Partes de alumínio ou de aço inoxidável não necessitam proteção.

Pontos de atrito

Todos os pontos da estrutura que tenham bordas cortantes ou cabeças de parafusos, que possam atritar ou desgastar o tecido do revestimento, deverão ser cobertos com tiras de tecido impermeável, fitas de celofane, ou outra fita adesiva não higroscópica.

Após o revestimento ter sido instalado, os pontos de atrito do tecido deverão ser reforçados com remendos de tecido com aplicação de dope.

Onde for necessário um remendo mais resistente, um reforço de lona, de algodão ou de couro, deverá ser costurado no revestimento, seguido de uma aplicação de dope.

Todas as partes do revestimento que são transpassadas por fios, cabos, parafusos ou outras peças, deverão ser reforçadas. Esses reforços deverão ser tão juntos quanto possível para evitar a penetração de umidade ou sujeira.

Fixação entre nervuras

Uma linha contínua de fita de reforço (cadarço) pode ser usada para amarrar as seções das nervuras, entre as longarinas, em espaços igualmente separados, para manter as nervuras em correto alinhamento, impedindo torções ou empenos.

As nervuras da asa que não tenham amarração permanente, deverão ser fixadas na posição correta, com fita de reforço. Aproximadamente no centro, entre a longarina frontal e a traseira, aplicarmos uma fita diagonalmente entre a parte superior e a inferior dos membros longitudinais de cada sucessiva nervura, desde a nervura da raiz da asa até a da ponta. A fita deve ser contínua e ser fixada com uma volta em torno de cada nervura, individualmente.

Preparação da superfície de compensado para o revestimento

Antes de cobrir as superfícies de compensado com o revestimento de tela, preparamos a superfície com uma limpeza e aplicação de selante e dope.

Devemos lixar todas as áreas da superfície que tenham sido manchadas com cola, para uma total limpeza da madeira; remover todas as lascas de madeira e serragem; remover as manchas de óleo ou graxa, lavando cuidadosamente com nafta. Após limparmos a superfície, aplicamos uma camada com escova, ou duas camadas por mergulho, de um selante semelhante ao de especificação MIL-V-6894 diluído a 30% com líquido não volátil, e aguardarmos de 2 a 4 horas para a secagem.

Finalmente, antes de colocarmos o revestimento, aplicamos duas camadas de dope claro com uma escova, permitindo que a primeira camada de dope seque por aproximadamente 45 minutos, antes da aplicação da segunda camada.

Prática de entelagem

O método de colocação da tela de revestimento deverá ser idêntico, tanto pela resistência como pela segurança, ao método usado pela fabricante da aeronave para a colocação ou reparo.

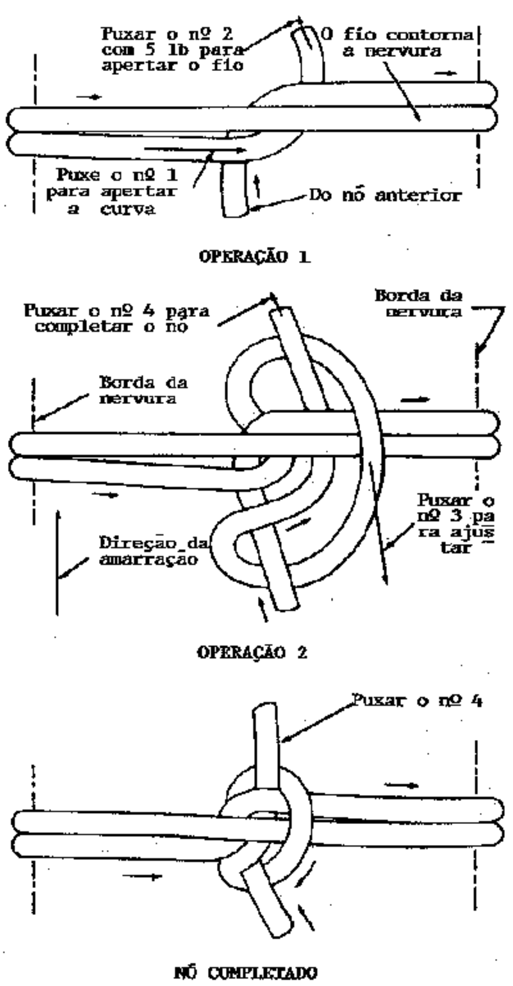


Figura 3-6 Nó padrão para lardagem de volta dupla.

O tecido pode ser aplicado com a urdidura ou a trama paralela a linha de vôo. Os métodos aceitáveis de revestimento são por cobertura ou por envelope (também conhecido como fronha).

O método de revestimento por envelope, consiste em costurar larguras do tecido, cortadas em dimensões específicas e costuradas à máquina para formar um envelope ou fronha, que possa ser puxado sobre a estrutura. Os bordos de fuga e de saída, deverão ser costurados à máquina, a menos que o componente não tenha um formato favorável e, nesse caso, o tecido deverá ser costurado à mão.

No método de revestimento por cobertura, as larguras do tecido de comprimento suficiente são unidas por costura, para formar uma cobertura (ou lençol) sobre as superfícies da estrutura. Os bordos de fuga e de saída do revestimento deverão ser unidos por pontos do tipo “baseball”. Para as aeronaves cujo limite de velocidade é de 150 m.p.h., ou menos, o tecido deve ficar superposto, no mínimo em 1 polegada, e receber o dope na estrutura ou na cobertura; ele pode ser superposto, no mínimo a 4 polegadas do nariz metálico da aeronave ou do bordo de ataque coberto com madeira, receber o dope e um acabamento com uma fita de bordas picotadas, com uma largura mínima de 4 polegadas.

Tanto no revestimento tipo envelope como no tipo cobertura, o tecido deverá ser cortado em tamanho suficiente para passar completamente em torno da estrutura, partindo do bordo de fuga e retornando a ele, após contornar o bordo de ataque. Emendas devem ser feitas, de preferência, paralelas a linha de vôo; no entanto emendas no sentido da envergadura também são aceitáveis.

Antes da aplicação de tecidos de algodão ou linho, aplicamos várias camadas de nitrato de dope, claro e encorpado em todos os pontos nos quais a borda do tecido será colada.

Se a estrutura não receber essas camadas de dope, não ficarão impermeáveis, e o dope utilizado para colar as bordas do tecido será absorvido pela superfície, do mesmo modo que pelo tecido. Isso resultará em uma junção deficiente do tecido com a estrutura, após a secagem do dope. O tecido de Dacron pode ser colado na estrutura, pela utilização de dope ou de uma cola especial.

Após prender o revestimento, o tecido de algodão ou linho deve ser molhado para, através do encolhimento, remover as rugas e o excesso de folga. O tecido deve estar completamente seco, antes de iniciar a aplicação do dope.

O tecido de Dacron pode ser encolhido, por meio do calor de um aquecedor elétrico selecionado para 105º C (225º F), ou pelo uso de refletores de aquecimento.

Não devemos aplicar calor excessivo para não danificar o Dacron, bem como a estrutura de madeira sob ele.

O encolhimento deverá ser feito em vários estágios, e em lados opostos, para um encolhimento uniforme de toda a área. Removemos o excesso de folga com uma aplicação inicial de calor.

O segundo passo será encolher o tecido para o desejado retesamento e remoção da maior parte das rugas remanescentes.

Dopes de nitrato e de butyrato, que não encolhem o tecido, são eficazes e, além disso, não tensionam o revestimento. Os dopes regulares puxam as fibras junto com os fios, podendo com isso danificar as estruturas mais frágeis. Um dope não encolhedor deve ser usado quando o Dacron for encolhido por calor, para a sua tensão final.

Colocação de fitas

As emendas costuradas, bordas superpostas, nervuras costuradas com cordéis ou cabeças de parafuros, devem ser cobertas com fita de superfície, tendo as bordas picotadas.

Utilizamos fita de superfície que tenha as mesmas características do tecido usado no revestimento.

Para aplicar a fita, primeiro aplicamos uma camada de dope, seguida imediatamente da fita. Pressionamos a fita na camada de dope. Retiramos as bolhas de ar e aplicamos uma camada de dope sobre a superfície da fita.

REVESTINDO ASAS

As asas podem ser revestidas com tecido pelo método envelope, cobertura, ou uma combinação de ambos.

O método envelope é o preferido e deverá ser usado sempre que possível.

O método de envelope para o revestimento de asas, consiste em costurar juntas, várias larguras do tecido com dimensões definidas e, em seguida, uma emenda no sentido da envergadura da asa para fazer um envelope ou manga.

A vantagem do método envelope, é que praticamente toda a costura é à máquina, e se consegue uma enorme economia de trabalho na fixação do revestimento. O envelope é puxado sobre a asa, e a abertura é fechada por uma costura manual.

Quando o envelope é usado no reparo de uma porção de superfície, a extremidade do tecido deve estender-se 3 polegadas além da nervura adjacente.

Se o envelope estiver nas dimensões adequadas, ele se ajustará a asa.

Quando possível, a emenda no sentido da envergadura deverá ser colocada ao longo do bordo de fuga.

No método de cobertura, várias larguras do tecido são costuradas juntas, à máquina, e colocadas sobre a asa com uma emenda costurada a mão, no sentido da envergadura, e ao longo do bordo de fuga.

Muito cuidado deve ser tomado para aplicar uma tensão igual em toda a superfície. Na combinação de métodos, devemos usar o método de envelope tanto quanto possível, e o método de cobertura para o revestimento remanescente.

Esse método é aplicável para asas com obstruções ou recessos, que impeçam a total aplicação de um envelope.

Após o revestimento ter sido costurado no lugar, e esticado; uma fita reforçadora, que tenha no mínimo a largura da tira de reforço da nervura da asa, deve ser colocada sobre cada nervura, e o tecido do revestimento é amarrado em cada uma delas.

Exceto em asas muito expessas, o cordel de amarração deve passar completamente em volta da nervura, nessas asas, somente as tiras de reforço inferiores e superiores da nervura serão individualmente amarradas.

Ao amarrar qualquer revestimento de uma asa, o cordel deverá ser mantido tão próximo quanto for possível da tira de reforço da nervura, enfiando-se a agulha bem junto à tira.

A nervura não deverá ter qualquer aspereza ou borda cortante em contato com o cordel, ou ele se romperá.

Cada vez que o cordel envolver a nervura, será dado um nó, e o próximo ponto será feito a uma especificada distância.

Essa amarração é chamada “lardagem”.

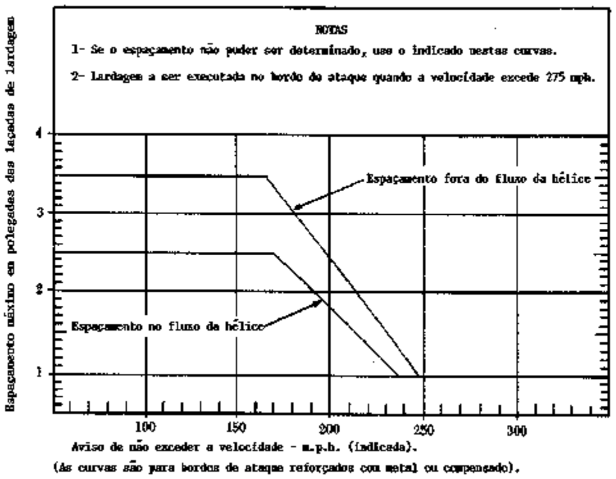


Figura 3-7 Carta de espaçamento dos pontos de lardagem.

A fim de evitar uma super tensão na lardagem, é necessário espaçar os pontos em uma distância determinada, que depende do limite de velocidade da aeronave.

Por causa do impacto adicional causado pelo fluxo de ar da hélice, os pontos da lardagem devem estar mais próximos em todas as nervuras contidas na direção do fluxo da hélice.

O espaçamento dos pontos não deverá exceder ao existente na cobertura original da aeronave.

Se o espaçamento original não puder ser conhecido, devido a destruição do revestimento anterior, um espaçamento aceitável dos pontos de lardagem podem ser encontrados na figura 3-7.

Os orifícios de passagem dos cordéis da lardagem devem ser colocados, o mais próximo possível, das tiras de reforço das nervuras, para minimizar a tendência do cordel rasgar a tela.

Todos os cordéis de lardagem devem ser encerados levemente com cera de abelha (cera virgem), para proteção.

Tiras anti-rasgo

Nas aeronaves de velocidade muito alta, dificuldades são frequentemente experimentadas com o rompimento da lardagem, ou com rasgos do tecido do revestimento, devido ao fluxo de ar da hélice.

Em aeronaves com limite de velocidade acima de 250 m.p.h., tiras anti-rasgo são recomendadas sob as tiras de reforço da superfície superior e inferior das asas, na direção do fluxo de ar da hélice.

Onde as tiras anti-rasgos são usadas tanto na superfície superior como na inferior, elas devem ser estendidas continuamente em direção ao bordo de ataque, contorná-lo e seguir em direção ao bordo de fuga.

Onde as tiras são usadas somente na superfície superior, devemos estendê-las em direção ao bordo de ataque, para contorná-lo e avançar na parte inferior, até a longarina dianteira.

Para essa finalidade, o espaço da asa que sofre os efeitos do fluxo de ar da hélice, deverá ser considerado como sendo igual ao diâmetro da hélice, e mais o espaço de uma nervura extra de cada lado.

As tiras anti-rasgo devem ser do mesmo material usado no revestimento, e devem ter uma largura suficiente para cobrir em ambos os lados a tira de reforço da lardagem.

Colocamos as tiras, aplicando dope na parte do revestimento que será coberto por elas e após a colocação, aplicamos dope sobre as tiras.

Lardagem de uma volta

Ambas as superfícies do tecido de revestimento, das asas e superfícies de controle, devem ser presas nas nervuras por cordéis (fios de lardagem) ou algum outro método originalmente aprovado para a aeronave.

Todas as bordas agudas, contra as quais os fios de lardagem possam atritar, devem ser protegidas com fitas para evitar a abrasão dos cordéis.

Pontas individuais do cordel deverão ser unidas pelo nó mostrado na figura 3-8. O nó quadrado comum, que tem uma fraca resistência ao deslizamento, não deve ser usado para unir pedaços de cordel.

O maior cuidado deve ser tomado para garantir uma tensão uniforme e segura em todos os pontos da amarração.

A amarração da nervura (lardagem), normalmente é iniciada no bordo de ataque, em direção ao bordo de fuga.

Se o bordo de ataque é coberto com compensado ou metal, a lardagem deve começar imediatamente após essas cobertas.

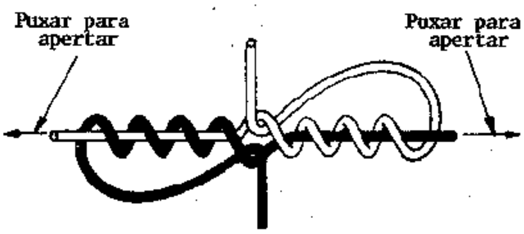
O primeiro ponto, ou ponto inicial, é feito com duas voltas, usando o método ilustrado na figura 3-9. Todos os nós subsequentes podem ser feitos com apenas uma volta do cordel.

A distância entre o primeiro nó e o segundo, deverá ser a metade do espaço normal entre os pontos.

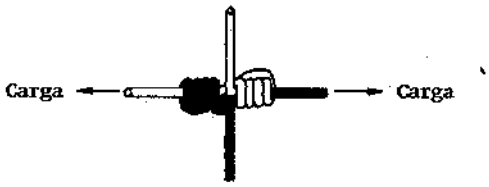
Onde terminam os pontos de lardagem, como longarina traseira e bordo de fuga, os últimos dois pontos deverão ser espaçados com a metade do espaço normal.

Lardagem de volta dupla

A lardagem de volta dupla ilustrada nas figuras 3-9 e 3-10 representa um método para obter a maior resistência possível com a lardagem padrão simples. Quando usando a de volta dupla, o nó “TIE-OFF” é feito pelo método mostrado na figura 3-6.

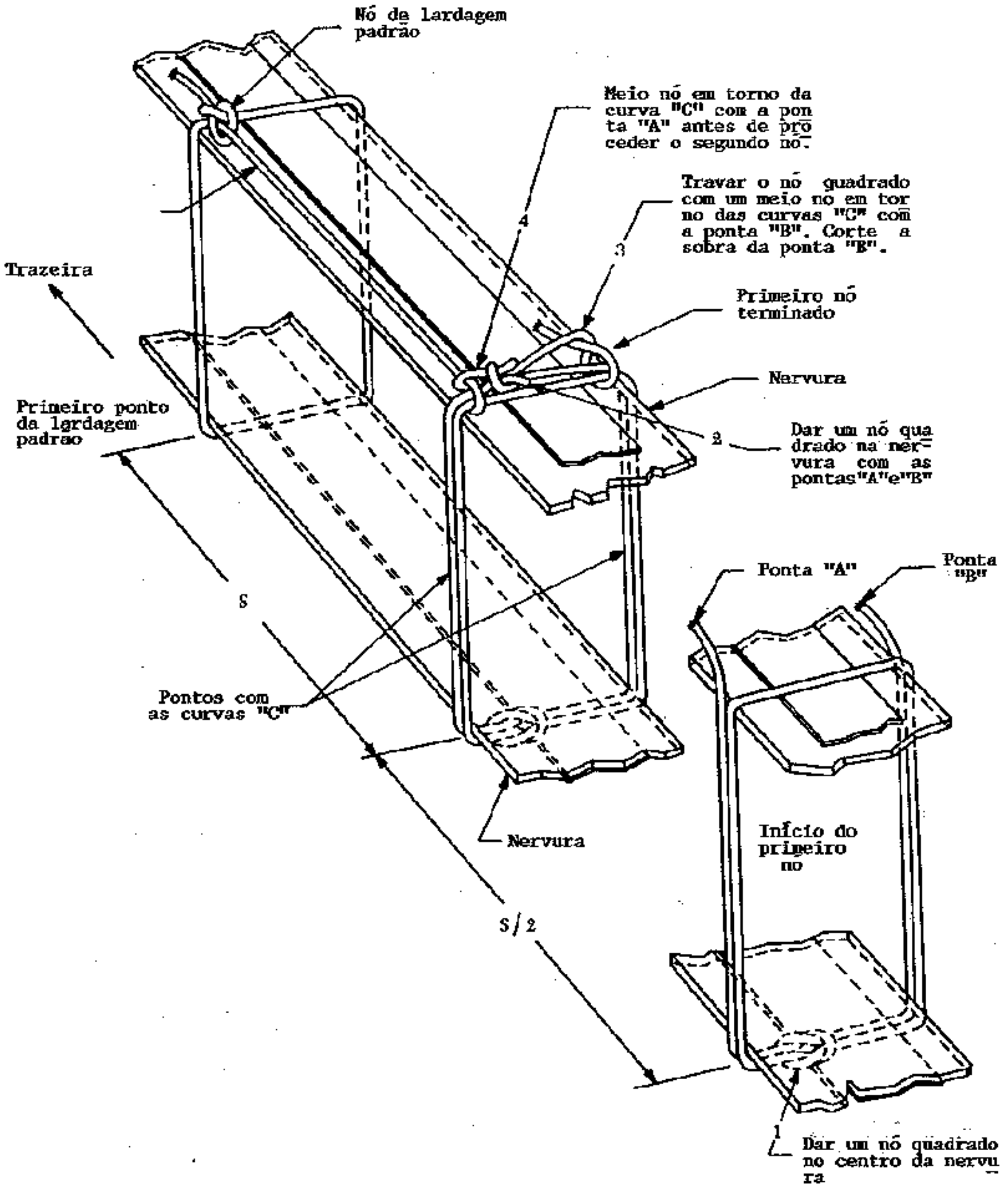

Puxar para apertar
Puxar para apertar

Nó formado mas não apertado


Carga
Carga

Nó completado

Figura 3-8 Nó enlaçado (Splice).


Nó de lardagem padrão
Meio nó em torno da curva "C" com a ponta "A" antes de proceder o segundo nó.
4
Travar o nó quadrado com um meio nó em torno das curvas "C" com a ponta "B". Corte a sobra da ponta "B".
3
Trazeira
Primeiro nó terminado
Nervura
Primeiro ponto da lardagem padrão
2
Dar um nó quadrado na nervura com as pontas "A" e "B"
Ponta "A"
Ponta "B"
S
Pontos com as curvas "C"
Nervura
Início do primeiro nó
S/2
1
Dar um nó quadrado no centro da nervura

Figuras 3-9 Ponto inicial de lardagem

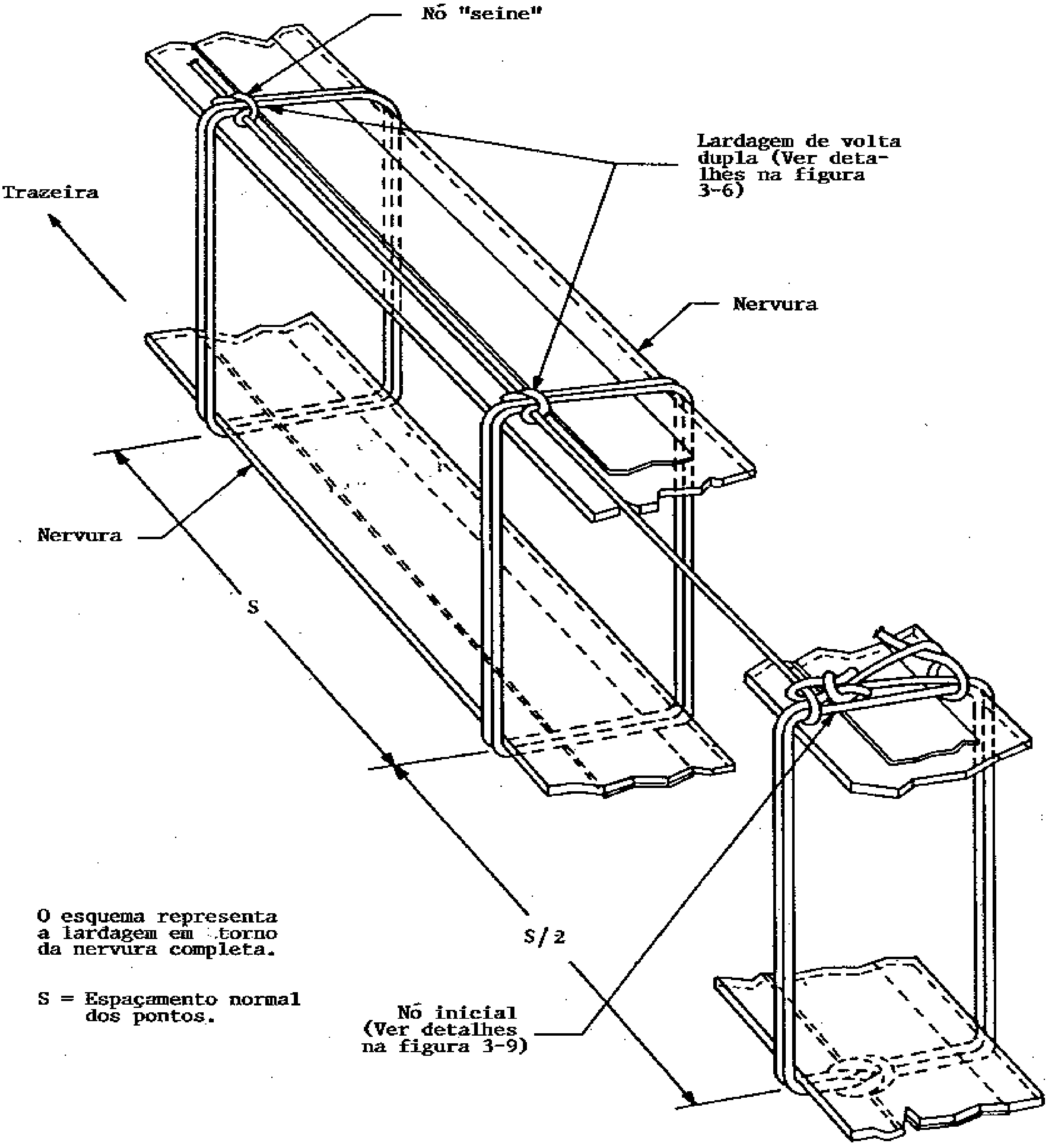
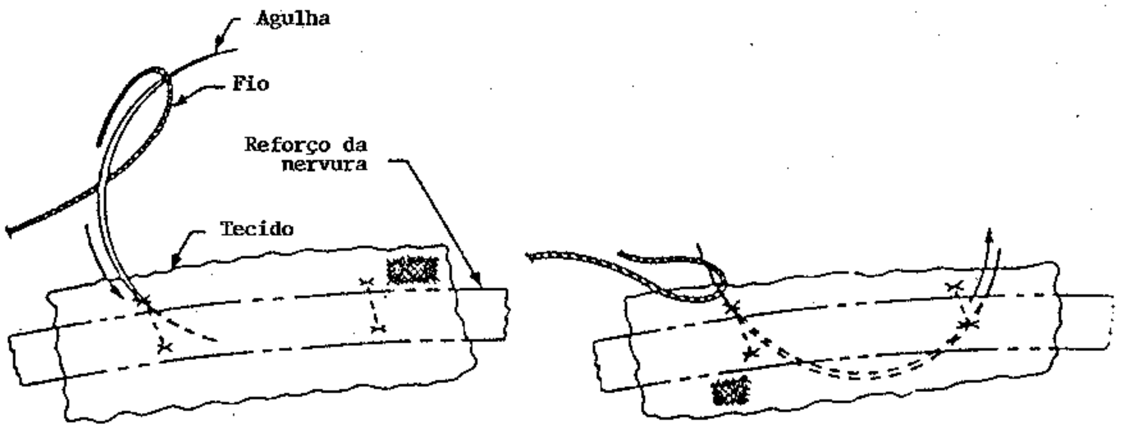
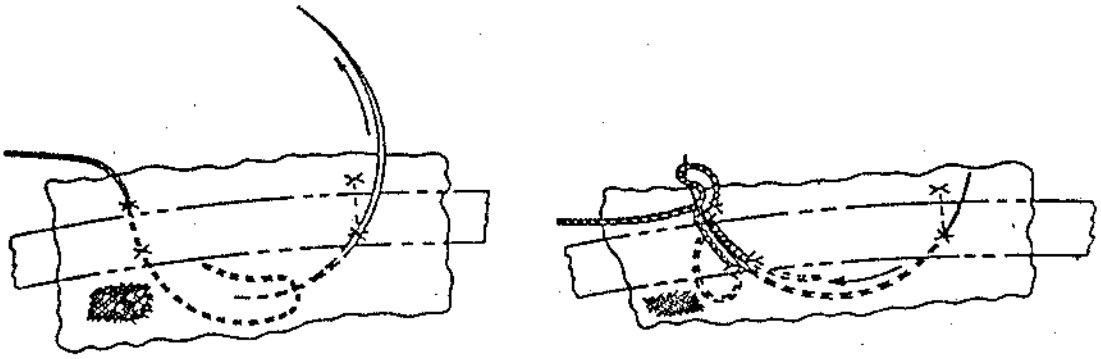

Nó "seine"
Lardagem de volta dupla (Ver detalhes na figura 3-6)
Trazeira
Nervura
Nervura
S
S/2
O esquema representa a lardagem em torno da nervura completa.
S = Espaçamento normal dos pontos.
Nó inicial (Ver detalhes na figura 3-9)

Figura 3-10 Lardagem de volta dupla, padrão.



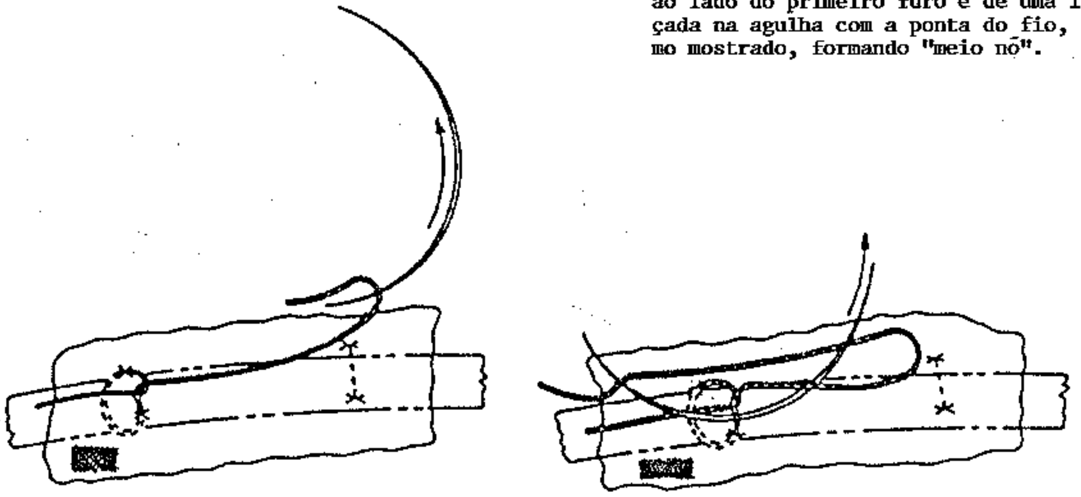
1 - A agulha começa atravessando o tecido junto da borda do reforço da nervura.

2 - Cruzando por baixo do reforço e atravessando o tecido.



3 - Puxe a agulha com a linha através do primeiro furo no tecido.

4 - Faça com que a extremidade da agulha que contém a linha atravesse o tecido ao lado do primeiro furo e dê uma laçada na agulha com a ponta do fio, como mostrado, formando "meio nó".



5 - Puxe a agulha, completamente para fora, e aperte o "meio nó" como mostrado.

6 - Passe a agulha sob o "meio nó" e através da curva "K" como mostrado - Puxe então a agulha apertando o "meio nó"- Prenda com o polegar o ponto "J" e aperte a curva "K" voltando ao "meio nó" para formar um nó "Seine".

Figura 3-11 Lardagem em torno do reforço da nervura.

Nós "tie-off"

Todos os pontos, exceto o primeiro, devem ser do tipo "tie-off", usando-se o nó padrão para a amarração da nervura da figura 3-5.

Esse nó é localizado na borda da faixa de reforço da figura 3-9. Os nós situados no topo das tiras de reforço estão sujeitos a um desgaste maior, e também têm efeito adverso sobre a aerodinâmica do aerofólio.

Os nós “tie-off” normalmente são usados na superfície inferior de aeronave de asa baixa e na superfície superior de aeronave de asa alta, para melhorar o acabamento das superfícies.

A localização de um nó depende da localização original definida pelo fabricante. Se tal informação não estiver disponível, consideraremos o posicionamento do nó onde houver o mínimo efeito sobre a aerodinâmica do aerofólio.

O nó “seine” permite a possibilidade de tensão inadequada, comprometendo o formato e reduzindo enormemente a eficiência e não deve ser usado como último ponto “tie-off”.

O nó “tie-off”, como último ponto, é preso com um meio puxão adicional. De maneira alguma os nós “tie-off” são puxados para trás, através das aberturas das laçadas de lardagem.

REVESTIMENTO DE FUSELAGENS

As fuselagens são revestidas tanto pelo método envelope ou o cobertura, semelhantes aos métodos descritos para revestimentos das asas.

No primeiro método, várias seções de tecido são unidas por costura à máquina, para formar uma vestimenta que se ajustará perfeitamente, quando esticado sobre o final da fuselagem.

Quando o revestimento estiver colocado, todas as costuras devem estar alinhadas paralelamente com os elementos da fuselagem.

No método cobertura, todas as costuras são feitas à máquina, exceto uma costura final longitudinal, ao longo do centro ventral da fuselagem.

Em alguns casos; o revestimento é posto sobre duas ou três seções, e costurado à mão na própria fuselagem. Todas as costuras devem correr de proa à popa.

Amarração na fuselagem

A amarração do tecido também é necessária em fuselagens “deep”, e naquelas em que as longarinas e nervuras modelem o tecido em curvatura.

No último caso o tecido deve ser amarrado nas longarinas, em intervalos. O método de prender o tecido na fuselagem deve ser, no mínimo, equivalente em resistência e integridade ao usado pelo fabricane da aeronave.

ABERTURAS DE INSPEÇÃO, DRENAGEM E VENTILAÇÃO

O interior de seções cobertas é ventilado e drenado para prevenir acúmulo de umidade e danos à estrutura. Orifícios de ventilação e drenagem são munidos de bordas reforçadas com plástico, alumínio ou arruelas de reforço de latão (grometes).

As arruelas são aplicadas com dope sob as superfícies de tecido, onde a umidade pode ser acumulada. É usual a colocação de uma dessas arruelas de reforço em cada lado de uma nervura, na parte de baixo da borda. As arruelas de reforço são também colocadas nos pontos mais baixos de drenagem das asas, ailerons, fuselagem e empenagem, para propiciar completo escoamento.

Grometes plásticos (figura 3-12), existem tanto na forma de arruela circular e fina como em forma aerodinâmica. São colados com dope na cobertura de tecido, imediatamente após a fita de superfície ser aplicada. Os de forma aerodinâmica, normalmente são instalados com a abertura na direção do bordo de fuga da superfície.

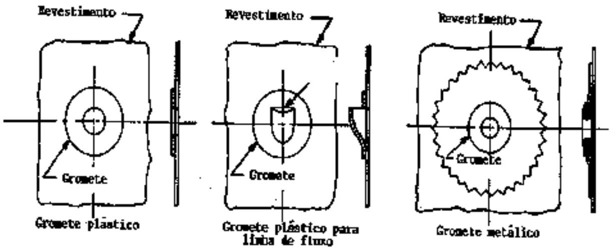


Figura 3-12 Grometes típicos.

Os grometes de alumínio e latão, também mostrados na figura 3-12, são montados nos remendos de tecido, tanto redondos quanto quadrados. As bordas do remendo são picotadas para propiciar melhor adesão. A montagem do remendo é aplicada com dope no revestimento após a fita ser aplicada na superfície.

Janelas de inspeção e orifícios de acesso são abertos em todas as superfícies, tanto cobertas com metal ou tecido. Uma maneira de prover essas aberturas em superfícies cobertas com tecido, é colar um remendo com zíper no local desejado. Um outro método de inspeção para superfícies de metal ou tela, é instalar uma armação no interior da asa, de modo que uma placa de cobertura possa ser fixada por parafusos.

Essas armações são construídas dentro da estrutura, em qualquer lugar em que haja acesso; ou, onde orifícios de inspeção sejam necessários.

REPAROS DE COBERTURAS DE TECIDO

Geral

Reparar superfícies cobertas com tecido, é o mesmo que recuperar a resistência original do tecido voltando a ficar distendido como antes objetos estranhos no inferior da estrutura. O tipo de técnica de reparo a ser usado depende do tamanho e localização do dano, bem como da velocidade limite da aeronave.

Quando recobrindo o tecido de superfícies de controle, especialmente em aeronaves de alto desempenho, os reparos não devem envolver adição de peso atrás da linha da articulação. A adição de peso perturba o balanceamento estático e dinâmico da superfície, podendo induzir a instabilidade.

Reparo de rasgos

Cortes pequenos ou rasgos, são reparados, costurando-se as bordas juntas, e colando com dope um remendo sobre a área. O ponto “baseball” é empregado no reparo de rasgos. O tipo ilustrado na figura 3-13 permite que as bordas danificadas sejam puxadas para sua posição original, permitindo então que um reparo bem esticado seja feito.

O primeiro ponto começa com a inserção da agulha pelo lado de baixo. Todos os pontos subseqüentes são feitos inserindo-se a agulha pelo topo contrário, de tal modo que, o local exato para fazer o ponto seja mais precisamente localizado.

As bordas são costuradas juntas, usando uma linha adequada.

O último ponto é ancorado com um nó “seine” modificado. Os pontos não devem ter mais do que ¼ de polegada de distância e devem ficar ¼ de polegada para dentro da cobertura.

Devemos cortar dois remendos de tamanho suficiente para cobrir o rasgo, estendendo-se, no mínimo 1.1/2 polegadas além do rasgo, em todas as direções (figura 3-14).

O tecido usado deve ser no mínimo, tão bom quanto o tecido original. As bordas do remendo devem ser picotadas ou esfiapadas cerca de ¼ de polegada em todos os lados.

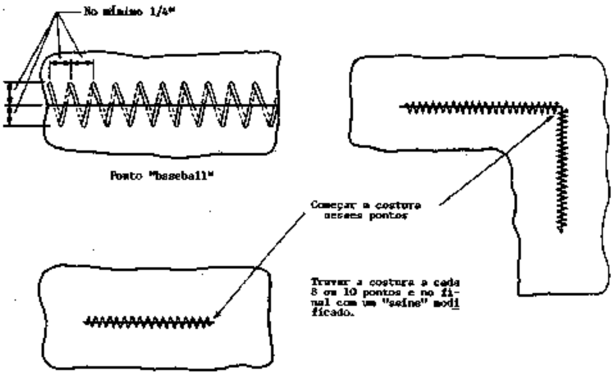

No mínimo 1/4"
Ponto "baseball"
Começar a costura nesses pontos
Travar a costura a cada 8 ou 10 pontos e no final com um "seine" modificado.

Figura 3-13 Reparos de rasgos em tecidos.

Um remendo é saturado com thiner ou acetona e colocado sobre o rasgo costurado para remover o acabamento anterior.

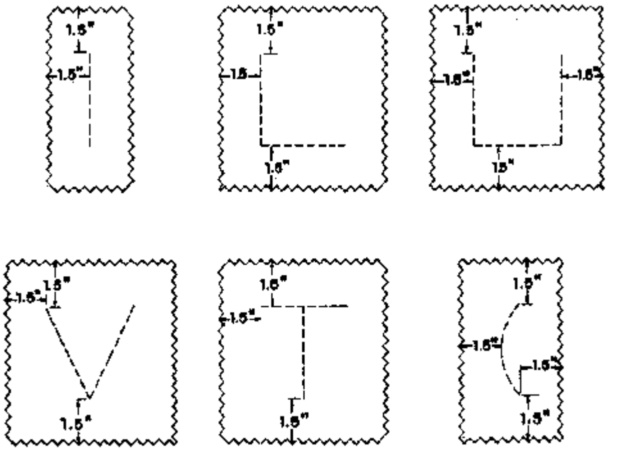


Figura 3-14 Remendos sobre rasgos. A linha interrompida representa o rasgo costurado.

O remendo é ocasionalmente umedecido com um pincel, até que todo o recobrimento antigo amoleça o suficiente para ser removido com uma espátula.

Como somente o acabamento sob o remendo é removido, um reparo nivelado pode ser feito.

É aplicada uma camada de dope para esticar o segundo remendo, e também na área do qual o acabamento foi removido.

Enquanto ainda úmido, esse remendo é aplicado para a cobertura, e alisado para ficar livre de bolhas de ar.

Sucessivas camadas de dope, transparente e pigmentado, são aplicadas até que a superfície remendada tenha alcançado a mesma tensão e aparência da superfície original ao redor.

Reparo com remendo costurado

Danos em revestimentos, onde as bordas do rasgo estejam esfarrapadas, ou onde um pedaço esteja faltando, são reparados costurando-se um remendo de tecido por dentro da área danificada, e colando com dope um remendo superficial sobre o remendo costurado.

Um reparo com remendo costurado internamente pode ser usado em danos não maiores do que 16 polegadas, em qualquer direção.

A área danificada é preparada na forma de abertura circular ou oval. O tecido inserido é cortado no tamanho suficiente para se estender ½ polegada, além do diâmetro da abertura. A ½ polegada de excesso é dobrada para baixo como reforço.

Antes de costurar, fixamos o remendo com alguns pontos (algo semelhante a alinhavar) temporariamente, para ajudar na costura das emendas. As bordas são costuradas com ponto “baseball”.

Após a costura ser completada, limpamos a área do tecido velho para ser aplicado dope, como indicado para reparo de rasgos e, então, aplicamos dope no remendo da maneira usual. A fita de superfície é aplicada sobre qualquer costura que tenha uma segunda camada de dope. Se a abertura prolonga-se até 1 polegada de uma nervura, o remendo precisa ser cortado com 3 polegadas além dessa nervura.

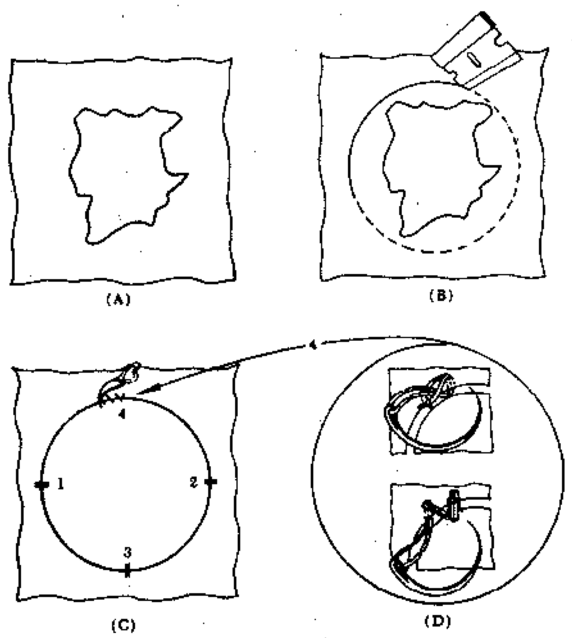


Figura 3-15 Reparo com remendo costurado.

Depois de a costura ser completada, o remendo precisa ser amarrado à nervura sobre uma nova seção de fita de reforço. A velha amarração na nervura e fita de reforço não precisam ser removidas.

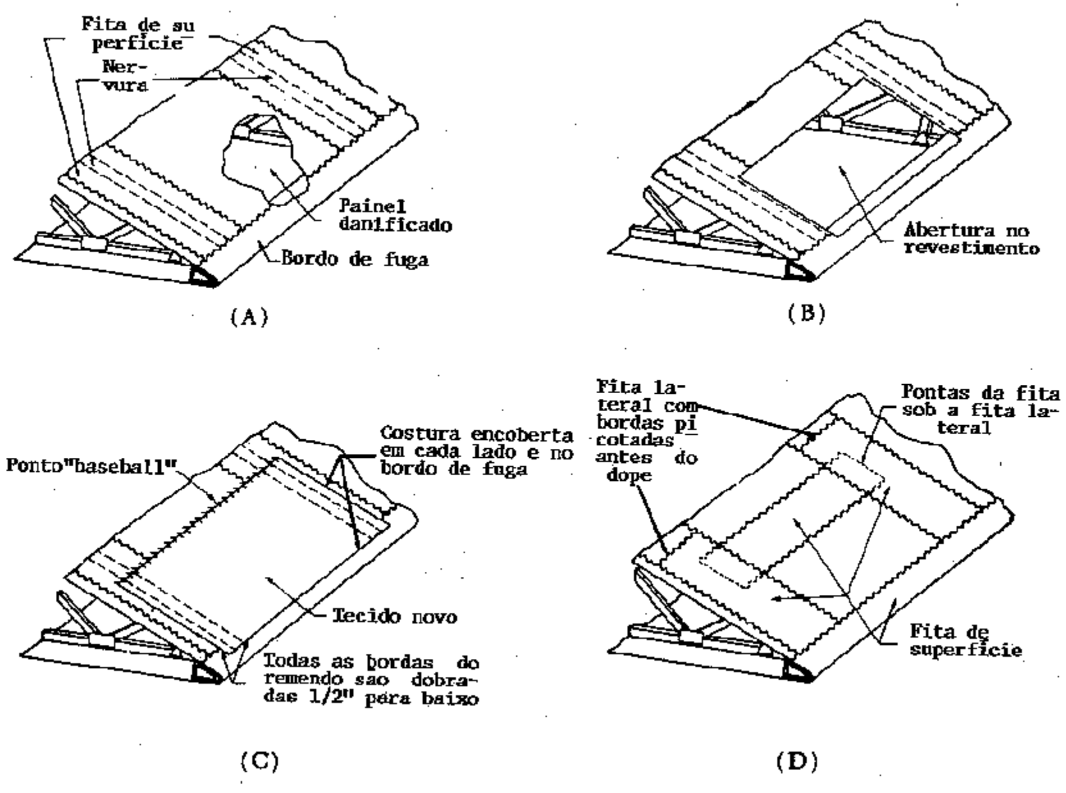

Fita de superficie
Nervura
Painel danificado
Bordo de fuga
(A)
Abertura no revestimento
(B)
Ponto"baseball"
Costura encoberta em cada lado e no bordo de fuga
Tecido novo
Todas as bordas do remendo sao dobradas 1/2" para baixo
(C)
Fita lateral com bordas picotadas antes do dope
Pontas da fita sob a fita lateral
Fita de superficie
(D)

Figura 3-16 Reparo de painel de bordo de fuga.

Se o revestimento de tecido estiver danificado no bordo de fuga, ou parte dele tiver sido perdida, conforme mostrado na figura 3-16A, pode ser reparado como a seguir:

A parte danificada do painel é removida, fazendo-se uma abertura quadrada ou retangular, como mostrado na figura 3-16B.

Um remendo é cortado com tamanho suficiente para se estender ¾ de polegada além de ambos os lados da borda da abertura, e ½ polegada além do topo.

As bordas do remendo são reforçadas, sendo dobradas em ½ polegada antes de serem costuradas e cada canto é esticado e temporariamente mantido no lugar com pinos "T". Os dois lados e o bordo de ataque, conforme mostrado na figura 3-16C, são costurados ao velho revestimento, com a borda dobrada estendendo-se ¼ de polegada além das duas nervuras. O topo da abertura é então costurado e são passados a fita e o dope, conforme mostrado na figura 3-16D, completando o reparo.

Reparo com painel costurado internamente

Quando a área danificada ultrapassa 16 polegadas em qualquer direção, um novo painel precisa ser instalado. Removemos a fita de superfície das nervuras adjacentes à área danificada, assim como dos bordos de fuga e de ataque da seção sendo reparada. Deixamos a velha fita de reforço no lugar.

Cortamos o tecido velho, ao longo de uma linha de aproximadamente 1 polegada do centro das nervuras, do lado mais próximo ao dano, e prosseguimos o corte para remover a seção completamente. O tecido velho não precisa ser removido dos bordos de fuga e de ataque, a menos que as superfícies superior e inferior estejam sendo recobertas. Não removemos a fita de reforço nem a amarração nas nervuras.

Cortamos um remendo que se estenda do bordo de fuga, sobre e em torno do bordo de ataque, e retornamos à longarina frontal. O remendo deve estender-se, aproximadamente, 3 polegadas além das nervuras adjacentes ao dano.

A área do tecido velho a ser coberta pelo remendo, deve estar limpa e então colocamos o remendo no lugar, esticado e preso com alfinetes. Após o remendo estar alfinetado no lugar, dobramos para baixo do bordo de fuga e do bordo de ataque do remendo ½ polegada, e costuramos no tecido velho. O lado das margens é dobrado ½ polegada, e costurado no pano velho. Após pronta a costura, colocamos a fita de reforço sobre as nervuras com tensão moderada, e as amarramos nas nervuras abaixo. Só então, os alfinetes temporários são, removidos.

No painel aplicamos uma camada de dope, e o deixamos secar. A fita de superfície com a segunda camada de dope é aplicada sobre a fita de reforço e sobre as margens do painel. Terminamos a dopagem usando seus procedimentos regulares.

Esse tipo de reparo pode ser usado para cobrir superfícies superiores e inferiores e para cobrir várias áreas entre nervuras, se necessário. O painel deve ser amarrado em todas as nervuras cobertas.

Reparo sem costura em tecido (com dope)

Reparo sem costura usando dope, pode ser feito em todas as superfícies de aeronaves cobertas com tecido, desde que a aeronave nunca exceda a velocidade de 150 m.p.h. Um remendo com dope pode ser usado, se a área danificada não excede 16 polegadas, em qualquer direção. A seção danificada é removida ao se fazer um furo oval ou redondo, com contornos suaves. Usamos um solvente de graxa para limparmos as bordas da abertura a ser coberta pelo remendo. O dope da área é removido ao redor do remendo, ou retirado com solvente para dope. Seguramos o tecido por baixo durante a remoção do dope com lixa.

Para furos até 8 polegadas, fazemos o remendo com um tamanho suficiente para deixar uma borda de pelo menos 2 polegadas ao redor do furo. Para furos maiores que 8 polegadas, deixamos uma borda ao redor do furo de pelo menos ¼ do seu diâmetro, com um limite máximo de 4 polegadas. Se o furo se estender sobre uma nervura, ou mais próximo que a sobreposição requerida em uma nervura ou outro membro, o remendo deverá estender-se pelo menos 3 polegadas além da nervura. Nesse caso, depois de passar o dope nas bordas do remendo, e depois de ter secado, o remendo deve ser amarrado à nervura sobre uma nova seção de fita de reforço, de maneira usual. A velha amarração da nervura e o velho reforço não devem ser removidos. Todos os remendos devem ter bordas picotadas, caso contrário, devem ser acabados com uma fita adesiva de bordas picotadas.

Reparo de painel com aplicação interna de dope

Quando a área danificada excede 16 polegadas em qualquer direção, fazemos o reparo usando dope no novo painel. Esse tipo de reparo pode ser utilizado para cobrir superfícies superiores e inferiores, e cobrir várias áreas de nervuras se necessário. O painel deve ser amarrado em todas as nervuras cobertas, e ele deverá ser dopado ou costurado como no método de cobertura.

Remover a fita adesiva de superfície das nervuras adjacentes à área danificada e dos bordos de ataque e de fuga da seção sendo reparada, é tão importante quanto deixar a fita de reforço antiga e amarrá-la no lugar. O próximo passo é cortar o tecido ao longo da linha, aproximadamente 1 polegada das nervuras nos lados mais próximos da área danificada, e continuar cortando para remover a seção completamente. O tecido antigo, não deve ser removido dos bordos de ataque e de fuga, a menos que ambos as superfícies superiores e inferiores estejam sendo recobertas.

O remendo é cortado ao longo do bordo de fuga 1 polegada, estendendo-se a partir do bordo de fuga para o bordo de ataque até a longarina dianteira; ele deve estender-se aproximadamente 3 polegadas além das nervuras adjacentes ao dano. Como meio alternativo de fixação sobre bordos de ataque metálicos ou de madeira, o remendo deve passar sobre o antigo revestimento pelo menos 4 polegadas na extremidade do bordo de ataque, dopado e acabado com pelo menos 8 polegadas de fita adesiva picotada.

A área do revestimento antigo a ser coberta deve estar limpa para aplicarmos uma camada generosa de dope nessa área. O novo painel no lugar, deve ser esticado tanto quanto possível, enquanto uma camada de dope é aplicada sobre a parte do painel que cobrir o revestimento antigo. Só depois que essa camada secar, aplicamos uma segunda camada de dope na área coberta, e a deixamos secar.

Uma fita de reforço sob tensão moderada é colocada sobre as nervuras, e o revestimento é amarrado a elas.

Aplicamos uma camada de dope transparente e a deixamos secar. Uma fita adesiva, com uma segunda camada de dope, é aplicada sobre a fita e as bordas do painel. Terminamos a aplicação de dope usando os procedimentos normais.

SUBSTITUIÇÃO DE PAINÉIS EM COBERTURAS DE ASAS

O reparo de partes estruturais requerem a abertura do revestimento. A fita de supefície é removida da nervura danificada, das nervuras ao lado e ao longo dos bordos de fuga e ataque onde o tecido terá que ser cortado. A amarração é removida da nervura danificada. O revestimento é cortado ao longo do topo da nervura danificada, e ao longo dos bordos de fuga e ataque, como mostra a figura 3-17.

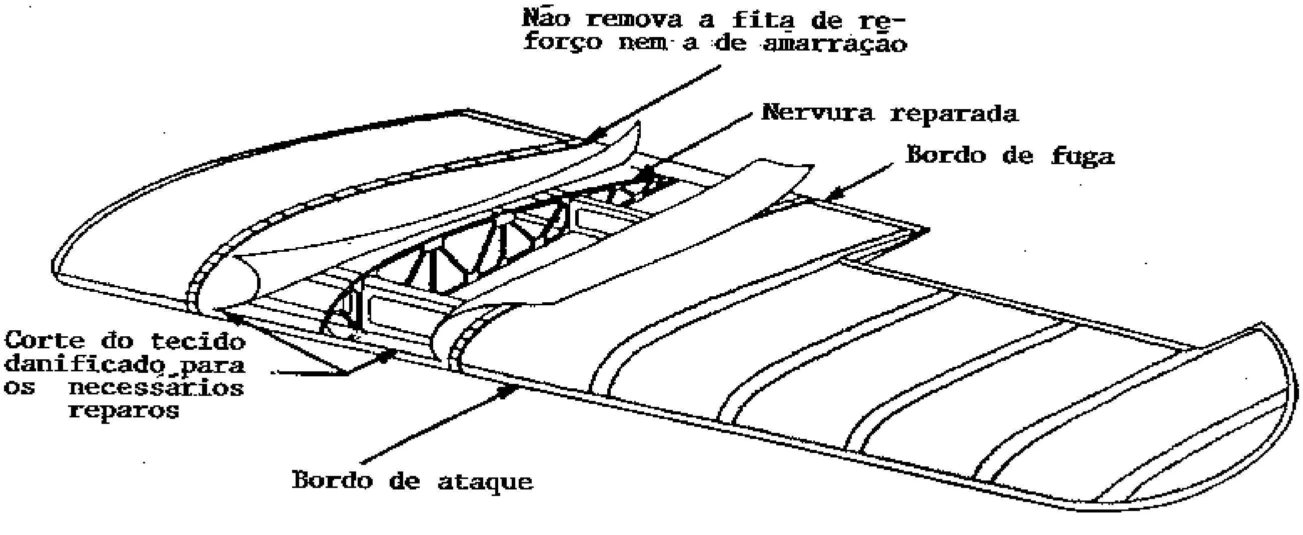

Não remova a fita de reforço nem a de amarração
Nervura reparada
Bordo de fuga
Corte do tecido danificado para os necessários reparos
Bordo de ataque

Figura 3-17 Abrindo o revestimento para reparo estrutural interno.

Para fechar um corte desse tamanho, as bordas cortadas são unidas sobre a nervura, o bordo de ataque e o bordo de fuga, com ponto “baseball”; e o novo painel de revestimento é costurado sobre toda a área reparada. O novo painel se estende entre as nervuras adjacentes e do bordo de fuga ao bordo de ataque (figura 3-18).

O novo tecido é cortado, de forma que possa ser dobrado sob ½, polegada e levado ¼ de polegada além das nervuras adjacentes onde está costurado. Os bordos de ataque e de fuga são dobrados e costurados da mesma maneira. Depois do painel ter sido costurado no lugar, colamos uma nova fita de reforço sobre a nervura reparada.

O novo revestimento é amarrado a cada uma das nervuras adjacentes sem usarmos nenhuma fita de reforço adicional. E, finalmente, todas as fitas de superfície são substituídas, e a nova superfície é acabada de forma a corresponder com a cobertura original.

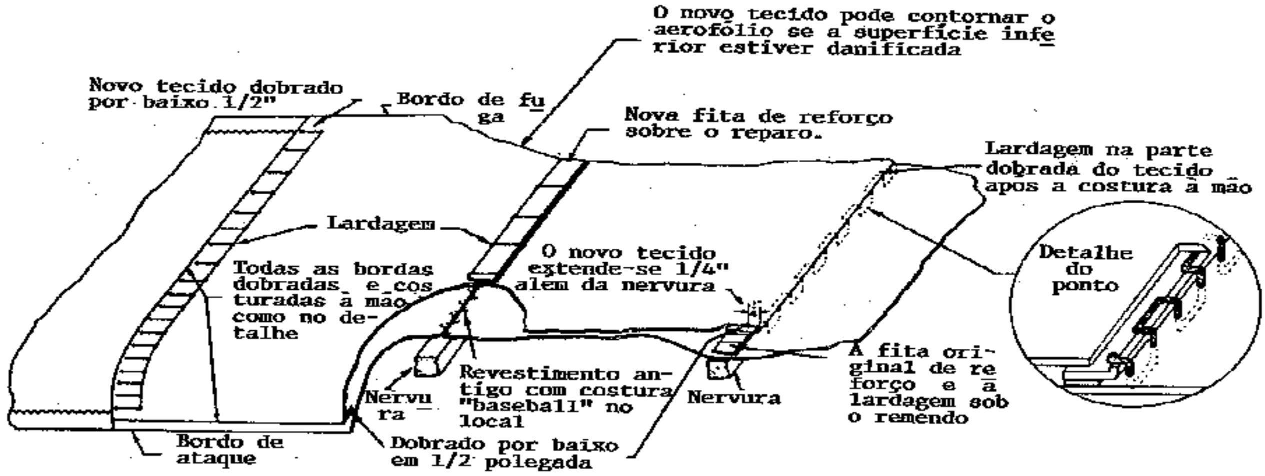

O novo tecido pode contornar o aerofólio se a superfície inferior estiver danificada
Novo tecido dobrado por baixo 1/2"
Bordo de fuga
Nova fita de reforço sobre o reparo.
Lardagem na parte dobrada do tecido apos a costura à mão
Lardagem
O novo tecido extende-se 1/4" alem da nervura
Detalhe do ponto
Todas as bordas dobradas e costuradas à mão como no detalhe
A fita original de reforço e a lardagem sob o remendo
Revestimento antigo com costura "baseball" no local
Nervura
Nervura
Bordo de ataque
Dobrado por baixo em 1/2 polegada

Figura 3-18 Método de substituição de revestimento.

REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIES DE AERONAVES COM FIBRA DE VIDRO

Os tecidos de fibra de vidro são aceitáveis para revestir ou reforçar uma superfície de aeronave, desde que o material atinja os requisitos das especificações MIL-C-9084, MIL-Y-1140, E MIL-G-1140.

A resistência de tensão da fibra de vidro deve ser pelo menos equivalente a do tecido original instalado na aeronave. A composição química da fibra deve ser quimicamente compatível com o dope ou resina a ser usada.

A cobertura ou método envelope de reforço devem ser usados no tecido tratado, para que possa ser costurado. Um tecido não tratado, que não pode ser costurado, pode ser aplicado nas seções sobrepostas. As práticas recomendadas para emendas dopadas devem ser usadas.

Onde o tecido de fibra de vidro é aplicado apenas na superfície superior das asas como proteção contra o tempo, ele deverá cobrir cerca de pelo menos 1 polegada do bordo de fuga, e estender-se do bordo de fuga contornando o bordo de ataque até a longarina dianteira.

Antes de iniciarmos o trabalho, precisamos ter certeza de que os agentes adesivos utilizados serão satisfatórios.

Bolhas ou pouca adesão podem ocorrer quando forem usados adesivos que não são quimicamente compatíveis com o atual acabamento da aeronave, ou que já estejam deteriorados por causa da idade. Um meio simples de determinar isso é aplicar uma pequena peça do tecido de reforço na cobertura original, usando o processo de acabamento proposto. O teste deve ser verificado visualmente no dia seguinte, quanto a bolhas e pouca adesão.

Quando “BUTYRATE” dope é usado para colar tecidos de fibra de vidro, o acabamento pode ser realizado da seguinte maneira:

1) Limpar completamente a superfície e deixá-la secar. Se a superfície foi encerada ou previamente coberta com qualquer outra proteção, remover completamente pelo menos a cobertura final. Após a colocação do pano de fibra de vidro na superfície, pincelar completa e suavemente com “butyrate dope thinner” e 10% (por volume) de retardador.

2) Aplicar uma camada grossa de "butyrate" dope entre todos os tecidos de fibra sobrepostos. Quando secar, pincelar com "butyrate" rejuvenescedor, e evitar juntá-los até que a superfície esteja esticada novamente.

3) Colocar a fita de reforço e estrutura de fixação (classe B) e dope na fita de acabamento (é recomendado algodão); então pincele o tecido com 50% de thinner e 50% de "butyrate" dope.

4) Seguir o programa convencional de acabamento o qual requer a aplicação de uma ou mais camadas de "butyrate" dope encorpado , duas aplicações de "butyrate" dope com pigmentos de alumínio, lixar levemente a superfície e aplicar mais duas camadas de "butyrate" dope.

Quando for usada resina para colar o tecido de fibra de vidro, após a limpeza da superfície, o acabamento pode ser feito da seguinte maneira:

1) Rejuvenescer a superfície dopada. Após colocar o tecido de fibra de vidro sobre a superfície, pincelar completamente com uma camada de resina. Umedecer as áreas sobrepostas completamente e deixar curar.

2) Pincelar uma segunda camada de resina suave e uniformemente, e deixar curar. A superfície acabada não deve ser considerada terminada até que todas os furos entre os fios do tecido estejam cobertos com resina.

3) Após lixar com água, pintar a superfície com uma camada de tinta base, e dar o acabamento como desejado.

As arruelas de drenagem e janelas de inspeção são instaladas, como existiam na cobertura original. Quando usarmos tecido de fibra de vidro para reforçar superfícies móveis de controle, devemos verificar se nenhuma mudança ocorreu no seu balanceamento estático e dinâmico.

CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DOS TECIDOS

Os tecidos de aeronaves deterioram-se mais rapidamente em áreas densamente industrializadas, do que em áreas que têm o ar mais limpo. A única grande causa da deterioração dos tecidos é o dióxido de enxofre. Essa substância tóxica é encontrada em quantidades variadas na atmosfera. Ela existe em grande concentração em área industriais.

O dióxido de enxofre combina com o oxigênio e umidade, para formar o ácido sulfúrico, que rapidamente ataca os tecidos de algodão. Tecidos de linho também são afetados, porém em um grau menor que o algodão.

O tecido de "Dacron" é mais resistente ao dióxido de enxofre e a outros produtos químicos do que qualquer outro tecido, exceto de fibra de vidro.

O tecido de fibra de vidro não é afetado pela umidade, mofo, produtos químicos, ou a maioria dos ácidos.

Mofo

Focos de mofo atacam os tecidos quando eles estão úmidos. Toda fibra de celulose natural prevê nutrientes para o desenvolvimento do mofo quando as condições são adequadas. Focos de mofo são também conhecidos como fungos, e podem ser controlados pelo uso de um inibidor de fungos. O inibidor é normalmente misturado com dope, e aplicado com a primeira camada de dope. O dope contendo fungicidas não deve ser pulverizado porque ele contém substâncias venenosas.

O revestimento deve ser feito em prédios (hangares) limpos e secos. Prédios úmidos e sujos facilitam o desenvolvimento do mofo. Os focos nascem em farrapos; papéis úmidos, e etc., que são depositados diretamente nas superfícies do tecido por algum movimento do ar (vento) na área. Os focos estão sempre presentes na atmosfera em vários graus, e são levados para dentro das partes fechadas da aeronave pelo movimento do ar. Uma aeronave deve ser ventilada freqüentemente para circular ar seco dentro das asas e fuselagem, para que a umidade não se acumule.

Dopes e "thiners" ácidos

O uso de dopes ou thiners cuja acidez está acima dos limites de segurança pode causar rápida deterioração nos tecidos das aeronaves. Quando o dope é estocado sob extremo calor ou frio, as reações químicas aumentam a acidez além dos limites de segurança.

Estoques de dope "MILITAR" composto são vendidos quando testes periódicos indicam que o dope desenvolveu uma quantidade de acidez acima dos limites. O uso do dope com excesso de acidez pode conduzir o tecido a uma deterioração precoce. Em geral, os thiners não devem ser usados para dissolver o dope de uso aeronáutico. Tais thiners são normalmente muito ácidos, e suas fórmulas não são adequadas para uso com dope.

Camada insuficiente de dope

Uma camada fina de dope não oferece uma proteção suficiente para o tecido, o que pode resultar uma deterioração precoce do mesmo. Raios ultravioleta, que são invisíveis, combinam com o oxigênio formando um agente oxidante que ataca os materiais orgânicos. Os raios ultravioleta podem ser evitados pela adição de pigmentos à película de dope, e pela adequada cobertura do tecido com dope.

Alumínio em pó é adicionado em duas camadas de dope para impedir que raios ultravioleta alcancem o tecido. Tecidos sem dope ou coberturas que não são protegidos por camadas de alumínio pigmentado com dope, não devem ser expostos a luz do sol por longos períodos.

Uma proteção adequada do tecido é normalmente alcançada pela camada de dope, deixando a superfície lisa. Isso não pode ser determinado pelo número de camadas de dope aplicadas, mas preferivelmente pela espessura da camada. Isso varia com a técnica da aplicação, temperatura, consistência do dope e equipamento.

Rachaduras na camada de dope permitem a entrada de umidade e luz, causando uma deterioração localizada no tecido.

Condições de estocagem

É entendido que uma aeronave dentro do hangar tenha o seu tecido protegido da deterioração. Embora deteriorações prematuras possam ocorrer, especialmente em aeronave estocada em um hangar frio e sujo.

Durante o dia, o sol quente no telhado aumenta a temperatura no hangar; O ar quente absorve a umidade da terra. Quando o ar esfria , a umidade absorvida condensa e fica depositada na aeronave. As mudanças de pressão atmosférica fazem com que o ar úmido penetre nas áreas fechadas da fuselagem, causando o desenvolvimento do mofo.

Quando estocando aeronaves revestidas com tecido, todas as aberturas grandes o suficiente para entrar um roedor devem ser tapadas. O ácido úmido dos ratos podem apodrecer o tecido; e também corroer as partes metálicas, tal como nervuras, longarinas e instalações.

VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DO TECIDO DOPADO

As condições do tecido dopado devem ser verificadas em intervalos suficientes, para determinar se a resistência do tecido não está prejudicada, a ponto de afetar a aeronavegabilidade da aeronave. As áreas selecionadas para verificação devem ser aquelas que podem se deteriorar mais rapidamente. As superfícies superiores, geralmente, deterioram-se mais rápido que as laterais e as inferiores. Quando um contraste de cores é usado em uma aeronave, o tecido deteriorará mais rapidamente sob as cores mais escuras, já que elas absorvem mais calor que as cores claras.

O aquecimento no interior de uma superfície de tecido, sob a cor escura, absorve mais umidade dentro da asa ou fuselagem. Quando a superfície esfria, essa umidade se condensa; e o tecido sob a cor escura torna a umedecer, facilitando o desenvolvimento do mofo numa área localizada. Durante o teste do tecido, o qual foi reforçado pela aplicação de fibra de vidro, descascamos a fibra do tecido na área a ser testada. O tecido de baixo, é testado na maneira convencional.

A verificação das superfícies de tecido, é feita facilmente, usando um punção de teste. Existem vários tipos de punções de teste no mercado; tais punções incorporam um cone penetrante (fig. 3-19).

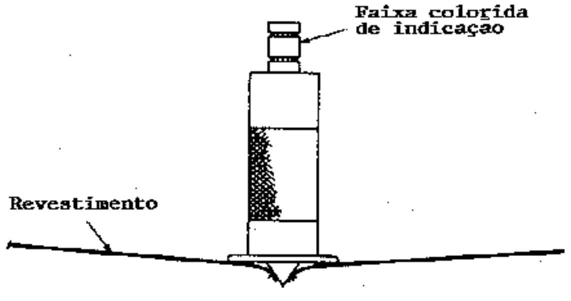


Figura 3-19 Punção de teste.

Punções de teste para tecidos são indicados para uso nas aeronaves com superfícies de tecido revestidas com dope, e determinam apenas uma indicação geral do grau da deterioração, na resistência do tecido de revestimento. A sua vantagem é que pode ser usado fácil e rapidamente para testar superfícies de tecido, sem cortar amostras do tecido da aeronave. Se o teste com o punção indicar que a resistência do tecido está abaixo do limite, um teste de laboratório deverá ser realizado para determinar a atual resistência do tecido.

Durante o uso de um punção de teste idêntico ao da figura 3-19, devemos colocar a ponta no tecido dopado. Com o punção mantido perpendicular a superfície, aplicamos pressão com uma leve ação de rotação, até o flange do teste contactar o tecido. A condição do tecido é indicada por um êmbolo colorido que se projeta no topo do punção teste. A última banda exposta é comparada com uma carta fornecida pelo fabricante do teste, para determinar a condição do tecido. O teste deve ser repetido em várias posições no tecido. A leitura mais baixa obtida, que não seja numa área isolada reparável, deve ser considerada representativa da condição do tecido como um todo. Tecidos que forem testados, e que estiverem dentro dos limites aceitáveis, devem ser testados frequentemente para assegurar a sua contínua durabilidade.

O punção de teste faz apenas um pequeno furo (aproximadamente ½ polegada de diâmetro), ou uma depressão no tecido, que pode ser reparada rapidamente por um remendo com dope de 2 a 3 polegadas.

TESTE DO TECIDO DE REVESTIMENTO

Teste de tensão de tecido sem dope

O teste de tensão do tecido é um meio prático de determinar se um revestimento de tecido está deteriorado, a ponto de necessitar de uma recobertura.

A figura 3-20 ilustra um típico teste de tensão de um tecido.

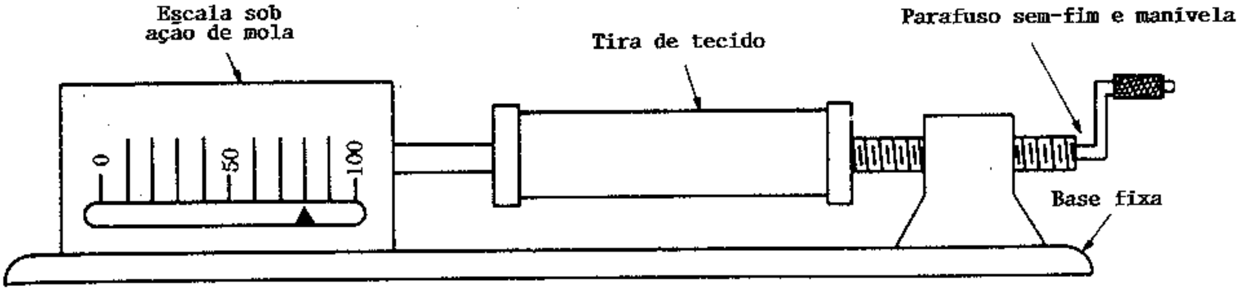


Figura 3-20 Teste de tensão do tecido.

Uma amostra do tecido sem dope a ser testada é cortada a exatamente 1½" de largura, e numa extensão suficiente (normalmente 6 polegadas) para permitir a introdução no equipamento de teste de tecido. Normalmente cada borda da faixa é desfiada ¼", reduzindo a largura do tecido a 1". Os extremos da faixa do tecido são presos com

Quando a manivela é girada, o sem-fim é empurrado para fora, desta maneira aumentando gradativamente a tensão (puxada) no tecido contra a resistência da escala de mola, até a tira do tecido se romper.

A leitura na escala feita no momento do rompimento do tecido, indica a resistência do tecido em libras por polegada. Amostras de tecido devem ser testadas quanto à tensão sem dope. Usamos solvente de acetona para dope, ou outros agentes solventes, adequados para remover o material de acabamento das amostras para teste.

CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA PARA TECIDO UTILIZADO EM AERONAVE

Os valores mínimos de resistência dos tecidos novos de revestimento para aeronaves, são fornecidos na figura 3-1.

A deterioração máxima permissível para um tecido, já em uso nas aeronaves, baseado num grande número de testes, é de 30%. Tecido que tenha menos do que 70% da resistência de tensão requerida não é considerado aeronavegável. A figura 3-1 contém os valores mínimos da resistência de tensão para tecido deteriorado, testado sem o dope.

Alguns operadores de aeronaves leves usam o tecido do tipo classe A, mas são requeridos somente para uso tecidos do tipo intermediário. Nesse caso, o material classe A continua sendo considerado aeronavegável, contanto que não esteja deteriorado quando testado sem o dope, abaixo de 46 lb, exemplificando, 70% do valor da resistência de tensão requerida para tecidos intermediários novos.

DOPES E APLICAÇÃO DE DOPE

Para esticar o tecido de revestimento, e fazê-lo hermético e à prova d´água, pintamos ou pulverizamos o tecido com dope.

Um revestimento esticado é essencial para assegurar e sustentar o formato da seção transversal do aerofólio, pela forma dada pelas nervuras. Esse dope também protege o tecido da deterioração produzida pelo tempo ou pela luz do sol e, quando polido, dá uma superfície macia ao tecido e reduz a fricção no revestimento. Dopes devem ser aplicados sob condições ideais para se obter resultados satisfatórios e consistentes. Uma atmosfera limpa, fresca e seca, com uma temperatura acima de 70º F; e uma umidade relativa abaixo de 60% combinadas com uma boa ventilação, são necessárias em uma sala para aplicação do dope. O dope deve ser de consistência apropriada e ser aplicado uniformemente sobre toda a superfície.

O dope deteriorará seriamente, se armazenado em um local muito quente por um longo período. A temperatura não deve exceder 60º F por longos períodos de estocagem, e obrigatoriamente, não deve exceder 80º F por períodos de até 4 meses.

Precauções contra fogo devem ser levadas onde quer que o dope esteja armazenado ou usado, por causa da sua natureza inflamável.

Salas para pintura e aplicação de dope que não estão localizadas em prédios separados, devem ser isolados do restante do prédio por divisórias de metal e portas à prova de fogo.

Como declarado anteriormente, a maior condição desejável numa sala para aplicação de dope, é uma temperatura acima de 70º F, e uma umidade relativa abaixo de 60%. Nas temperaturas mais baixas, o dope não fluirá livremente sem a adição excessiva de solventes. A umidade relativa pode ser diminuída pelo aumento da temperatura, se a sala para aplicação de dope não for equipada com controle de umidade.

Para levar a superfície dos tecidos às condições de temperatura e umidade, os deixamos aproximadamente 4 horas na sala de aplicação de dope, após o revestimento, e antes da aplicação do dope.

O número de camadas de dope aplicadas em uma superfície de tecido, depende do acabamento desejado. É costumeiro aplicar de duas a quatro camadas de dope incolor, seguidas de duas camadas de dope pigmentado. Uma quantidade suficiente de dope incolor deve ser aplicada para aumentar o peso do tecido de 2,25 a 2,50 oz/sq.yd. A película de dope incolor deve pesar esta quantia após seco por 72 horas. Com o tecido pesando 4 oz, o peso total do tecido com dope é de aproximadamente 9,5 oz/sq.yd.

Dopes pigmentados devem ser aplicados sobre os dopes incolores, para proteger o tecido da luz do sol. Uma quantidade suficiente de pigmento deve obrigatoriamente, ser adicionada ao dope, para formar uma superfície opaca. Dopes pigmentados consistem propriamente de pigmento colorido, adicionado ao dope incolor.

Quando em acabamento aluminizado é desejado, 1 galão de dope de nitrato de celulose incolor é misturado com 12 oz de pó de alumínio, e uma igual quantidade adicional de sebacato de glicol plastificador. Uma quantidade suficiente de solvente é, então, adicionada, de forma que duas camadas desse dope darão em peso na película de aproximadamente 2 oz/sq.yd.

Nos painéis deve ser aplicado dope na posição horizontal, quando possível, para prevenir o escorrimento do dope para a base do painel. Pintamos com um pincel a primeira camada de dope e a trabalhamos uniformemente no tecido. Um mínimo de 30 minutos, em boas condições atmosféricas deve ser permitido para secagem entre camadas.

Fitas de superfície e remendos, somente deverão ser aplicados antes da segunda camada de dope. Essa segunda camada deve, também, ser pintada com pincel, tão suavemente quanto possível. Uma terceira e quarta camadas de dope incolor podem ser aplicadas, ambas por pincel ou pulverizador.

Essas camadas de dope incolor fornecem uma superfície rígida e esticada ao tecido de revestimento. Se desejado, essa superfície pode ser amaciada através de um leve polimento, com lixa 280 ou 320, seca ou molhada; ou um abrasivo similar.

Quando sendo polidas, todas as superfícies deverão ser eletricamente aterradas, para dissipar a eletricidade estática.

A aplicação do dope é completada pela pulverização de duas ou mais camadas, do apropriado dope pigmentado na superfície.

Sob certas condições atmosféricas desfavoráveis, uma camada recente de dope ficará esbranquiçada.

O esbranquiçamento é causado pela precipitação do Éster da celulose, que é causado, em grande parte, por uma alta razão de evaporação e/ou alta umidade. Altas temperaturas ou correntes de ar, soprando sobre o trabalho, aumenta a razão de evaporação e a tendência de esbranquiçamento, este reduz seriamente a resistência da película de dope, e precauções necessárias devem ser tomadas para prevenção contra o esbranquiçamento.

Quando uma superfície onde foi aplicado dope, esbranquiçar; ela torna-se escura em pontos, ou branca em casos extremos.

A superfície sob o tecido onde se aplicou o dope, deve ser protegida para prevenir que o dope tire a tinta da superfície. Um método comum, é aplicar tinta à prova de dope ou cromado de zinco, sobre todas as partes da superfície que vierem a ter contato com o tecido onde foi aplicado o dope.

Outro método excelente, é revestir esta superfície, com folha de papel alumínio de 0,0005 de polegada de espessura. Essa folha é colada à superfície, e previne a penetração do dope. Ela é aplicada sobre acabamentos regulares. Outros materiais, tais como uma fita de celofane, tem sido usada com sucesso no lugar da folha de alumínio.

MATERIAIS DO DOPE

Dope aeronáutico, é qualquer líquido aplicado à superfície do tecido para produzir tensão por redução, para aumentar a resistência, para proteger o tecido, para torná-lo à prova d´água e fazer o tecido hermético. Dopes aeronáuticos são, também, usados extensivamente no reparo e rejuvenescimento das superfícies do tecido da aeronave.

Dope aeronáutico é, tecnicamente, uma solução coloidal de butirato acetato de celulose ou nitrato de celulose. Se o ácido nítrico foi usado na fabricação química do dope, ele é conhecido como dope nitrato de celulose. Se os ácidos acético e butírico foram usados, o dope é conhecido como dope butirato acetato de celulose.

Dope nitrato de celulose

O dope nitrato de celulose é uma solução de nitrocelulose e um plastificador, tal como o sebacato de glicol, etil acetato, butilacetato ou butil álcool ou tolueno. A base de nitrocelulose é feita tratando algodão em ácido nítrico. O plastificador ajuda na produção de uma película flexível.

Ambos, plastificador e solvente, são responsáveis pela ação de tensão do dope. Solventes, tais como o benzol ou o álcool etil, são às vezes, adicionados ao dope para se obter a consistência apropriada. Esses solventes evaporam com os solventes voláteis.

O dope de nitrato flui mais livremente e mais facilmente quando aplicado ao tecido, do que o dope butirato. Ele queima rapidamente, e é difícil de extinguir; ao passo que o dope butirato queima vagarosamente e é facilmente extinguido.

O efeito de tensão (redução) do nitrato não é grande o bastante como o do butirato, mas é suficiente para tensionar o tecido na qualidade desejada.

Dope acetato butirato de celulose

Esse tipo de dope é composto de acetato butirato e um plastificador, trifenil-fosfato, que não são voláteis quando misturados com etil acetato, butil-acetato, diacetona álcool ou metil-etil acetona, todos sendo voláteis.

O dope butirato tem um maior efeito de tensão no tecido, e é mais resistente ao fogo do que o dope nitrato.

Os solventes do dope butirato são mais penetrantes do que aqueles do dope nitrato, e o dope butirato pode ser aplicado com sucesso sobre o dope nitrato seco, na superfície do tecido.

Os dopes butirato, nitrato de celulose e acetato de celulose, sem a adição de pigmentos coloridos, são uma solução transparente. Ambos são usados no tecido de revestimento de aeronaves para encolher e esticar o tecido, como uma superfície de tambor, para impregnar e encher a malha do tecido, e para torná-lo à prova d'água, hermético, resistente; para preservar o tecido.

Pigmentos da cor desejada podem ser adicionados ao final de duas ou três camadas de dope, aplicadas ao tecido, para atingir a cor desejada e colorir a aeronave.

DOPES DE ALUMÍNIO PIGMENTADO

Quando pelo menos duas ou mais camadas de dope de alumínio pigmentado (pintado à pincel ou pulverizado) forem aplicadas sobre as primeiras duas ou três camadas de dope incolor, após terem secado ou terem sido lixadas, uma película fina de alumínio é formada sobre o tecido e as camadas inferiores de dope incolor.

A película de alumínio isola o tecido do calor do sol e reflete o calor e os raios ultravioleta da superfície do tecido da aeronave.

Dopes de alumínio pigmentado podem ser comprados também misturados e prontos, para aplicação por pincel ou pulverizador.

Contudo, é freqüentemente mais econômico e desejável misturar o dope incolor, com pó de alumínio na loja.

O alumínio para mistura com o dope incolor pode ser obtido em forma de pó ou pasta.

Na forma de pó ele não é mais do que o metal alumínio triturado (pulverizado). Na forma de pasta, o pó de alumínio é misturado com um agente adesivo para formar uma massa pastosa.

As proporções de mistura recomendadas são 1 1/2 lb de pó de alumínio para 5 gal de dope incolor, ou 1 3/4 lb de pasta de alumínio para 5 gal de dope incolor.

Em primeiro lugar, misturamos e dissolvemos o pó ou pasta, numa pequena porção de solvente de álcool, e então adicionamos o dope incolor.

EFEITOS DA TEMPERATURA E UMIDADE NO DOPE

A aplicação satisfatória do acabamento de dope no tecido, depende de muitas coisas, como o método de aplicação, temperatura, umidade, mistura correta de redutores anti-esbranquiçamento e solventes, o lixamento e preparação do tecido.

Em adição aos métodos especiais necessários na aplicação do dope, precauções posteriores são requeridas no manuseio, armazenagem e uso do dope por causa da sua alta flamabilidade; sua fumaça é prejudicial se respirada em excesso.Para os melhores e mais seguros resultados, a aplicação do dope é normalmente feita numa sala especial, onde muitos desses fatores podem ser controlados.

Efeitos do frio no dope

No tempo frio, as sobras de dope em salas sem aquecimento ou do lado de fora, tornam-se bastante viscosas (grossas).

Dopes frios devem ser mantidos numa sala quente, entre 75º F e 80º F, pelo menos 24 horas antes de serem usados. Dope em grandes tambores (55 gal) requerem 48 horas para alcançar esta temperatura.

Dopes frios repuxam e formam fios sob o pincel, e, se dissolvidos para aplicação com pincel ou pistola, o uso de solvente em demasia pode enfraquecer o dope quando o solvente evaporar.

PROBLEMAS COMUNS NA APLICAÇÃO DE DOPE

Bolhas e gotas (Blisters)

Uma grossa camada de verniz aplicada sobre uma superfície com dope, que não estiver profundamente seca, tenderá a formar bolhas. Para prevenir esta condição, deixamos a superfície secar por 10 a 12 horas. Bolhas podem ser removidas lavando a superfície com solvente de dope até amaciar, deixando a superfície secar, e então lixar antes do acabamento. Gotas são causadas pelo dope que passa para o lado oposto do tecido durante a aplicação da primeira camada, como resultado da aplicação excessiva sobre longarinas, nervuras e outras partes. O dope também pode penetrar através de encaixes, janelas de inspeção ou reparos, e formar gotas. Deve-se ter extremo cuidado para evitar a formação de gotas, uma vez que elas podem ser removidas somente através do corte do revestimento e da aplicação de um reparo.

Painéis frouxos

Os painéis frouxos são causados pela aplicação do tecido com folga, ou então, o tecido pode ter sido aplicado com tensão apropriada, mas permaneceu sem aplicação de dope por um longo período, desta maneira perdendo a sua tensão. O tecido frouxo pela não aplicação do dope, pode ser esticado através da aplicação de acetona, se ela for aplicada tão logo se note que o tecido afrouxou.

Temperatura ou umidade extremas podem levar o dope a secar em tal condição que o tecido torna-se frouxo. Isso pode ser remediado pela pulverização em outra camada de dope contendo, ou secante lento, tal como álcool butil, ou um secante rápido, tal como acetona, de acordo com as condições.

Coloração inconsistente

A coloração inconsistente dos esmaltes, pinturas e dope pigmentado, é causada pelo depósito de pigmentos no fundo do reservatório; dessa maneira privando a porção superior do veículo de sua própria percentagem de pigmento.

Se ao mexermos o reservatório, não ocorre a distribuição do pigmento satisfatoriamente, um remo longo ou um agitador devem ser usados para mexer a mistura a fundo.

Furos minúsculos

Os furos minúsculos na película de dope podem ser causados pela temperatura muito alta da sala de dope ; pela não aplicação, à pincel, da primeira camada no tecido para selá-lo completamente; por uma grossa camada de mistura contendo solvente em excesso; ou por água, óleo ou sujeira no suprimento de ar da pistola de pulverizar.

Esbranquiçamento

O esbranquiçamento nos dopes ou vernizes, é comum em tempos úmidos. Essa condição nos dopes de nitrato de celulose, e nos dopes de acetato de celulose é causada pela rápida evaporação dos diluentes e solventes. A evaporação abaixa a temperatura na superfície do tecido, onde acabou de ser aplicada uma camada fresca de dope, causando condensação da umidade da atmosfera.

Essa umidade na superfície do dope molhado ou verniz, precipita o nitrato de celulose ou acetato de celulose para fora da solução, dando, dessa maneira, uma aparência branco-leitosa, conhecida como esbranquiçamento. É claro que tal acabamento decomposto não é de valor, tanto em esticar como proteger a superfície por algum período de tempo. Portanto o esbranquiçamento deve ser eliminado, se o acabamento for para durar.

As causas mais comuns do esbranquiçamento são:

1) Temperatura muito baixa.
2) Umidade relativa muito alta.
3) Riscos sobre a superfície recém pintada com dope.
4) Uso da acetona como solvente no lugar do solvente de nitrato.

Se as causas (1) e (2) não puderem ser corrigidas, pode-se evitar o esbranquiçamento através da adição de álcool butil ao dope, em quantidade suficiente para corrigir a condição.

As películas de dope que ficaram esbranquiçadas podem ser restauradas através da aplicação de outra camada de dope, diluída com álcool butil sobre a película esbranquiçada. Essa camada dissolverá a precipitação na camada anterior.

A película esbranquiçada pode ser removida com um pano saturado com álcool butil, esfregando-o rápida e levemente sobre a película esbranquiçada. A acetona também pode ser usada para remover o esbranquiçamento.

Fragilidade

A fragilidade é causada pela aplicação do dope no tecido muito tencionado, ou pelo envelhecimento da superfície dopada.

A sobretensão nos painéis pode ser reduzida pela pulverização de um solvente de evaporação rápida a 50% (acetona) e dope, sobre a superfície, para infiltrar nas camadas de dope, permitindo ao tecido afrouxar. Se o envelhecimento da camada de dope causa a fragilidade, o único remédio é colocar novo revestimento na estrutura.

Descamação

A descamação é causada pela falha ao se remover a umidade, óleo ou graxa do tecido antes da superfície receber a camada. As áreas do tecido afetadas devem ser tratadas com acetona antes da aplicação da primeira camada.

Escorrimento

O escorrimento no acabamento é causado pela aplicação de uma quantidade excessiva de dope, ou por permitirmos que ele corra pelas laterais e bordas da superfície. Imediatamente após o acabamento, as superfícies opostas e adjacentes devem ser inspecionadas quanto à ocorrência de escorrimento.

TÉCNICA DE APLICAÇÃO

Aplicamos as duas primeiras camadas de dope com pincel, espalhamos na superfície tão uniformemente quanto possível, e trabalhamos minuciosamente no tecido.

Devemos ter cuidado para não manusear o dope através do tecido, a fim de formar uma película excessiva no outro lado.

A primeira camada deve molhar profundamente e uniformemente o tecido.

Para fazê-lo, manuseamos o dope na direção da urdidura e preenchemos os fios com 3 ou 4 pinceladas, retirando algum excesso de material para evitar furos minúsculos ou encharcamento.

Aplicamos sucessivas camadas à pincel ou pistola com suficientes pinceladas para espalhar o dope constantemente.

Quando da aplicação do dope no tecido sobre madeira compensada ou bordos de ataque cobertos com metal, devemos ter cuidado para assegurar que o adequado contato é obtido entre o tecido e o bordo de ataque.

Cuidados devem também ser tomados quando do uso do tecido com pré aplicação de dope, ao usarmos um dope diluído para obter um bom contato entre o tecido e o bordo de ataque das asas.

Aplicação de fitas de superfície e remendos de reforço

Aplicamos a fita de superfície e os remendos de reforço com a segunda camada de dope. A fita de superfície deve ser aplicada sobre todas as amarrações de nervuras e todos os outros pontos da estrutura onde fitas de reforço são requeridas.

Instalação de reforços nos furos dreno

Com a segunda camada de dope, devemos instalar as arruelas reforço nos furos dreno, na parte de baixo da nervura, como aplicável. Nas fuselagens, instalamos os furos dreno no centro da parte mais baixa de cada baía da fuselagem, localizadas para assegurar a melhor drenagem possível.

Furos blindados especiais, às vezes chamados de furos marinhos ou de sucção, são recomendados para hidroaviões, a fim de prevenir a entrada de água.

Também usamos esse tipo de reforço em aviões na parte da estrutura que for sujeita a salpicos do trem de pouso, quando em operações sobre campos lamacentos ou molhados.

A aplicação de dope nos reforços de drenos do tipo plástico, é feita diretamente no revestimento.

Quando os reforços metálicos de drenos forem usados, devemos monta-los nos reforços dos tecidos, e então aplicar o dope ao revestimento.

Após a aplicação completa do dope, abrimos os furos dreno cortando o tecido com uma tesoura pequena. Não abrimos os furos dreno com punção.

Uso de dopes fungicidas

O dope fungicida é normalmente utilizado como a primeira camada nos tecidos para prevenir putrefação. Embora possa ser mais aconselhável comprar dope em que o fungicida já tenha sido incorporado, é praticável misturar o fungicida com o dope.

A especificação MIL-D-7850 requer que o dope butirato acetato de celulose, incorpore o fungicida para a primeira camada usada na aeronave. O fungicida designado nessa especificação é o zinco dimetilditiocarbonado, que forma uma suspensão com o dope. Esse material é um pó fino, que misturado com o dope, deve se transformar em uma pasta. Não é praticável misturar o pó com uma grande quantidade de dope.

Naftonato de cobre é também usado como um fungicida e forma uma solução com dope. No entanto, esse material tem uma tendência a descolorir, especialmente em tecidos de cor clara.

Ele é considerado satisfatório do ponto de vista dos fungicidas. A primeira camada de dope fungicida deve ser aplicada extremamente fina, a fim de que o dope possa profundamente saturar ambos os lados do tecido. Uma vez que o tecido esteja saturado, as camadas subseqüentes podem ser aplicadas, trabalhando em consistência satisfatória.

NÚMERO DE CAMADAS REQUERIDAS

Os regulamentos requerem que o número total de camadas de dope não deve ser menor que o necessário, para resultar em um trabalho de esticar e dar um acabamento bem cheio ao tecido. Um guia para acabamento de uma aeronave com revestimento de tecido é:

1) Duas camadas de dope incolor, pintado à pincel e lixado após a segunda camada. Para prevenir danos aos pontos de amarração das nervuras e ao tecido, não lixamos com muita força na porção central das fitas picotadas sobre as nervuras e longarinas.
2) Uma camada de dope incolor, ou pintada à pincel ou pulverizada e lixada.
3) Duas camadas de dope pigmentado, de alumínio, pintado à pincel ou pulverizado e lixadas após cada camada.

Três camadas de dope pigmentado (com a cor desejada), lixadas e polidas, para dar um acabamento brilhante e macio quando completada.

CAPÍTULO 4

PINTURA E ACABAMENTO

INTRODUÇÃO

Aeronaves revestidas de madeira, ou metal, são pintadas para proteger suas superfícies da deterioração, e proporcionar o acabamento desejável. Muitos tipos de acabamentos são usados sobre estruturas de aeronaves. As estruturas de madeira podem ser envernizadas, mas as de alumínio e aço são freqüentemente protegidas pela aplicação de pintura.

Acabamentos em aeronaves podem ser separados em três classes gerais: (1) **DE PROTEÇÃO;** (2) **DE APARÊNCIA;** (3) **E DECORAÇÃO.** As partes internas e não expostas são pintadas para protegê-las da deterioração. Todas as partes expostas são pintadas para proporcionar proteção e para apresentar uma aparência agradável.

O acabamento decorativo inclui faixa de acabamento, pintura de emblemas, aplicação de decalques e de números e letras de identificação.

MATERIAIS DE ACABAMENTO

Uma grande variedade de materiais são usados em acabamento de aeronaves. Alguns dos materiais mais comuns são descritos nos parágrafos seguintes.

Acetona

A acetona é um solvente volátil para dope. Ela é adequada para remoção de graxa de telas antes da dopagem, limpeza de pistolas de pinturas, e como um ingrediente em removedores de tintas e vernizes.

A acetona não deve ser usada como diluente em dope, uma vez que, sua rápida ação de secagem provoca um resfria-mento na área dopada, além da formação de umidade. A umidade absorvida impede a secagem uniforme, provocando o aparecimento de manchas.

Álcool

O álcool butílico (butanol) é um solvente usado para retardar a secagem da película de dope nos dias úmidos, prevenindo contra a formação de manchas. Geralmente, 5% a 10% de álcool butílico (butanol) é suficiente para essa finalidade.

O álcool butílico (butanol) e o álcool etílico são usados juntos como uma mistura para diluir a demão de aguada base, para aplicação com pistola. A porcentagem de álcool butílico (butanol) usado dependerá da temperatura e umidade. O Álcool butílico retarda a velocidade de evaporação. Em alguns casos, uma mistura de 25% de álcool butílico mais 75% álcool etílico pode ser satisfatória; em outros, uma mistura 50/50 pode ser requerida.

O álcool desnaturado é usado para a diluição de goma-laca (verniz), para a consistência requerida pela pistola de pintura, e como componente de removedor para tintas e vernizes.

O álcool isopropílico é usado como diluente na formulação das soluções de limpeza do sistema de oxigênio. Ele também é usado na preparação de misturas detergentes não iônicas.

Benzeno

O benzeno é usado para limpeza de equipamento, no qual esmalte, tinta ou verniz foram aplicados. Ele também é usado como um componente removedor de tinta e verniz.

Diluidores

Dopes, esmaltes, tintas, etc., são diluídos para uso em pistolas de pintura, para uma pincelagem mais uniforme e proveitosa, e para a redução da espessura das camadas. O diluente correto deve ser usado com cada material de acabamento específico.

Vários materiais usados como diluentes de tintas e lacas específicas são também usados como solventes de limpeza, mas eles devem ser usados com cuidado. A maioria desses materiais tem um ponto de fulgor muito baixo e além disso, poderão danificar superfícies pintadas existentes. Alguns dos diluentes para tintas mais comuns são sucintamente discutidos nos parágrafos seguintes.

Diluidor para laca nitrocelulose acrílica

O diluidor para laca nitrocelulose acrílica pode ser efetivamente usado para limpar pequenas áreas, antes da retocagem de pintura. Ele amacia os bordos da película de base pintada, a qual por sua vez assegura uma melhoria na adesão da camada retocada.

Todavia, o *thinner* contém acetona e tolueno, e não deve nunca ser usado indiscriminadamente para limpeza de superfícies pintadas.

Diluidor para laca e dope nitrato celulose

Esse diluidor é explosivo e tóxico, bem como danoso à maioria das superfícies pintadas. Ele pode ser usado para remoção manual de laca ou pulverização de tinta base; é, também, o diluidor aprovado para lacas nitrocelulose, sendo uma mistura de acetonas, álcoois e hidrocarbonetos.

Essência mineral volátil

Esse material é muito semelhante aos solventes para limpeza a seco, mas evapora um pouco mais rápido e deixa menos resíduo após a evaporação.

Ele pode ser efetivamente usado na limpeza de superfícies decapadas de metal, antes da reaplicação de tintas de acabamento.

Pode, também, ser usado como um veículo, para compostos emulsão-solvente em limpeza geral.

Tolueno

O tolueno (toluol) pode ser usado como um removedor de pintura em acabamento fluorescente suave, demãos de materiais selantes. É também um aceitável diluidor para a base de cromato de zinco.

Terebintina

A terebintina é usada como diluente e acelerador de secagem para vernizes, esmaltes e outras tintas à base de óleo.

A terebintina é um solvente para esses tipos de materiais e pode ser usada para remoção de manchas de tinta e limpeza de pincéis.

Dope

Um dope para aeronave é, essencialmente, uma solução coloidal de acetato de celulose ou nitrato, combinada com suficiente quantidade de plastificadores, para produzir uma película homogênea, flexível e macia.

O dope confere ao material de revestimento qualidades adicionais de aumento da resistência elástica, hermeticidade, impermeabilidade e tensão do material de revestimento. O dope deve ter durabilidade máxima, flexibilidade, resistência ao branqueamento e adesão, enquanto adiciona o mínimo de peso.

Cada demão de dope aplicada sobre as anteriores deve penetrá-las e amaciá-las, e construir uma superfície uniforme e homogênea, sem perda do grau de tensão do material.

Os constituintes essenciais do dope são:

1) Composto da película-base, os quais são acetato de celulose ou nitrato de celulose.

2) Plastificadores, tais como óleo e óleo de mamona, usados para produzir uma película durável e flexível.

3) Solventes, usados para dissolver os materiais à base de celulose.

4) Diluentes, usados para diluir a mistura. Diluentes tóxicos, tais como o benzol (benzeno) nunca são usados.

5) Retardadores de secagem, tais como o álcool butílico (butanol), usados para evitar uma secagem muito rápida, a qual tende a produzir um resfriamento da superfície, causando condensação de água, que resulta em manchas.

6) Corantes ou pigmentos, os quais são partículas sólidas finíssimas de material inorgânico, adicionadas ao dope claro para dar a cor desejada.

Os três tipos de dope usados para pintura em aeronaves são: (1) transparente; (2) semi-pigmentado; e (3) pigmentado. Suas características e usos são:

1) Existem dois dopes de nitrato transparentes. Um é usado para produzir um acabamento brilhante sobre acabamentos semipigmentados, e como um veículo para pinturas dopadas para bronze/alumínio. O outro é um preparado especial com material acelerador de secagem, para ser usado somente em retocagem.
2) O dope de nitrato semipigmentado contém uma quantidade limitada de pigmentos. Ele é usado para acabamentos em superfícies revestidas com telas.
3) O dope de nitrato pigmentado contém uma quantidade de pigmento maior que o semipigmento, e, normalmente, é usado para marcação de códigos e pintura de insígnia. Uma ou duas demãos sobre o dope semipigmentado produzirá o efeito da cor desejada.

O dope não deve ser aplicado sobre tinta ou esmalte, pois ele tende a remover tais materiais.

LACA DE NITROCELULOSE

As lacas de nitrocelulose estão disponíveis, tanto para acabamento brilhante como fosco; e na forma transparente ou pigmentada. Esses materiais podem ser aplicados sobre base de cromato de zinco tipo antigo ou tipo modificado, atualizado.

A laca é aplicada em duas demãos; a primeira demão é fina, com uma farta demão cruzada aplicada dentro de 20 ou 30 minutos mais tarde. A laca deve ser diluída como necessário, usando dope nitrato de celulose e solvente para laca.

A laca transparente pode ser substituída por verniz naval sobre tela dopada, e, também é usada com pó de bronze/alumínio para produzir laca aluminizada. A laca transparente não deve nunca ser aplicada sobre tinta, esmalte ou verniz, já que ela tende a remover tais materiais.

Laca de nitrocelulose acrílica

Esse é o acabamento mais usado hoje, disponível em fosco ou brilhante. Ambos os tipos de materiais são necessários na pintura de aeronaves convencionais. Áreas com dispositivo antiofuscação geralmente requerem o uso de tintas foscas. As superfícies restantes, usualmente, são pintadas com materiais brilhantes, que reduzem a absorção de calor. Os materiais básicos devem ser diluídos conforme a necessidade, para aplicação com pistola á base de diluente de nitrocelulose acrílica.

Secante

Um secante é adicionado à tinta quando um aumento nas propriedades secativas é desejado. Quantidade excessiva de secante na tinta resultará em uma película quebradiça, causando rachadura e descascamento.

Óleo de linhaça

O óleo de linhaça é usado para reduzir corantes pastosos, tais como o preto fosco para pintura de letras e cores de insígnias, para a consistência adequada. Ele é também usado como um revestimento protetor no interior de tubos metálicos.

BASE DE CROMATO DE ZINCO

A base de cromato de zinco é aplicada em superfícies metálicas antes da aplicação de esmalte ou laca, como um revestimento resistente à corrosão, e como uma base para pinturas de proteção protetivos.

O tipo antigo de base de cromato de zinco é distinguível por seu brilho de cor amarela, comparado ao tom verde dos modificados, correntemente em uso. O tipo antigo de base aderirá bem em metal descoberto. Ele é especificado como um aceitável revestimento para superfícies internas, e faz parte do sistema antigo de acabamento de nitrocelulose; além disso, pode ser aplicado com pincel ou pistola, conforme necessário. Quando esse material é para ser aplicado com pincel, deve ser diluído para a adequada consistência, com xilênio para dar a melhor retenção. Ele seca adequadamente dentro de uma hora por demão.

O cromato de zinco é satisfatório para uso sob esmaltes à base de óleo ou lacas nitrocelulose. Ele é também uma excelente pintura à prova de dope.

AGUADA BASE PADRÃO (WASH PRIMER)

Algumas tintas para acabamento em uso geral incluem uma aguada base, também chamada composto para revestimento metálico com pré-tratamento.

Esse composto consiste de duas partes, uma resina e um ácido fosfórico alcóolico, os quais são adicionados antes da aplicação.

Os dois componentes devem ser misturados muito lenta e cuidadosamente, e deixados em repouso por, no mínimo, 30 minutos antes do uso. A base deve ser usada dentro de um tempo máximo de 4 horas.

Qualquer diluição necessária é feita com uma mistura de 25/75 e 50/50 de álcool butílico (butanol) e álcool etílico, respectivamente. A percentagem de álcool butílico usado será determinada pela taxa de evaporação.

A percentagem de álcool butílico deverá ser mantida o mínimo possível, sob condições locais de temperatura e umidade. É importante que a razão de ácido para resina na aguada base seja mantida.

Qualquer decréscimo no ácido resultará na formação de uma demão pobre. Ao mesmo tempo, o excesso de ácido causará séria fragilidade.

Base moderada de nitrato celulose acrílico

A laca base, correntemente aplicada sobre a demão de aguada base, é um cromato de zinco tipo alkyo, desenvolvido para aderir à aguada base.

Esse cromato não adere bem em metais descobertos, mas o faz efetivamente como um sanduíche entre a demão de aguada e o acabamento de nitrocelulose acrílico; ele pode ser diluído conforme necessário para aplicação à pistola com diluente de nitrato celulose.

Em áreas onde a umidade relativa é alta, é preferível usar o diluente nitrocelulose acrílico. Este, deve ser coberto dentro de 30 a 45 minutos após sua aplicação para melhores resultados.

Em nenhuma condição, a base de nitrato celulose acrílico deve secar mais de uma hora e meia, antes das demãos de laca acrílica serem aplicadas.

Se as demãos de *primer* forem expostas em condições atmosféricas por mais tempo que o período máximo de secagem, uma reaplicação de aguada base e base modificada, é necessária, seguindo, imediatamente, de uma aplicação de laca acrílica. De outra forma, uma completa decapagem e acabamento são requeridas.

Em geral, demãos aplicadas recentemente podem ser removidas com diluente de laca acrílica ou acetona metil etila. Todavia, uma vez a demão seca, um decapante para tinta é necessário para uma completa remoção.

As demãos de acabamento são aplicadas em duas camadas, sobre o cromato de zinco modificado. A primeira é uma tênue e leve camada; a segunda, uma grossa camada cruzada com 20 a 30 minutos de tempo para secagem entre as duas aplicações.

Em aviões anfíbios ou marítimos, onde o máximo de proteção é requerido, o acabamento é acrescido de duas demãos de base e três de laca. Uma vez que a pintura de acabamento seque, um decapante é necessário para sua remoção.

Esmalte

Esmalte é um tipo especial de verniz, tendo como solvente um componente à base de óleo, ou à base de nitrocelulose. Acabamentos com verniz são geralmente brilhantes, embora os esmaltes foscos estejam disponíveis.

As superfícies esmaltadas são duras, resistem a arranhões e a ação de óleos ou água. Certos tipos resistem a altas temperaturas.

O esmalte pode ser aplicado com pistola ou pincel, e está disponível para aplicações em interiores e exteriores.

Verniz

O verniz “spar” é usado para acabamentos interiores, ou exteriores, de superfícies de madeira.

Ele produz uma película durável e transparente, onde alto brilho e dureza não são os principais requisitos.

Verniz asfáltico betuminoso é um revestimento preto, usado para a proteção de superfícies em volta de baterias chumbo-ácidas, ou em lugares em que o ácido e a água estão presentes

Tinta a óleo

A tinta a óleo é usada para pigmentar madeira com finalidade decorativa; ela está disponível em tons claros e escuros, simulando mogno, carvalho, nogueira ou outra madeira.

Corantes

Vários materiais corantes são usados para aplicações especiais, tais como insígnias e símbolos. As cores são obtidas como pastas, para serem misturadas com o solvente adequado.

Tinta

A tinta é uma mistura mecânica de um veículo e um pigmento. O veículo é um líquido que mantém o pigmento junto, fixando-o após a secagem. O pigmento dá solidez, cor e dureza à tinta. Entre os pigmentos comumente usados estão: óxido de zinco, cromato de zinco, óxido de titânio, cromato de chumbo azul, preto carvão e cromo verde.

Os veículos usados para tinta podem ser divididos em duas classes gerais: (1) óleos solidificantes; e (2) óleos voláteis. Os óleos solidificantes secam e tornam-se endurecidos, quase sólidos sob exposição ao ar.

O óleo de madeira da China (óleo de tungue), ou o óleo de linhaça, são os óleos solidificadores mais usados em tintas para avião. Já, óleos voláteis, ou essências, são aqueles que evaporam quando expostos. Esses óleos são usados para diluir a tinta à sua própria consistência, e para dissolver resinas para verniz. Os veículos voláteis mais comuns são: Álcool, Terebintina, Benzina, Tolueno, Acetato Etílico e Acetato Butílico. Tintas, vernizes e esmaltes são, usualmente, compostos de um pigmento e uma mistura de óleos solidificadores e voláteis. A laca, cuja característica é a secagem rápida, é composta de pigmentos, resinas e óleos voláteis.

Removedor de tinta

O removedor de esmalte e tinta, para uso geral, é um material não inflamável e lavável em água. Ele é usado para remoção de laca e pinturas esmaltadas de superfícies metálicas, consistindo de solventes ativos, aminas, amônia, diluidores, emulsificantes, um solvente clorado estável e uma mistura de cresol metilfenol, que pode ser aplicado por pulverização ou à pincel.

O aditivo cresol dilata a resina na camada de tinta, enquanto os constituintes clorados penetram-na, levantando a resina enfraquecida por evaporação.

Esse material é lavável em água após a aplicação, e pode ser aplicado várias vezes sobre pinturas de difícil remoção. O seu contato não deve ser permitido com janelas acrílicas, superfícies plásticas ou produtos de borracha; deve ser estocado em ambiente interno ou em áreas protegidas contra as condições climáticas.

Óculos e roupa de proteção devem ser usados quando utilizando esse produto. Procedimentos para remoção de tinta, discutidos adiante neste capítulo, são os mesmos para retoques como para uma pintura completa.

Removedor de acabamento de epoxy

Tanques com agentes decapantes de solução alcalina ou de ácidos fortes são os materiais mais efetivos para remoção de certos “epoxies”, atualmente. Mas esses agentes decapantes não podem ser usados sobre superfícies de alumínio. Removedor para tinta de aplicação geral, e esmaltes, podem remover a maioria dos acabamentos em epoxi. Várias aplicações, ou extensão do tempo de aplicação, podem ser necessários para resultados efetivos.

Removedor de tinta fluorescente

O removedor de tinta fluorescente, tipo lavável em água, é um decapante produzido para remover acabamentos em tinta fluorescente de superfícies exteriores de aeronaves.

Esse material é usado para decapagem de camadas de alta visibilidade, sem afetar as demãos internas permanentes de nitrato acrílico ou celulose.

Uma demão base permanente, de laca de nitrato celulose, pode ser amolecida por esse material se a aplicação permanecer por muito tempo.

O trabalho com removedor de tinta deve ser feito em ambiente externo, na sombra, sempre que possível, ou com ventilação adequada quando em ambiente interno.

As superfícies de borracha, plástico e acrílico necessitam de mascaramento, óculos de proteção, luvas de borracha. Avental e botas devem ser usados durante qualquer aplicação extensiva desse decapante. Uma decapagem manual de pequenas áreas não requer qualquer precaução especial.

Material de mascaramento

Máscaras são usadas para excluir áreas, nas quais dope, laca, etc., não devem ser aplicados. As máscaras são feitas de metal fino, fibra plástica, papel ou fita para mascaramento. As máscaras de metal e fibra plástica são usualmente mantidas no local por meio de pesos, e as máscaras de papel por meio de fitas para mascaramentos.

Líquido para proteção tipo spray é uma solução aplicada para proteger áreas, servindo como uma máscara líquida. O líquido protetor, e a tinta depositada sobre ele, são facilmente laváveis com água quando a pintura está seca.

Estocagem de material de acabamento

Dope, tinta, esmalte e outros materiais de acabamento devem ser estocados em lugar seco, protegidos da luz solar direta e do calor. Cada reservatório deve ser identificado com um código e um número de identificação do material contido nele.

Tinta, esmalte e outros materiais de acabamento estocados, que foram separados de seus veículos, devem ser misturados para readquirirem utilidade. Se o pigmento estiver espastado, derramamos a maior parte do líquido em outro recipiente, e misturamos o pigmento até que ele esteja livre de caroços. Um batedor ou agitador pode ser usado para esta finalidade.

Quando o pigmento estiver macio e livre de caroços, o líquido deve ser adicionado lentamente, continuando a agitar para garantir uma mistura completa.

RETOQUE DE PINTURA

Um bom e intacto acabamento é uma das maiores barreiras existentes. Retocando a pintura, e mantendo-a em boas condições, elimina-se a maioria dos problemas de corrosão.

Quando se retoca uma pintura, limita-se a área a ser pintada. Base acrílica ou laca podem ser usadas, mas a adesão é usualmente fraca. Camada de Epoxi, bem como o antigo tipo de cromato de zinco, poderá ser usado para retoque em metal decapado.

Quando uma superfície pintada estiver muito deteriorada, é melhor remover e repintar o painel inteiro do que tentar retocar a área. O material para retoque deve ser o mesmo usado na pintura original. As superfícies para serem pintadas devem ser totalmente limpas e livres de graxa, óleo ou umidade. Onde as condições não forem adequadas para pintura, preservativos podem ser usados como revestimentos temporários. Acabamentos em pintura não devem ser muito finos, uma vez que a pouca espessura provocará a quebra em serviço.

Muito da efetividade de um acabamento a tinta, depende do cuidado na preparação da superfície antes do retoque e reparo. É imperativo que superfícies sejam limpas, e que todas as manchas, lubrificantes ou preservativos sejam removidos.

Os procedimentos de limpeza para retoque de pintura são os mesmos para limpeza antes da inspeção. Muitos tipos de compostos para limpeza são disponíveis.

IDENTIFICAÇÃO DE ACABAMENTOS DE PINTURA

Acabamentos existentes em aeronaves atuais podem ser quaisquer um de vários tipos, combinações de dois ou mais tipos, ou combinações de acabamentos gerais com revestimentos especiais do proprietário.

Qualquer dos acabamentos podem estar presente a um dado tempo, e os reparos terem sido feitos usando materiais de vários tipos.

Algumas informações detalhadas, para a identificação de cada acabamento, são necessárias para assegurar os procedimentos adequados para reparo. Um simples teste é importante na confirmação da natureza da pintura atual. Os outros testes auxiliarão na identificação dos acabamentos em pintura.

Aplica-se uma camada de óleo para motor (Especificação Militar MIL-L-7808, ou equivalente) numa pequena área da superfície a ser verificada. Acabamentos em antiga nitrocelulose irão amolecer em poucos minutos. Acabamentos em acrílico ou epoxy não serão afetados.

Se não identificada, a pequena área em questão é limpa com um pano umedecido em acetona etilo metilo (methyl ethyl ketone). Esse produto desbotará um acabamento em acrílico, mas não produzirá qualquer efeito sobre um revestimento em epoxy.

Limpa-se a superfície, sem esfregar, pois o pigmento epoxy das camadas que ainda não estiverem totalmente curadas, pode sair. A acetona etilo metilo não é usada em acabamentos de nitrocelulose. O único teste necessário para acabamentos fluorescentes é o exame visual.

REMOÇÃO DE PINTURA

Uma das mais importantes operações é a decapagem de pinturas velhas, preparatória para a aplicação de um novo revestimento na superfície. Uma pintura original deve ser removida nos seguintes casos:

1) Se um painel ou área da aeronave tiver as superfícies pintadas de forma deterioradas.
2) Se os materiais para reparo não são compatíveis com o acabamento existente, impedindo assim o retoque.
3) Se uma corrosão é evidente ou suspeita sob uma camada de tinta aparentemente boa.

A área a ser decapada deve ser limpa de graxa, óleo, sujeira ou preservativos, para assegurar a máxima eficiência do removedor.

A seleção do tipo de materiais de limpeza a serem usados, depende da natureza do material a ser removido. Solvente para limpeza a seco pode ser usado para remoção de óleo, graxa e compostos preservativos suaves. Para remoção pesada de preservativos ressecados ou grossos, outros compostos do tipo emulsão-solvente estão disponíveis.

Em geral, os materiais para remoção de pintura são tóxicos e devem ser usados com cuidado. O uso de um removedor, lavável em água, é recomendado para a maioria dos campos de aplicações. Sempre que possível, a remoção de pintura de grandes áreas deve ser feita em ambientes externos e, preferencialmente, na sombra.

Se a remoção em ambiente interno é necessária, uma ventilação adequada deve ser assegurada. Superfícies de borracha sintética, incluindo pneus de aeronaves, tecidos e acrílicos, devem ser cuidadosamente protegidas contra possíveis contatos com o removedor.

Cuidado deve ser tomado ao se usar removedor para tinta, próximo a selantes de juntas para gás ou água, considerando que esse material irá amolecer e destruir a integridade dos selantes.

Devemos mascarar qualquer abertura que possa permitir ao removedor entrar no interior das aeronaves ou cavidades críticas. O removedor para tinta é tóxico, e contém ingredientes nocivos para os olhos e para a pele. Luvas de borracha, avental de material impermeável a ácido, e óculos de proteção, devem ser utilizados se qualquer remoção extensa de pintura for feita.

Um procedimento para decapagem geral é discutido nos parágrafos seguintes.

Nenhum preparado para remoção de tinta deve ser usado sobre a estrutura de aeronaves, ou entrar em contato com qualquer peça de fibra de vidro; tais como radomes, antena de rádio ou quaisquer componentes, como cobertura aerodinâmica de rodas ou pontas de asa. Os agentes ativos irão atacar e amolecer o aglutinante nessas peças.

ATENÇÃO: Em qualquer tempo, quando é usado um decapante para pintura, usa-se óculos de proteção e luvas. Se algum decapante for derramado sobre a pele, devemos lavá-la imediatamente com água. Se algum vier a entrar em contato com os olhos, os lavamos com água em abundância e chamamos um médico.

A área a ser decapada deve ser totalmente pincelada com uma camada de decapante de 1/32" a 1/16". Qualquer pincel para pintura serve como um aplicador, exceto aqueles os quais os pêlos ou cerdas poderão soltar-se por efeito do removedor. O pincel não deverá ser utilizado para outras finalidades após ser usado em removedor. Após aplicação do composto removedor, ele deve ser coberto com um tecido barato umedecido com polietano. A cobertura previne contra rápida evaporação, e facilita a penetração da película de tinta.

Permitimos ao decapante permanecer sobre a superfície por um período de tempo para enrugar e levantar a pintura. Isso pode variar de 10 minutos a várias horas, dependendo da temperatura, umidade e das condições da demão de pintura que está sendo removida. O removedor é reaplicado, caso necessário, em áreas em que permaneçam firmes, ou onde o material tiver secado, repetindo o processo acima. Raspadores não-metálicos podem ser usados para auxiliar na remoção de acabamentos persistentes.

A pintura solta e o decapante residual pela lavagem e esfregação da superfície com água, devem ser removidos. Se um jato d'água está disponível, ele é usado com pressão baixa a média, diretamente sobre a vassoura de esfrega.

Se um equipamento de lavagem está disponível, e a área é suficientemente ampla, esse equipamento, juntamente com uma solução para borrifo do composto para limpeza pode ser usado. Em pequenas áreas, qualquer método, o qual assegure o completo enxugamento da área, poderá ser usado.

RESTAURAÇÃO DE ACABAMENTOS

O principal objetivo, de qualquer acabamento a tinta, é a proteção das superfícies expostas contra a deterioração. Outras razões para um particular programa de pintura são:

1) A redução do brilho com revestimentos não reflexivos.
2) O uso de acabamentos brancos, claros ou brilhantes para reduzir a absorção de calor.
3) Necessidades de alta visibilidade.
4) Marcações de identificação.

Todos esses são de importância secundária para a proteção oferecida por uma pintura em boas condições. Uma pintura desbotada ou manchada, mas bem fixa, é melhor que um retoque recente inadequadamente tratado e aplicado sobre sujeira, produtos corrosivos ou outros contaminantes.

ACABAMENTOS COM LACA DE NITROCELULOSE

Um acabamento com nitrocelulose, ordinariamente, consiste de uma demão de aguada base e uma demão de cromato de zinco. Uma demão final de laca de nitrocelulose é aplicada sobre as demãos da base de cromato de zinco.

Substituição da pintura existente

Quando uma pintura existente de nitrocelulose está completamente deteriorada, a aeronave deve ser inteiramente decapada, e uma pintura nova aplicada. Quando tal dano é confinado a um ou mais painéis, a decapagem e aplicação de nova pintura pode ser limitada a tais áreas pelo mascaramento até a linha de união mais próxima.

O acabamento completo de laca de nitrocelulose é iniciado com a aplicação de uma demão de aguada base padrão, que deve ser aplicada em uma fina camada, com a textura do metal ainda visível após a aplicação.

Se uma absorção de água ocorrer, e a camada mostrar evidência de mancha, as demãos sucessivas não irão aderir. A área deve ser borrifada com álcool butílico para fixação da aguada. Se a mancha é ainda evidente, ela deve ser decapada e reaplicada. Após 20 minutos de tempo para secagem, a aderência da película deve ser verificada com um “teste de unha”. Um arranhão moderado com a unha não deve remover a camada de base.

A aguada base deve ser aplicada sobre uma superfície previamente limpa com um solvente volátil, como nafta ou diluidor para laca e tinta, antes da aplicação.

A evaporação do solvente deve ser completa antes da demão de primer ser aplicada. Melhor resultado será obtido se o solvente de limpeza for seguido por um detergente de lavagem.

A base laca é um cromato de zinco do tipo modificado (alkyo), desenvolvido para aderir a aguada base. A base laca não adere bem em metal decapado, mas funciona efetivamente como um sanduíche entre a demão de aguada e a de laca de nitrocelulose (podendo ser diluída conforme a necessidade com nitrato de celulose), para aplicação com pistola.

Em áreas onde a umidade relativa é alta, pode ser preferível a utilização de nitrocelulose acrílico. Para melhores resultados, a base laca deve ser aplicada dentro de 30 a 45 minutos após a aplicação da aguada.

O tipo antigo de base irá aderir bem ao metal decapado, e ainda é especificado como um revestimento aceitável para superfícies internas, bem como uma parte de acabamentos em nitrocelulose. Quando esse material é para ser aplicado com pincel, devemos diluí-lo até a consistência apropriada com xileno para dar a melhor retenção. Uma nova camada pode ser aplicada dentro de uma hora.

Lacas nitrocelulose são disponíveis em acabamentos brilhantes e foscos. O acabamento em laca é aplicado em duas demãos: a primeira uma névoa, com uma completa e densa demão cruzada, aplicada dentro de 20 a 30 minutos. A laca deve ser diluída conforme necessário, usando solvente para laca e dope nitrato celulose.

O solvente para laca e dope nitrato celulose (Especificação Federal TT-T-226) é explosivo e tóxico, bem como danoso à maioria das pinturas.

Solvente para laca e dope pode ser usado para remoção manual de laca ou base pulverizados. É um solvente aprovado para lacas de nitrocelulose e é uma mistura de acetonas, álcoois e hidrocarbonos.

As superfícies das áreas pintadas, danificadas, devem ser limpas antes do retoque e, todas as sujeiras, lubrificantes e preservativos devem ser removidos. Os procedimentos de limpeza para retoque de pintura são na maioria os mesmos daqueles para remoção. Se a pintura antiga não é para ser completamente removida, a superfície existente deve ser preparada para receber a nova demão de revestimento após a limpeza.

Se uma boa adesão é para ser obtida, toda a pintura solta deve ser escovada, dando atenção particular a locais com pintura superposta, como encontrados no alojamento das rodas e áreas das calotas de degelo das asas.

Bordas onduladas ou escamadas devem ser removidas para proporcionar cerca de 1/2" de recobrimento. Um abrasivo fino aprovado para uso aeronáutico deve ser usado, e um cuidado extremo deve ser tomado para assegurar que as superfícies em tratamento não sejam danificadas.

Após jateamento de areia, as áreas jateadas e o metal decapado devem ser limpos com essências minerais, álcool, nafta alifática ou solvente para limpeza a seco. Após a completa evaporação desses solventes, uma lavagem com detergente, usando uma mistura de álcool isopropílico/detergente não-iônico, deve ser aplicada antes da pintura. Isso irá melhorar a adesão da tinta.

ACABAMENTOS COM LACA DE NITROCELULOSE ACRÍLICA

A laca de nitrocelulose acrílica é um dos acabamentos mais comuns. Está disponível em fosca ou brilhante, e ambos os materiais são requeridos para pintura de aeronaves convencionais. Superfícies visíveis de cima, geralmente requerem o uso de acabamentos não reflexivos. As superfícies restantes são usualmente acabadas com materiais brilhantes para reduzir a absorção de calor. Os materiais-base devem ser diluídos conforme necessário, com solvente de nitrocelulose acrílico para aplicação com pistola.

Substituição da pintura em laca acrílica nitrocelulose existente

Este acabamento inclui uma demão de aguada base, uma demão de base cromato de zinco modificado, e uma demão final de laca nitrocelulose acrílica. Esse acabamento pode ser aplicado somente na seqüência especificada nas instruções do fabricante, e não aderirá às demãos de nitrocelulose antiga ou de epoxi.

Quando os acabamentos são aplicados sobre demãos de acrílico antigo, durante retoque, um amolecimento da película antiga com um solvente adequado é necessário.

Quando um acabamento está sendo refeito do metal decapado, os passos para a aplicação da base modificada são os mesmos para acabamentos em nitrocelulose, exceto que o cromato de zinco do tipo antigo não poderá ser usado.

Como num acabamento em nitrocelulose, a demão final de nitrocelulose acrílica deverá ser aplicada dentro de 30 a 45 minutos. As demãos de acabamento são usualmente aplicadas em duas camadas sobre a base modificada: A primeira apenas névoa, e a segunda densa (espessa), encobridora completa, demão cruzada, com 20 a 30 minutos de tempo de secagem entre as duas demãos. Uma vez que a tinta seque, um removedor será necessário para retirá-la.

O diluidor para laca de nitrocelulose acrílica é usado na diluição das mesmas, e para a consistência adequada à aplicação com pistola.

Ao se refazer acabamentos acrílicos, usamos dois solventes separados: (1) Solvente para laca e dope nitrato de celulose para diluir a base modificada; e (2) Solvente laca de nitrocelulose acrílico para reduzir o material da camada sobreposta.

Devemos nos assegurar de que o material diluente é usado apropriadamente, e que os dois não são misturados.

Retoque em nitrocelulose acrílica

Após a remoção da pintura danificada, o primeiro passo antes da aplicação do retoque de laca de nitrocelulose acrílica é a preparação de uma camada velha para receber a nova.

O solvente laca de nitrocelulose acrílico pode ser efetivamente usado para limpar pequenas áreas antes da pintura. Isso irá amolecer os bordos da base da película de tinta próxima às áreas danificadas, as quais, por sua vez, irão assegurar uma melhoria na adesão da camada de retoque. Todavia, o solvente contém tolueno e acetonas e, nunca, deve ser usado indiscriminadamente para limpeza de superfícies pintadas.

Quando antigos acabamentos em nitrocelulose acrílica com solvente são amolecidos, a penetração e separação das demãos antigas de base são evitadas. A nova demão de laca acrílica deve ser aplicada diretamente sobre a superfície amolecida, sem o uso de bases entre as demãos antiga e a nova.

ACABAMENTO EM EPOXY

Outro acabamento que se torna gradativamente comum, é o acabamento epoxy com Especificação Militar, ou uma marca registrada de base e acabamento epoxy.

Esses acabamentos consistem ordinariamente de um revestimento com aguada base convencional e duas camadas de material epoxi. Todavia, em alguns casos, a base pode consistir de um acabamento de três camadas, que inclui aguada base mais base epoxi-poliamida com acabamento final em epoxi-poliamida.

O brilho inerente a este sistema é devido, basicamente, ao lento fluxo de resinas usadas. Os diluentes evaporam-se rapidamente, mas as resinas continuam fluidas por três a cinco dias.

É esse longo tempo de secagem, e ainda, a completa curagem da película, que dá ao pigmento e ao filme, tempo para formar uma superfície seguramente homogênea, que reflita a luz e apresente o brilho "úmido", que o faz tão popular.

Acabamento em poliuretano é usado em aeronaves agrícolas e marítimas, devido a sua resistência à abrasão e ataques químicos. Fluido hidráulico skydrol (phosphate ester), que ataca e amolece outros acabamentos, tem um efeito mínimo sobre poliuretanos (até mesmo acetona não atacará esta pintura).

Os removedores devem ser mantidos sobre a superfície por um bom tempo, para permitir aos ingredientes ativos atuarem sobre a película e atacar a base.

O material epoxy, presentemente em uso, é um sistema de duas embalagens que consiste de uma resina e um conversor, que devem ser misturados em uma proporção definida antes da aplicação.

Desde que as proporções variem entre as cores usadas, e também entre os fornecedores, é importante observar cuidadosamente as instruções contidas nas embalagens.

O conversor deverá sempre ser adicionado à resina, mas nunca a resina ao conversor. Materiais de diferentes fabricantes também não devem ser misturados. A mistura deve permanecer no mínimo 15 minutos em repouso antes da aplicação.

Nesse tempo, a ação de curagem é iniciada. A finalidade primária desse período de espera é a de favorecer a aplicação, e de fato tem pouco a ver com o resultado do próprio acabamento. Após esse período de iniciação, o material é batido e misturado com redutor até à viscosidade adequada ao uso com pistola. Quando a viscosidade adequada é obtida, uma demão leve e ligeira é pulverizada. É permitido que a mesma seque por cerca de 15 minutos para que o solvente possa evaporar; e outra demão densa é pulverizada.

O principal problema com a aplicação de poliuretano cai na obtenção de uma película demasiadamente grossa. Uma película de cerca de 1.5 milésimos de polegada de espessura é aproximadamente o máximo para todas as áreas, exceto para aquelas sujeitas à erosão excessiva, tais como bordos de ataque. Uma película muito grossa, usada na pintura de faixas, pode quebrar devido à perda de flexibilidade.

Um caminho prático que diz que há material suficiente, é quando se consegue pulverizar até que mais uma passagem seja suficiente. A grande quantidade de sólidos contida no poliuretano, sua lenta secagem e baixa tensão superficial, fazem com que a película não se espalhe completamente por uma hora ou mais. Se o metal ainda é visto quando o suficiente é aplicado, o poliuretano irá fluir e cobri-lo.

Quase nenhum trabalho em poliuretano parece bom até o dia seguinte, pois ele fluirá por cerca de 3 a 5 dias, e ficará duro neste tempo. O o avião poderá voar em tempo bom, embora a pintura abaixo da superfície esteja ainda se movendo.

A fita para mascaramento pode ser aplicada após 5 horas sob condições ideais, mas seria melhor aguardar 24 horas após a aplicação do acabamento, removendo a fita tão rápido quanto possível. Se ela for deixada sobre a superfície por um dia, ou mais, será quase impossível removê-la.

Ambos, esmalte poliuretano e base epoxy, os quais fixam a película à superfície, são materiais catalíticos. Eles devem ser misturados e usados em 6 horas. Se eles não são aplicados dentro desse tempo, não terão brilho completo devido ao tempo reduzido de fluxo.

Se for impossível pulverizar todo o poliuretano dentro de um período de seis horas, a adição cuidadosa de redutor pode adicionar umas duas horas à vida útil do material.

Os catalisadores usados para essas bases e acabamentos são altamente reativos à umidade.

As latas devem ser tampadas imediatamente após o uso. Se uma lata de catalisador for deixada aberta por um período de tempo, e depois selada, a umidade na lata irá ativá-la e dilatá-la, tanto que haverá perigo da lata estourar. Alta umidade ou calor aceleram a cura.

Todos os materiais catalisados devem ser removidos da caneca de pressão, da mangueira e da pistola, logo após a conclusão da operação de pulverização; e o equipamento deve ser totalmente lavado. Se qualquer um desses materiais permanecerem até o dia seguinte, eles irão solidificar-se e arruinar o equipamento.

Precauções devem ser tomadas para assegurar a proteção respiratória e a proteção dos olhos, quando misturando as duas partes, resina e ativador. Luvas e aventais também devem ser usados para prevenir o contato com a pele.

Fumar ou comer na área de misturação deve ser especificamente proibido, e a mistura deve ser feita em uma área bem ventilada. As resinas e os catalisadores ativos contidos nessas misturas podem causar sensibilidade à pele, similar a uma reação ao veneno da hera (ivy).

Retoques com acabamentos epoxy

Revestimentos epoxy podem ser aplicados diretamente sobre metal nu, em pequenas áreas. Danos menores, tais como riscos e desgastes podem ser reparados pela aplicação de uma demão final de epoxy diretamente sobre a área danificada, estendendo ou não o dano até o metal nu. A área deve ser completamente limpa e os bordos da pintura antiga lixados, tornando-os ásperos, para assegurar a aderência.

Esse material seca muito rapidamente. Demãos muito pesadas ou densas são produzidas facilmente, e são particularmente sujeitas a baixa aderência e quebra.

Grandes áreas danificadas devem ser reparadas pela remoção até a fenda mais próxima, e um acabamento epoxy completo deve ser aplicado.

ACABAMENTOS FLUORESCENTES

Tintas fluorescentes estão disponíveis em dois tipos de qualidade, com perda gradual de coloração e resistência ao tempo:

1) Um acabamento projetado para uma fácil remoção; e
2) Um acabamento permanente, que ordinariamente não pode ser removido sem descascar completamente a pintura até o metal nu.

Esses acabamentos fluorescentes são aplicados sobre áreas totalmente escondidas, limpas com demão de base branca para uma máxima reflexibilidade.

Substituição do acabamento existente

Para a melhor resistência possível ao tempo e as propriedades da película, a espessura desta deve ser no mínimo de 3 mils para a demão central fluorescente, e 1 mil para a demão final.

Uma demão brilhante final de 1 a 1 1/2 mils é necessária para filtrar os raios ultravioletas do sol, e prevenir contra desbotamento prématuro ou manchas no acabamento fluorescente. O uso de vernizes transparentes, além dos adequados à pintura fluorescente, também podem promover o desbotamento.

Quando o acabamento permanente é branco, ele só pode servir como demão base se o acabamento fluorescente for necessário. Se o acabamento permanente é de qualquer outra cor, um verniz branco deve ser usado sobre a pintura fluorescente. Quando se aplica uma pintura fluorescente em acabamentos epoxy, primeiramente cobre-se a superfície epoxy com verniz branco de nitrocelulose, considerando que o acabamento fluorescente não adere muito bem a películas epoxy. Esses acabamentos de alta visibilidade são efetivos por um período de 6 a 8 meses.

Retoques com acabamentos fluorescentes

Retoque, com acabamentos fluorescentes, é difícil de controlar e, raramente, deve ser tentado. Qualquer retoque será notado por causa das variações de tons.

Pequeno dano, em camadas fluorescentes, é reparado por mascaramento, remoção com tolueno até a camada de base branca e uma outra pintura com tinta fluorescente. Isso deve incluir uma ou mais demãos de retoque de acabamento fluorescente e, em seguida, ser recoberto com um selante final transparente.

ACABAMENTOS COM ESMALTE

Esmaltes freqüentemente são usados para acabamentos finais de aeronaves. Praticamente todos os esmaltes são feitos pela mistura de um pigmento com verniz "*spar*" ou verniz glicerina.

A maioria dos acabamentos esmaltados, usados em componentes de aeronaves, são acabamentos cozidos em forno que não podem ser copiados em condições de campo. Alguns são materiais patenteados que não estão disponíveis no mercado.

Todavia, para finalidades de retoque sobre qualquer superfície esmaltada, um esmalte padrão de secagem ao ar -brilhante ou de secagem rápida - pode ser usado.

O esmalte de alto brilho é diluído com essências minerais, pode ser aplicado com pincel, e deve ser, ordinariamente, usado sobre uma demão base de cromato de zinco. O esmalte de secagem rápida é melhor diluído com nafta aromática. Em situações onde uma base não está disponível, qualquer um desses esmaltes podem ser aplicados diretamente sobre o metal nu.

Se nenhum esmalte está disponível para finalidades de retoque, o material epoxy para acabamento final pode ser substituído. O uso de laca de nitrocelulose acrílica para reparos em esmaltes, usualmente, não é satisfatório.

COMPATIBILIDADE DO SISTEMA DE PINTURA

O uso de diferentes tipos de tintas, combinados com diferentes tipos de marcas, faz com que o reparo de áreas danificadas e deterioradas seja particularmente difícil, pois as tintas para acabamento não são necessariamente compatíveis umas com as outras.

As seguintes regras gerais para a compatibilidade constituinte são incluídas para informação e, não são, necessariamente, listadas em ordem de importância:

1) O cromato de zinco tipo antigo pode ser usado diretamente para retoque de superfície de metal nu, e para uso em acabamentos interiores. Ele pode ser pulverizado com aguada base se estiver em boas condições. Acabamentos em laca acrílica não irão aderir a este material.

2) O cromato de zinco modificado não irá aderir satisfatoriamente ao metal nu, também, nunca deve ser usado sobre uma película seca ou laca de nitrocelulose acrílica.

3) Demãos de nitrocelulose aderirão aos acabamentos acrílicos, mas o reverso não é verdadeiro. Lacas de nitrocelulose acrílica não devem ser usadas sobre acabamentos em nitrocelulose antigas.

4) Lacas de nitrocelulose acrílica irão aderir fracamente aos acabamentos de nitrocelulose e acrílico e, geralmente, ao metal nu. Para os melhores resultados, as lacas devem ser aplicadas sobre camadas frescas e sucessivas de aguada base e cromato de zinco modificado. Elas também aderirão a camadas de epoxy aplicados recentemente (secagem menor que 6 horas).

5) Acabamentos finais em epoxy irão aderir a todos os sistemas de pintura que estão em boas condições, e podem ser usados para retoques gerais, incluindo retoques de defeitos em acabamentos em esmalte cozido em forno.

6) Revestimentos com aguada base antiga podem ser totalmente recobertos diretamente com acabamentos epoxy. Uma nova segunda demão de aguada base deve ser aplicada se um acabamento acrílico está para ser usado.

7) Acabamentos antigos em acrílico podem ser repintados com acrílico novo se, a antiga demão, for completamente amolecida, usando solvente de nitrocelulose acrílico antes da pintura de retoque.

8) Danos em acabamentos epoxy podem ser melhor reparados pela utilização de mais epoxy, considerando que nenhum dos acabamentos em laca irão fixar à superfície. Em alguns casos, esmaltes de secagem ao ar podem ser usados para retoque de revestimentos em epoxy, se os bordos das áreas danificadas forem primeiramente lixadas.

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE ACABAMENTOS

Existem muitos métodos para aplicação de acabamentos em aeronaves. Entre os mais comuns estão imersão, pincelagem e pulverização a pistola.

Imersão

A aplicação de acabamentos por imersão é geralmente restrita a fábricas ou grandes estações de reparo. O processo consiste em imergir a peça a ser acabada em um tanque cheio com o material de acabamento. As demãos base são freqüentemente aplicadas desta maneira.

Pincelagem

A pincelagem tem sido, por muito tempo, um método satisfatório de aplicação de acabamentos para todos os tipos de superfícies. A pincelagem é usualmente usada para pequenos trabalhos de reparo, e em superfícies, onde não é praticável a pintura a pistola.

O material a ser aplicado deve ser diluído até a consistência adequada para a pincelagem. O material muito espesso tem a tendência a puxar ou colar sob o pincel. Se o material está muito fino, ele tende a escorrer, ou não cobrirá a superfície adequadamente.

Pulverização a pistola

Todos os sistemas de pulverização têm várias similaridades básicas. Deve haver uma fonte adequada de ar comprimido; um reservatório ou tanque alimentador para manter o suprimento do material de acabamento; e um dispositivo para manter o controle da combinação de ar e material de acabamento; ejetado em uma nuvem atomizada (*spray*) contra a superfície a ser revestida.

Existem dois tipos principais de equipamentos para *spray.*

Uma pistola com reservatório de tinta integral é satisfatório quando se pinta em pequenas áreas. Quando largas áreas são pintadas, um equipamento alimentador de pressão é usualmente preferido, considerando que um grande suprimento de material de acabamento pode ser proporcionado, sob pressão constante, para um tipo de alimentador de pressão de pistola (spray).

O suprimento de pressão de ar deve ser inteiramente livre de água ou óleo para obtenção de uma boa pintura. Sifões de óleo e água, bem como filtros apropriados, devem ser incorporados na linha de pressão de ar. Esses filtros e sifões devem ter manutenção regular.

A pistola pode ser ajustada para dar uma forma do tipo circular ou em leque.

A figura 4-1 mostra a forma do jato em vários ajustes. Quando cobrindo várias superfícies, a pistola é ajustada, exatamente abaixo da máxima largura do leque. O jato circular está disponível para correção de pequenas áreas.

A pistola deve ser mantida de 6 a 10 polegadas distante da superfície; e o contorno do trabalho cuidadosamente seguido.

É importante que a pistola seja mantida em ângulo reto com a superfície. Cada passada da pistola deve ser reta, e o gatilho aliviado exatamente antes de completar a passagem, como mostrado na figura 4-2. A velocidade do movimento deve ser regulada para depositar uma camada uniforme, úmida, porém não muito pesada.

Cada passagem da pistola deve ser sobreposta à seguinte para manter uma película úmda, absorvendo então os bordos secos da passagem anterior.

O jato de pulverização deve ser aplicado em uma camada uniforme e úmida, que fluirá suavemente e estará livre do acabamento áspero. Uma cobertura inadequada poderá ser produzida por um jato muito leve ou muito pesado. Neste caso poderá haver escorrimentos e ondulações.

Para se obter auxílio na obtenção de bons resultados, nos asseguramos de que a pressão do ar para a pistola esteja entre 40 e 80 P.S.I., dependendo do material a ser usado. Com pressões de ar abaixo de 40 P.S.I. a borrifação é lenta e cansativa.

Também, com material viscoso, uma completa atomização não é obtida. Acima de 80 P.S.I. o "espanamento" e o fluxo de retorno tornam-se inconvenientes.

Quando estamos utilizando um equipamento alimentador de pressão, ajustamos a pressão do ar no reservatório, de acordo com a viscosidade da tinta e do comprimento da mangueira de fluido usada.

A pressão deve ser tal, que o material alcance a cabeça da pistola em um fluxo suave e contínuo. Geralmente, uma pressão entre 5 a 15 P.S.I. é usada.

Pressões muito altas levam a escorrimentos e ondulações, devido à borrifação de tinta em excesso.

PREPARAÇÃO DA TINTA

Antes da tinta ser usada, ela deve estar completamente uniforme, para que qualquer pigmento que possa ter-se fixado no fundo do reservatório seja trazido em suspensão, e distribuído igualmente pela tinta.

Se uma película chamada "crosta" formou-se sobre a tinta, deverá ser removida antes da agitação. Uma agitação mecânica é mais preferível que a manual.

Todavia, como uma agitação nem sempre remove o pigmento aglutinado no fundo do reservatório, um teste com um agitador deve ser feito, para assegurar que o pigmento está completamente mantido em suspensão.

Para uma agitação manual, uma lâmina-chata de material não ferroso pode ser usada.

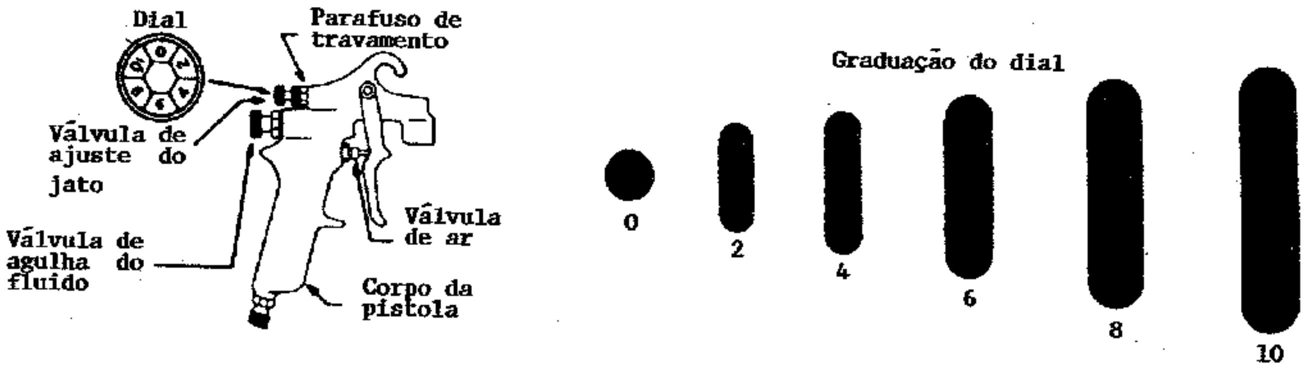


Figura 4-1 Formato do jato de tinta nas diferentes regulagens do dial.

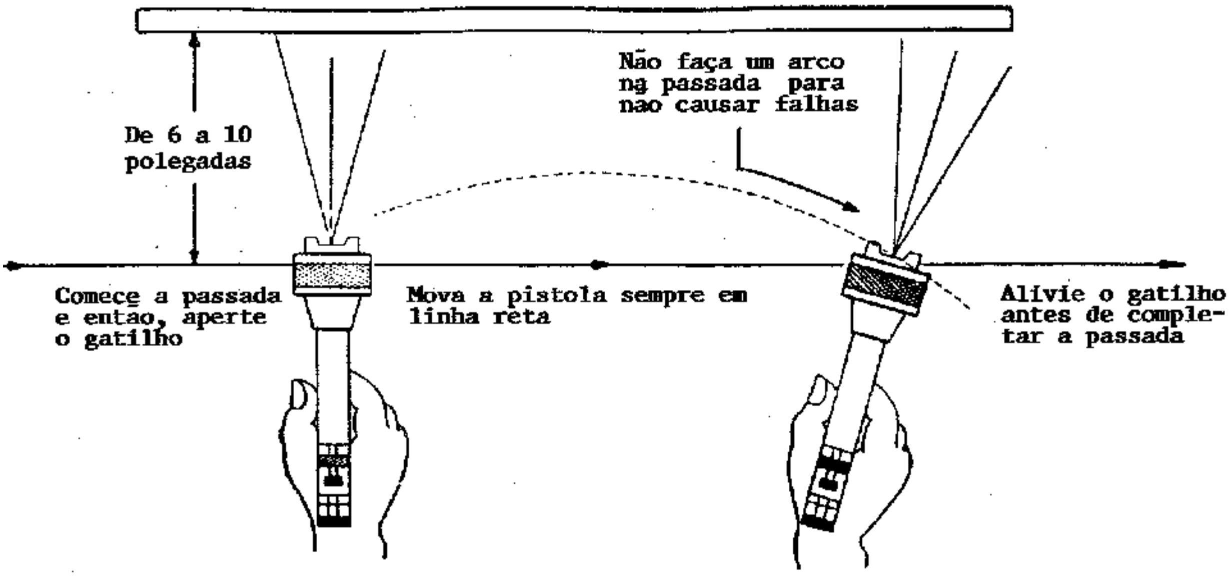

De 6 a 10 polegadas
Não faça um arco na passada para nao causar falhas
Comece a passada e entao, aperte o gatilho
Mova a pistola sempre em linha reta
Alivie o gatilho antes de completar a passada

Figura 4-2 Passadas da pistola.

O grau de diluição depende do tipo de equipamento pulverizador, pressão de ar, condições atmosféricas e o tipo da tinta a ser usada.

Nenhuma regra rígida e geral para proporções de diluição pode ser aplicada.

Devido à importância de uma diluição acurada, alguns fabricantes recomendam o uso do controle de viscosidade. Isto é usualmente feito com a utilização de um copo de viscosidade (fluxo).

Quando a correta proporção de solvente é misturada ao material, um copo cheio do material fluirá para fora em um determinado número de segundos. O fabricante do material deverá especificar o número de segundos necessários para um dado produto.

Os materiais diluídos, segundo este método, estarão na correta viscosidade para as melhores aplicações.

Em muitos casos, os fabricantes recomendam que todos os materiais serão coados antes do uso. Uma peneira com malha 60 a 90 é apropriada para esta finalidade. Coadores são disponíveis em malha de gase metálica, papel ou nylon.

PROBLEMAS COMUNS COM TINTAS

Aderência Fraca

A tinta, apropriadamente aplicada em superfícies pré-tratadas, irá aderir satisfatóriamente e, quando estiver completamente seca, não será possível removê-la de maneira fácil.

Uma fraca aderência pode resultar de um dos seguintes casos:

1) Limpeza e pré-tratamento inadequado;
2) Agitação da tinta ou base inadequada;
3) Aplicação em intervalos de tempo incorretos;
4) Aplicação sob condições adversas; e
5) Má aplicação.

Salpicos *(spray dust)*

O salpico é causado pelas partículas atomizadas, que se tornam secas antes de alcançar a superfície que esta sendo pintada, deixando de fluir como uma película contínua.

As causas usuais são: a incorreta pressão de ar; e a distância que a pistola é mantida do trabalho em execução.

Ondulações e escorrimentos

Ondulações e escorrimentos resultam do excesso de tinta sendo aplicada, causando à película de tinta úmida a movimentação por ação da gravidade, e apresentando uma aparência ondulada.

A incorreta viscosidade, pressão do ar e manuseio da pistola são as causas freqüentes, entretanto, uma preparação inadequada da superfície pode ser responsável.

Aspereza

Algumas vezes conhecida como "casca de laranja" ou "superfície áspera", a aspereza é usualmente causada pela incorreta viscosidade da tinta, pressão de ar, ajuste da pistola, ou a distância mantida entre a pistola e o trabalho que está sendo executado.

Manchas

A mancha é um dos problemas que mais surge, e aparece como uma "névoa" ou "floração" da película de tinta. Ela é mais comum com os materiais à base de celulose que os sintéticos.

A mancha pode ser causada pela água, proveniente da linha de suprimento de ar, umidade adversa, corrente de ar ou mudanças súbitas de temperatura.

PINTURA DE ADORNOS E NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO

Quando uma aeronave está sendo pintada, a cor predominante é aplicada primeiro sobre a superfície total. As cores de adorno são pintadas sobre a cor básica após sua secagem.

Quando o topo da fuselagem é para ser pintado em branco, com uma cor escura adjacente, a cor clara é aplicada e isolada para dentro da área a ser pintada em cor escura. Quando a cor clara tiver secado, fita de mascaramento e papel são colocados ao longo da linha de separação, e então a cor escura é aplicada.

É permitido que a tinta fique secando por várias horas antes da remoção da fita de mascaramento.Remove-se a fita puxando-a lentamente e, paralelamente, à superfície. Isto reduzirá a possibilidade de soltura da película aplicada com o tape.

É necessário que todas as aeronaves mostrem sua marca de nacionalidade e registro. Essas marcas podem ser pintadas ou afixadas, usando desenhos em plástico auto-adesivo.

As marcas são formadas de linhas sólidas, usando uma cor que contrasta com o fundo. Nenhuma ornamentação pode ser usada com as marcações, e elas devem ser afixadas com um material ou tinta que produzam um grau de permanência.

Aeronave programada para imediata entrega a um comprador estrangeiro pode apresentar marcas que possam ser facilmente removidas.

Uma aeronave exportada pode apresentar marcas de identificação requerida pelo estado de registro da aeronave. A aeronave pode ser operada somente para teste e vôos de demonstração por um período limitado de tempo, ou para entrega ao país comprador.

Uma aeronave registrada no Brasil deve apresentar as marcas de nacionalidade e de matrícula da aeronave.

A localização e o tamanho das marcas de identificação variam de acordo com o tipo de aeronave. A localização e o tamanho são prescritos no RBHA-45.

DECALCOMANIAS (DECALQUES)

Marcações são colocadas sobre as superfícies das aeronaves para proporcionar instruções de manutenção, especificações de óleo e combustível, capacidade de tanques; e para identificar pontos de sustentação e nivelamento, locais para apoio de pé, localização de baterias, ou qualquer área que deva ser identificada. Essas marcações podem ser aplicadas por estencilagem ou por decalcomanias.

As decalcomanias são usadas no lugar das instruções pintadas, porque elas são mais baratas e mais fáceis de serem aplicadas. Os decalques usados em aeronaves são normalmente de três tipos: (1) papel, (2) metal, ou (3) película de vinil.

Esses decalques estão disponíveis para aplicação em superfícies interiores e exteriores.

Para assegurar a adequada adesão dos decalques, todas as superfícies são limpas com nafta alifática, para remover graxa, óleo, cêra ou substâncias estranhas. Superfícies porosas devem ser seladas, e superfícies ásperas lixadas, seguindo de limpeza para remover qualquer resíduo.

As instruções para aplicação de decalques usualmente são impressas no lado reverso de cada decalque, e devem ser seguidas. Um procedimento de aplicação geral, para cada tipo de decalque, é apresentado nos parágrafos seguintes para proporcionar a familiarização com as técnicas envolvidas.

Decalques em papel

Os decalques em papel são imergidos em água limpa por 1 a 3 minutos. Se deixarmos o decalque embebido por mais de 3 minutos, causará a separação do suporte do decalque enquanto imerso. Caso o decalque seja embebido por menos de 1 minuto, o suporte não se separará do decalque.

Coloca-se um bordo do decalque sobre a superfície receptora preparada, e pressiona-sr levemente para deslizar o papel suporte por baixo do decalque. Os alinhamentos menores são executados com os dedos.

A água do decalque da área adjacente é removida suavemente com um tecido absorvente. As bolhas de ar e água aprisionadas sob o decalque são removidas e limpas cuidadosamente, em direção ao bordo mais próximo do decalque com um pano. Deixa-se, então, o decalque secar.

Após o decalque ter secado, ele é coberto com um verniz transparente, que o protege da deterioração e soltura.

Decalques metálicos com suporte de celofane

Aplica-se os decalques metálicos adesivos com suporte de celofane como segue:

1) Imergir o decalque em água limpa e morna por 1 a 3 minutos.

2) Retirá-lo da água, e secá-lo cuidadosamente com um pano limpo.

3) Remover o suporte de celofane, mas não tocar no adesivo.

4) Posicionar um bordo do decalque sobre a superfície receptora preparada. Com grandes folhas de decalque, colocar o centro sobre a superfície receptora, e trabalhar para fora do centro para os bordos.

5) Remover todos os bolsões de ar pela rolagem firme de um rolo de borracha, e pressionar todos os bordos severamente contra a superfície receptora para assegurar uma boa adesão.

Decalques metálicos com suporte de papel

Decalques metálicos com suporte de papel são aplicados similarmente àqueles tendo um suporte de celofane. Todavia, não é necessário imergir o decalque em água para remover o suporte, ele pode ser descolado do decalque sem umidificação. Após a remoção do suporte, aplica-se uma camada muito leve de cyclohexanone, ou equivalente ao adesivo. O decalque deve ser posicionado e removido, seguindo os procedimentos dados para o decalque com suporte de celofane.

Decalques metálicos sem adesivo

Aplica-se decalques metálicos sem adesivo da seguinte maneira:

1) Aplicar uma camada de cola, especificação militar MIL-A-5092, ao decalque e a superfície receptora preparada.

2) Deixar a cola secar até que ambas as superfícies estejam pegajosas.

3) Aplicar o decalque, e alisá-lo para baixo até remover as bolsas de ar.

4) Remover o excesso de adesivo com um pano embebido com nafta alifática.

Decalques de película de vinil

Para a aplicação de decalques de película de vinil, separa-se o papel suporte da película de plástico.

Remove-se qualquer papel suporte aderindo ao adesivo, esfregando a área suavemente com um pano limpo encharcado com água.
Pequenas partes de papel remanescente com fita de mascaramento, também são removidas.
O cyclohexanone, ou equivalente, é aplicado

em firme e uniformes movimentos no lado adesivo do decalque.
adesivo para cima, sobre uma superfície porosa limpa, tal qual madeira ou papel mata-borrão.

Posiciona-se o decalque na localização apropriada, enquanto o adesivo ainda está pegajoso, com apenas um bordo tocando a superfície preparada. Aplica-se um rolo através do decalque com movimentos sobrepostos, até que as bolhas de ar sejam removidas.

Remoção de decalques

Decalques de papel podem ser removidos esfregando-os com um pano embebido com solvente laca. Se os decalques foram aplicados sobre superfícies pintadas ou dopadas, usamos o solvente laca suavemente para prevenir contra a remoção da tinta ou dope.

Remove-se os decalques de metal pelo umedecimento dos bordos da folha com nafta alifática, e esfola-se o decalque da superfície aderente.

Decalques com películas de vinil são removidos pela colocação de um pano, saturado com cyclohexanone ou acetona metil ketil (MEK), e raspagem com um raspador de material plástico (Micarta).

Remove-se o adesivo remanescente, limpando com um pano embebido com solvente para limpeza a seco.

CAPÍTULO 5

REPAROS ESTRUTURAIS EM AERONAVES

INTRODUÇÃO

Os métodos de reparo de partes estruturais de uma aeronave são numerosos e variados, e não há um conjunto de padrões específicos de reparo que se aplique em todos os casos. Uma vez que os valores de projeto das cargas que atuam nas várias partes estruturais de uma aeronave nem sempre estão disponíveis, o problema de reparar uma seção danificada deve ser geralmente resolvido duplicando-se a resistência da parte original, quanto ao tipo de material e dimensões. Algumas regras gerais quanto à escolha do material e a modelagem de partes que podem ser aplicadas universalmente pelo mecânico de estruturas, serão abordadas neste capítulo.

Os reparos discutidos são típicos daqueles utilizados na manutenção de aeronaves, e foram incluídos para introduzir algumas das operações envolvidas. Para informações extras quanto a reparos específicos, devemos consultar os manuais de serviços ou de manutenção do fabricante.

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA REPARO DE CHAPAS DE METAL

O primeiro, e um dos mais importantes passos, no reparo de danos estruturais é a avaliação do serviço, e fazer uma estimativa precisa do que tem que ser feito.

A avaliação inclui uma estimativa do melhor tipo e formato de reparo a ser usado; o tipo, tamanho e número de rebites necessários; e a resistência, espessura e tipo de material requerido para que o membro reparado não fique mais pesado (ou apenas ligeiramente mais pesado), e tão forte quanto o original. Inspecionamos, também, os membros adjacentes quanto à corrosão evidente e danos por carga, de forma que a extensão requerida para o reparo do velho dano possa ser precisamente estimada. Após completar a limpeza da área, fazemos inicialmente um esboço de reparo em uma folha de papel, depois o transferimos para a chapa de metal selecionada. Cortamos e chanframos o reparo, modelando-o, de forma a encaixa-lo aos contornos da área onde será aplicado.

Mantendo a resistência original

Na realização de qualquer reparo, certas regras fundamentais são observadas, caso a resistência original da estrutura deva ser mantida.

A chapa do reparo deve ter uma seção transversal igual ou maior que a da seção original danificada. Caso o membro seja submetido a compressão ou flexão, posicionamos o reparo do lado externo do membro para assegurar a maior resistência a tais esforços. Caso o reparo não possa ser feito pelo lado externo do membro, utilizamos um material que seja mais forte que o original.

Para reduzir a possibilidade de rachaduras que se iniciam nas arestas dos cortes, tentamos fazer cortes circulares ou ovais. Onde for necessário fazer um corte retangular, fazemos com que o raio de curvatura de cada aresta não seja menor que 1/2 polegada. Substituimos membros dobrados ou empenados ou os reforçamos, aplicando um reparo sobre a área afetada.

Certificamos-nos de que o material usado em todas as substituições e reforços seja semelhante ao material usado na estrutura original. Se for necessário substituir por uma liga mais fraca que a original, utilizamos um material de maior espessura, de forma que a resistência da seção transversal seja equivalente. Mas nunca fazemos o oposto; ou seja, substituir o material original por um material mais resistente e de menor espessura. Esta inconsistência aparente prende-se ao fato de que um material pode ter maior resistência a tensão que outro, porém, ter menor resistência a compressão, ou vice-versa. Como exemplo, as propriedades mecânicas das ligas 2024-T80 são comparadas no próximo parágrafo.

Se uma liga 2024-T fosse substituída por uma liga 2024-T80, o material substituto deveria ser de maior espessura, a menos que a redução na resistência a compressão seja sabidamente aceitável. Por outro lado, se uma liga 2024-T80 fosse substituída por uma liga 2024-T, o material substituto deveria ser de maior espessura, a menos que a redução na resistência a tensão fosse sabidamente aceitável. Similarmente, a resistência à torção e empenamento de muitas chapas metálicas e partes tubulares, depende antes da espessura que das resistências permissíveis quanto a compressão e cisalhamento.

Quando for necessário estampar o reparo, devemos ter muito cuidado quanto a ligas com tratamento térmico e ligas trabalhadas a frio, pois elas têm pouca resistência à flexão, rachando facilmente. Ligas macias, por outro lado, são facilmente estampadas, porém, não são suficientemente resistentes para fazer parte de estruturas primárias. Ligas fortes podem ser estampadas em suas formas recozidas e com tratamento térmico, para aumentar sua resistência antes de montadas.

Em alguns casos, se o metal recozido não estiver disponível, aquecemos o metal, deixamos resfriar rapidamente, de acordo com as práticas normais de tratamento térmico, e o modelamos antes de seu endurecimento completo. A modelagem deve estar completa no máximo meia hora após o resfriamento rápido, ou o metal ficará muito duro para modelar.

O tamanho dos rebites para qualquer reparo pode ser determinado, verificando-se o tamanho dos rebites usados pelo fabricante na mais próxima fila de rebites, internamente, se for na asa, ou à frente, se for na fuselagem. Outro método de determinar o tamanho dos rebites a serem usados, é multiplicar a espessura do revestimento por 3 e utilizar o tamanho de rebite logo acima do valor encontrado. Por exemplo, se a espessura do revestimento é de 0,040 polegada multiplicamos por 3, o resultado é 0,120; usaremos o rebite imediatamente maior, 1/8 da polegada (0.125 da polegada).

Todos os reparos realizados em partes estruturais de uma aeronave, necessitam de um número definido de rebites de cada um dos lados do reparo, para restaurar a resistência original. Esse número varia de acordo com a espessura do material a ser reparado, e com o tamanho do dano sofrido. O número de rebites pode ser determinado verificando-se um reparo semelhante realizado pelo fabricante, ou utilizando-se a seguinte fórmula:

nº de rebites requeridos em cada lado do reparo

$$= \frac{C \text{ x } E \text{ x } 75.000}{\text{S ou A}}$$

O número de rebites requeridos em cada um dos lados do reparo é igual ao comprimento do dano (C) vezes a espessura do material (E) vezes 75.000, dividir pela resistência ao cisalhamento (S) ou o apoio (A) do material sendo reparado, o menor dos dois valores.

O comprimento do dano é medido perpendicularmente em direção do estresse geral transmitido através da área danificada.

A espessura do material é a espessura real da parte sendo reparada, e é medida em milésimos de polegada.

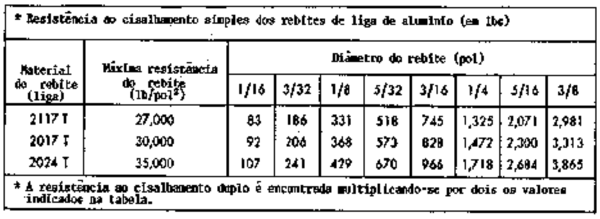
Os 75.000 utilizados na fórmula, são um valor assumido de estresse de 60.000 p.s.i acrescido por um fator de segurança de 25%. Esse valor é uma constante.

A resistência a cisalhamento é retirada da tabela da figura 5-1.

Representa a quantidade de força requerida para degolar um rebite que está prendendo duas ou mais chapas de material. Se o rebite estiver segurando duas partes, ele está sob cisalhamento simples; se ele estiver segurando três chapas ou partes, ele está sob cisalhamento duplo.

Para determinar a resistência a cisalhamento, deve-se conhecer o diâmetro do rebite. Isto é feito, multiplicando-se a espessura do material por 3.

Por exemplo: espessura do material igual a 0,040 polegada x 3 = 0,120 polegada; o rebite selecionado deve ser o de 1/8 da polegada ou 0,125 da polegada de diâmetro.



* Resistência ao cisalhamento simples dos rebites de liga de alumínio (em lbs)

Material do rebite (liga)	Máxima resistência do rebite (lb/pol²)	Diâmetro do rebite (pol)							
		1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
2117 T	27,000	83	186	331	518	745	1,325	2,071	2,981
2017 T	30,000	92	206	368	573	828	1,472	2,300	3,313
2024 T	35,000	107	241	429	670	966	1,718	2,684	3,865

* A resistência ao cisalhamento duplo é encontrada multiplicando-se por dois os valores indicados na tabela.

Figura 5-1 Tabela de resistência ao cisalhamento simples.

A resistência ao apoio é um valor extraído da tabela apresentada na figura 5-2, e representa a quantidade de tensão requerida para puxar um rebite através da borda de duas chapas rebitadas juntas, ou para alongar o furo. O diâmetro do rebite a ser usado, e a espessura do material a ser rebitado, devem ser conhecidos para se utilizar a tabela.

O diâmetro do rebite deve ser o mesmo que o utilizado na determinação da resistência ao cisalhamento. A espessura do material refere-se ao material a ser reparado.

Expessura da chapa (pol)	Diâmetro do rebite (pol)							
	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
0,014	71	107	143	179	215	287	358	430
,016	82	123	164	204	246	328	410	492
,018	92	138	184	230	276	369	461	553
,020	102	153	205	256	307	410	412	615
,025	128	192	256	320	284	512	640	768
,032	164	245	328	409	492	656	820	984
,036	184	276	369	461	553	738	922	1,107
,040	205	307	410	512	615	820	1,025	1,230
,045	230	345	461	576	691	922	1,153	1,383
,051	261	391	522	653	784	1,045	1,306	1,568
,064		492	656	820	984	1,312	1,640	1,968
,072		553	738	922	1,107	1,476	1,845	2,214
,081		622	830	1,037	1,245	1,660	2,075	2,490
,091		699	932	1,167	1,398	1,864	2,330	2,796
,102		784	1,046	1,307	1,569	2,092	2,615	3,138
,125		961	1,281	1,602	1,922	2,563	3,203	3,844
,156		1,198	1,598	1,997	2,397	3,196	3,995	4,794
,188		1,445	1,927	2,409	2,891	3,854	4,818	5,781
,250		1,921	2,562	3,202	3,843	5,125	6,405	7,686
,313		2,405	3,208	4,009	4,811	6,417	7,568	9,623
,375		2,882	3,843	4,803	5,765	7,688	9,068	11,529
,500		3,842	5,124	6,404	7,686	10,250	12,090	15,372

Figura 5-2 tabela de resistência ao apoio (lbs).

Exemplo: Usando a fórmula, determine o número de rebites 2117-T necessários para reparar um dano com 2 - 1/4 polegada de comprimento, e espessura de 0,040 polegadas.

Nº de rebites por lado $\frac{C \times E \times 75.000}{S \text{ ou } A}$

Dados:

C = 2 - 1/4 polegada ou 2,25 polegadas

E = 0,040 polegada

Tamanho do rebite: 0,040 x 3 = 0,120; o rebite deve ser de 1/8 polegada

S = 331 (retirado da tabela da figura 5-1)

A = 410 (retirado da tabela da figura 5-2)

Utilizar o valor de S, por se tratar do menor dos dois. Substituindo na fórmula:

(2,25 x 0,040 x 75.000) : 331 = 6.750 : 331 =

20,39 ou 21 rebites em cada lado.

Uma vez que qualquer decimal deve ser considerado como um inteiro, o número preciso de rebites requeridos deve ser de 21 por lado, ou 42 rebites em todo o reparo.

Mantendo o contorno original

É importante modelar todos os reparos de forma que eles se encaixem perfeitamente no contorno original.

Um contorno suave é especialmente desejável na confecção de reparos para o revestimento de aeronaves de alta velocidade

Mantendo o peso mínimo

Mantemos o peso de todos os reparos o menor possível, e fazemos os reparos pequenos, e sem usar mais rebites do que os necessários.

Em muitos casos, os reparos modificam o balanceamento original da estrutura. A adição de peso excessivo em cada reparo pode desbalancear a aeronave, de forma a requerer ajustes nos compensadores.

Em áreas como o cone da hélice, um reparo vai requerer a aplicação de chumbo de, equilibrio para que o balanceamento do conjunto da hélice continue perfeito.

REPAROS GERAIS DE ESTRUTURAS

Os membros estruturais das aeronaves são projetados para realizar uma determinada função, ou servir a um determinado propósito.

O principal objetivo do reparo de aeronave é restaurar as partes danificadas à sua condição original. Muito freqüentemente, a substituição de um membro é a única alternativa eficaz. Quando é possível reparar uma peça danificada, primeiramente a estudamos cuidadosamente, de forma que seu propósito ou função sejam completamente entendidos.

A resistência pode ser o principal requisito no reparo de certas estruturas, enquanto outros podem requerer qualidades completamente diferentes.

Por exemplo, os tanques de combustível devem ser protegidos contra vazamentos; porém, carenagens e partes semelhantes devem possuir propriedades, tais como: uma boa aparência e um formato aerodinâmico; e tudo deve ser facilmente acessível.

A função de qualquer parte danificada deve ser cuidadosamente determinada, de forma que o reparo atenda aos requisitos.

INSPEÇÃO DOS DANOS

Durante a inspeção visual dos danos, devemo-nos lembrar que podem haver outros tipos de danos, além dos causados pelo impacto de objetos estranhos ou colisões.

Um pouso duro pode sobrecarregar o trem de pouso, empenando-o - isto seria classificado como dano por carga.

Durante a inspeção e a avaliação do reparo, observamos até onde os danos causados pelo empenamento do trem de pouso podem terse estendido aos membros de suporte estrutural.

Um choque ocorrido em uma extremidade de um membro, será transmitido através de toda sua extensão; sendo assim, inspecionamos cuidadosamente todos os rebites, parafusos e estruturas de fixação ao longo de todo o membro, quanto a evidências de danos. Fazemos um exame acurado, quanto a rebites parcialmente danificados, ou quanto a furos que tenham sido alargados.

Outro tipo de dano a ser procurado, é aquele causado por corrosão.

Os danos por corrosão em alumínio são geralmente detectados pelos depósitos de cristais brancos que se formam ao redor de rebites soltos, arranhões ou qualquer parte da estrutura que possa ser um ponto natural de condensação da umidade.

Definições dos defeitos

Os diversos tipos de danos e defeitos que podem ser observados, são definidos a seguir:

Brinelamento (brinelling) - Ocorrência de uma depressão esférica, rasa, na superfície de um metal, geralmente produzida por uma peça pontuda em contato com a superfície sob alta pressão.

Brunidura (burnishing) - Polimento de uma superfície através do atrito com outra lisa e mais dura. Geralmente não há deslocamento ou remoção de metal.

Rebarba (burr) - Uma seção pequena e fina do metal, que se estende além da superfície regular, geralmente em cantos ou nas bordas de um furo.

Corrosão - Perda de metal da superfície por ação química ou eletroquímica. Os produtos da corrosão são, na maioria das vezes, facilmente removidos através de meios mecânicos. A ferrugem é um exemplo de corrosão.

Rachadura - Uma separação física de duas porções metálicas adjacentes, evidenciada por de uma linha fina através da superfície, causada por estresse excessivo naquele ponto. Ela pode estender-se a partir da superfície para o interior até milésimos de polegada, ou atingir toda a espessura do metal.

Corte- Perda de metal, geralmente até uma profundidade apreciável sobre uma área relativamente longa e estreita, através de meios mecânicos, como ocorreria com o uso de uma serra, um cinzel ou uma pedra com aresta cortante que atingisse de um golpe o metal.

Amolgamento (dent) - Amassamento em uma superfície metálica, produzido pela pancada forte de um objeto. A superfície ao redor do amolgamento ficará ligeiramente elevada.

Erosão - Perda de metal da superfície através da ação mecânica de objetos externos, como pedrinhas ou areia.

A área da erosão tem aspecto áspero e pode estar alinhada com a direção em que o objeto externo moveu-se em relação à superfície.

Trepidação - Falha ou deterioração da superfície metálica, através da ação da vibração ou trepidação.

Geralmente não há perda de metal ou rachamento da superfície.

Roçamento- Falha (ou acúmulo) em superfícies metálicas, devido à fricção excessiva entre duas peças que possuam movimento relativo. Partículas do metal mais macio soltam-se e aderem ao metal mais duro.

Goiva(gouge) - Sulcos, ou falha, de uma superfície metálica devido ao contato com material externo sob alta pressão. Geralmente indica perda de metal, mas pode ser deslocamento de material.

Inclusão - Presença de materiais estranhos totalmente inseridos em uma porção do metal. Esses materiais são introduzidos durante a fabricação de hastes, barras ou tubos, através de rolamento ou forja.

Entalhe (nick) - Quebra local ou dente na borda. Geralmente deslocamento de metal, ao invés de perda de material.

Picadas (pitting) - Falha aguda localizada (cavidade pequena e profunda) na superfície do metal, geralmente com bordas definidas.

Arranhão - Risco ou quebra leve na superfície do metal, devido a um contato momentâneo e suave de um material estranho.

Entalhe - Risco ou quebra mais profunda (que o arranhão) na superfície do metal, devido a um contato sob pressão. Pode apresentar descoloração devido à temperatura produzida pela fricção.

Mancha - Uma mudança localizada de cor, causando uma mudança de aparência com relação às áreas adjacentes.

Recalque - Deslocamento do material além do contorno normal ou superfície (uma mossa ou saliência local).

CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS

Os danos podem ser agrupados em quatro classes gerais. Em muitos casos, o tempo, a disponibilidade ou a ausência dos materiais de reparo, são os fatores mais importantes em determinar se uma parte deve ser reparada ou substituída.

Danos despreziveis

Danos que não afetam a integridade estrutural do membro envolvido, ou que podem ser corrigidos através de um procedimento simples sem criar restrições ao vôo da aeronave, são classificados como danos desprezíveis. Pequenas mossas, arranhões, rachaduras ou furos que possam ser reparados através de abrandamento, lixamento, furo de alívio ou um martelo, ou através de qualquer outro meio sem o uso de materiais adicionais, enquadram-se nesta classificação.

Danos reparáveis por remendo

Qualquer dano que exceda os limites desprezíveis, e possa ser reparado cobrindo-se a área danificada em um componente com um material de reparo.

O reparo ou remendo em reparos internamente rebitados ou aparafusados; é normalmente feito do mesmo material da área danificada, porém numa medida mais espessa.

Num reparo por remendo, placas de enchimento da mesma espessura do material danificado podem ser usadas com a finalidade de apoio, ou para recompor o contorno original da parte danificada.

Danos reparáveis por inserção

Danos que possam ser reparados através do corte de toda área danificada, e sua substituição por uma seção semelhante, presa no lugar através de reparos nas extremidades, são classificados nesta classe.

Danos que necessitam da substituição de partes

Devemos levar em consideração a substituição de toda uma parte, quando existe uma ou mais das seguintes condições:

1) Quando uma parte complexa foi extensivamente danificada.
2) Quando as estruturas adjacentes ou a inacessibilidade tornarem impraticável a reparação.
3) Quando a parte danificada for facilmente substituível.
4) Quando encaixes forjados ou fundidos forem danificados além dos limites aceitáveis.

ESTRESSES EM MEMBROS ESTRUTURAIS

As forças que atuam em uma aeronave, seja em vôo ou no solo, causam tração, impulsão ou torção, nos vários membros estruturais de uma aeronave.

Enquanto a aeronave está no solo, o peso das asas, fuselagem, motores e empenagem causam forças descendentes que atuam sobre as asas e as pontas do estabilizador, ao longo das longarinas e das vigas de reforço, e sobre as paredes e falsas nervuras. Essas forças são transmitidas membro a membro, causando flexão, torção, tração, compressão e cisalhamento.

À medida que a aeronave decola, a maioria das forças na fuselagem continua a agir na mesma direção; mas devido ao movimento da aeronave, elas aumentam em intensidade.

As forças sobre as ponta da asa e superfícies alares, mudam de direção, e ao invés de serem forças descendentes de peso, tornam-se forças ascendentes de sustentação. As forças de sustentação são exercidas primeiramente contra o revestimento e vigas de reforço, depois são transmitidas às nervuras, e finalmente transmitidas através das longarinas, e distribuídas pela fuselagem.

As asas flexionam para cima, em suas pontas, e podem até oscilar ligeiramente em vôo. Essa flexão da asa não pode ser ignorada pelo fabricante, no projeto original e na construção, e não pode ser ignorado na manutenção.

É surpreendente como a estrutura de uma aeronave composta de membros estruturais e revestimentos rigidamente rebitados ou aparafusados juntos, tal como uma asa, pode flexionar ou agir tão semelhante a uma lâmina de mola.

Os cinco tipos de estresse (figura 5-3) em uma aeronave, são denominados como; tensão, compressão, cisalhamento, flexão e torção. Os três primeiros são comumente chamados de estresses básicos, e os dois últimos, de estresses de combinação. Os estresses normalmente agem em combinação, ao invés de sozinhos.

Tensão

É a força por unidade de área que tende a esticar um membro estrutural. A resistência de um membro à tensão é determinada com base em sua área total; porém, os cálculos de tensão devem levar em consideração a área final ou líquida do membro.

A área líquida é definida como a área bruta ou total, menos a área removida por furações, ou outras modificações da seção.

A colocação de rebites ou parafusos nos furos, não provoca diferença apreciável de aumento de resistência. Os rebites ou parafusos não transferem as cargas tencionais, através dos furos em que estão inseridos.

Compressão

É a força por unidade de área, que tende a encurtar ou comprimir um membro estrutural com qualquer seção transversal.

Sob uma carga compressiva, um membro não perfurado será mais resistente que um membro idêntico perfurado.

Contudo, se nesses furos forem encaixados pinos de material de resistência equivalente ou maior que o original, eles transferirão as cargas compressivas através dos furos, e o membro suportará uma carga quase tão grande como se não fosse furado.

Portanto, quanto às cargas compressivas, a área bruta ou total pode ser usada na determinação do estresse em um membro, se todos os furos estiverem adequadamente fechado com material equivalente ou mais forte.

Cisalhamento

É a força por unidade de área que faz com que partículas adjacentes de material deslizem sobre si.

O termo "cisalhamento" é usado por ser um estresse lateral, do tipo que é aplicado em uma folha de papel ou metal, quando é cortada por uma tesoura.

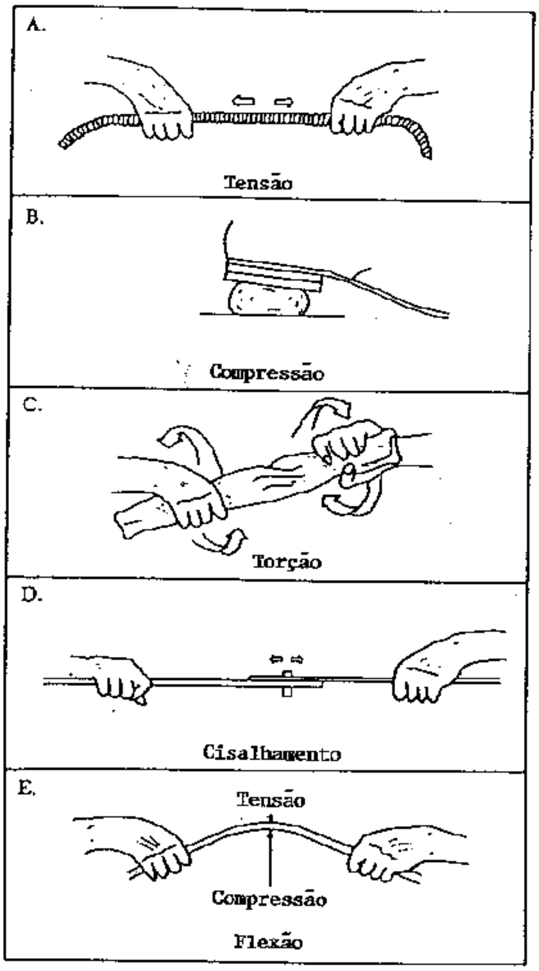


Figura 5-3 Cinco estresses que atuam em uma aeronave.

O principal problema da manutenção com relação ao estresse de cisalhamento, diz respeito à aplicação de rebites e parafusos, especialmente em fixação de chapas, porque se um rebite usado em uma aplicação contra cisalhamento falhar, as partes rebitadas ou aparafusadas afastar-se-ão.

Flexão

É a combinação de duas forças que agem sobre um membro estrutural, em um ou mais pontos. A figura 5-3, mostra que o estresse de flexão causa um de tensão na parte superior da viga, e outro de compressão na parte inferior. Esses estresses agem opostamente sobre os dois lados da linha central do membro, que é chamada eixo neutro. Uma vez que essas forças agem em direções opostas sobre o eixo neutro, o maior estresse de cisalhamento ocorre ao longo desse eixo e, não há nenhum, tanto no lado superior como no lado inferior da viga.

Torção

É a força que tende a torcer um membro estrutural. Os estresses gerados com essa ação são estresses de cisalhamento, causados pela rotação dos planos adjacentes uns sobre os outros ao redor de um eixo de referência comum perpendicularmente.

Essa ação pode ser ilustrada por uma vareta solidamente fixada em uma extremidade, e torcida por um peso localizado em um braço de alavanca na outra extremidade, produzindo o equivalente a duas forças iguais e opostas atuando sobre a vareta, em alguma distância, uma da outra. Uma ação cizalhante ocorre ao longo da vareta, com a linha central da vareta representando o eixo neutro.

FERRAMENTAS E DISPOSITIVOS ESPECIAIS PARA CHAPAS METÁLICAS

O mecânico de célula e estruturas, realiza grande parte do seu trabalho com ferramentas e dispositivos especiais, que foram desenvolvidos para acelerar, simplificar e melhorar o seu serviço. Essas ferramentas e dispositivos especiais, incluem placas de apoio e bigornas, e vários tipos de blocos e sacos de areia usados como suporte no processo de desamassamento.

Placas de apoio e bigornas

A chapa de metal é geralmente moldada ou acabada através de bigornas de diversos formatos. As bigornas são usadas para modelar partes pequenas, para as quais as grandes máquinas não seriam adequadas. As placas de apoio são usadas manualmente, enquanto as bigornas são apoiadas em chapas de ferro fundido presas a uma bancada. (figura 5-4)

A maioria das bigornas possuem superfícies retificadas, e polidas que sofreram um processo de endurecimento. Não usamos bigornas para apoiar o material durante o cisalhamento, ou durante o uso de ferramentas semelhantes de corte, pois isto danifica a superfície da bigorna e a inutiliza para serviços de acabamento.

Blocos em “v”

Os blocos em "V" feitos de madeira dura são largamente usados em reparos de estruturas metálicas, para contrair ou esticar o metal, particularmente ângulos e flanges.

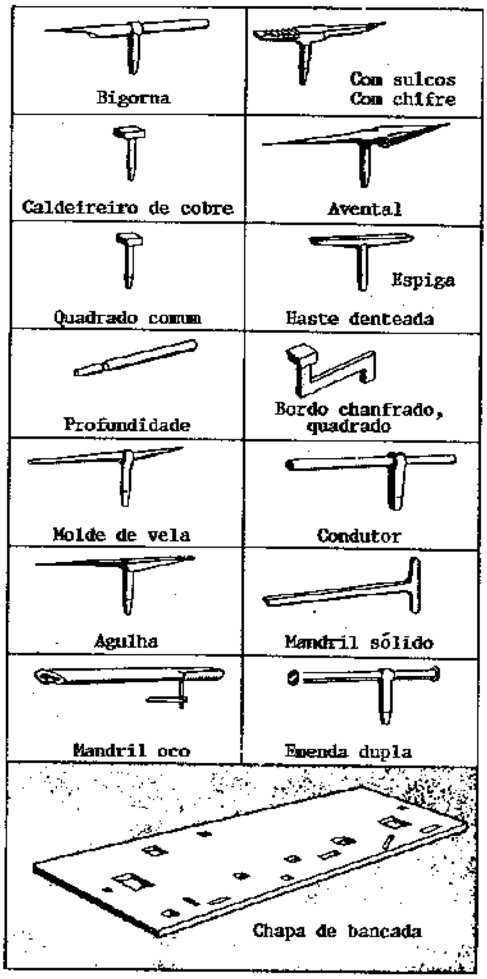


Figura 5-4 Chapa de bancada e bigornas.

O tamanho do bloco depende do serviço a ser executado e da preferência pessoal. Apesar de qualquer tipo de madeira dura servir, é recomendado o uso do bordo e do freixo para obtermos melhores resultados quando trabalham com ligas de alumínio.

Modelo de madeira dura

Pode-se construir moldes de madeira para duplicar praticamente qualquer parte estrutural ou não. O bloco de madeira, ou molde, é feito com dimensões e contornos exatamente iguais aos da parte a ser modelada.

Bloco de contração

Um bloco de contração consiste de dois blocos de metal, e um dispositivo para prender os dois juntos. Um dos blocos forma a base, e o outro é recortado para dar espaço, a fim de que o material enrugado possa ser martelado. As pernas do mordente superior prendem o material ao bloco base pelos dois lados do enrugamento, de forma que o material não escape, e fique parado enquanto é martelado. Este tipo de bloco deve ser usado em uma morsa de bancada.

Os blocos de contração podem ser produzidos para qualquer tipo de aplicação. A forma e o princípio básico permanecem idênticos, mesmo que os blocos possam variar consideravelmente em tamanho e forma.

Sacos de areia

Um saco de areia é geralmente usado como suporte durante o martelamento da peça. Esse saco pode ser feito costurando-se uma lona grossa ou couro macio, de forma a fazer uma almofada no tamanho desejado, e enchendo-a com areia peneirada.

Antes de encher o saco de lona com a areia, usamos um pincel para revestir seu interior com parafina ou cera de abelha, formando uma camada selante evitando a saída da areia pelos poros da lona.

Dispositivos de suporte

As morsas e os grampos são ferramentas usadas para segurar materiais de diversos tipos, nos quais algum tipo de serviço vai ser realizado. O tipo de serviço e o tipo de material a ser usado determinam o dispositivo de suporte.

As morsas mais comumente usadas são mostradas na figura 5-5; a morsa paralela possui mandíbulas chatas e, geralmente, uma base giratória, enquanto a morsa de utilidade de bancada, possui mandíbulas cortadas e removíveis, e uma mandíbula traseira em forma de bigorna.

Esta morsa segura o material mais pesado que a paralela e também segura canos e hastes com firmeza. A mandíbula traseira pode ser usada como uma bigorna, caso seja um serviço leve.

O grampo "C" ou sargento, como ele é comumente chamado, tem o formato de um grande C e possui três partes principais: (1) Um parafuso, (2) a mandíbula, e (3) a cabeça giratória. A placa giratória, na ponta do parafuso, evita que a extremidade do parafuso gire diretamente contra o material preso.

Apesar dos grampos "C" variarem em tamanho a partir de 2 polegadas, sua função é sempre de fixar ou segurar.

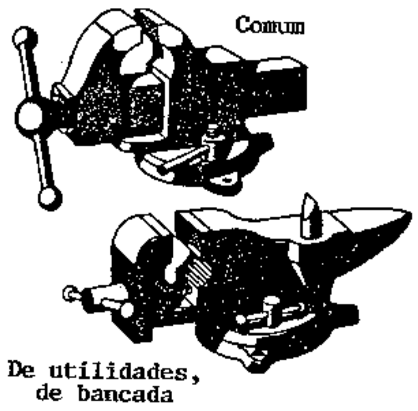


Figura 5-5 Morsas.

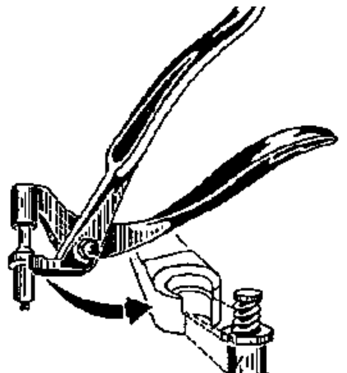


Figura 5-6 Prendedor Cleco.

O formato do grampo "C" permite que ele abarque as obstruções próximas à borda da peça. A maior limitação ao uso de grampo "C", é sua tendência a abrir. Ele deve ser apertado manualmente.

O prendedor de chapa de metal mais comum é o Cleco (figura 5-6), ele é usado para prender partes de chapas perfuradas juntas. A menos que as chapas fiquem bem presas, elas se separarão durante a rebitagem.

Este tipo de prendedor é fabricado em seis diferentes tamanhos: 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 e 3/8 da polegada. O tamanho vem gravado no prendedor. Alicates especiais são usados para inserir o prendedor no furo. Um alicate serve para os seis diferentes tamanhos.

Os parafusos de rosca soberba para metal são, às vezes, usados como prendedores temporários. As chapas de metal devem ser bem fixas antes de instalar esses parafusos, uma vez que as roscas tendem a separar as chapas. Arruelas colocadas sob a cabeça dos parafusos evitam danos e arranhões no metal.

MÁQUINAS PARA TRABALHOS EM METAIS

Sem as máquinas, um dado serviço se tornaria mais difícil e cansativo, e o tempo requerido para realizá-lo seria muito maior.

Algumas das máquinas usadas são discutidas aqui; isto inclui as máquinas para corte de metal motorizadas e não-motorizadas, tais como os diversos tipos de serras, tesouras motorizadas ou não e guilhotinas. Também estão incluídos os equipamentos para modelagem (motorizados ou não) tais como viradeiras e laminadores, a dobradeira de barras, e máquinas para contração ou alongamento.

Ferramentas manuais para corte de metais - tipo alavanca

A guilhotina de esquadriar provê um meio conveniente de corte e esquadriamento de metais.Essas guilhotinas consistem de uma lâmina inferior fixa, presa a uma bancada, e uma lâmina superior móvel, fixa a uma cabeça cruzada (figura 5-7). Para fazer o corte, a lâmina superior é movida para baixo, pisando-se no pedal da máquina.

As guilhotinas são equipadas com uma mola que levanta a lâmina, e o pedal, quando deixamos de pisá-lo. Uma escala graduada em frações de polegada, está inscrita na bancada. Duas fendas para o esquadriamento, consistindo de tiras grossas de metal, e usadas para esquadriar chapas metálicas estão dispostas na bancada, uma do lado direito e outra do lado esquerdo, de forma a fazer ângulo de 90º com as lâminas.

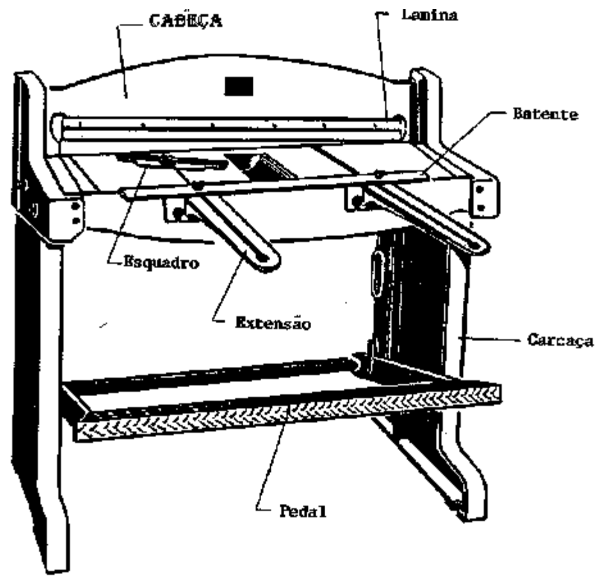


Figura 5-7 Guilhotina.

Pode-se realizar três operações diferentes com a guilhotina de esquadriar: (1) Corte em linha; (2) esquadriado; e (3) cortes múltiplos em um tamanho específico. Na realização de um corte em linha, a chapa é colocada sobre a bancada da guilhotina, em frente à lâmina como a linha de corte alinhada com a borda cortante da guilhotina.

A chapa é cortada pisando-se no pedal, enquanto ela é mantida imóvel na posição através de um grampo.

O esquadriamento requer diversos passos. Primeiramente, uma das extremidades da chapa é esquadriada com uma borda (a fenda de esquadriamento é geralmente usada na borda). Então, as bordas restantes são esquadriadas mantendo-se uma extremidade já esquadriada contra uma das fendas, e fazendo-se o corte, uma borda por vez, até a última.

Quando diversos pedaços têm que ser cortados com as mesmas dimensões, usamos o medidor que faz parte da maioria das guilhotinas.

As hastes de suporte são graduadas em frações de polegada, e a barra medidora pode ser colocada em qualquer ponto sobre as hastes. Ajustamos o medidor na distância desejada a partir da lâmina da guilhotina e empurramos cada peça a ser cortada contra a barra medidora. Todos os pedaços poderão, então, ser cortados do mesmo tamanho.

Tesourões em espiral (figura 5-8) são usados no corte de linhas irregulares no meio de uma chapa, sem cortar, a partir das bordas. A lâmina superior é estacionária, enquanto a lâmina inferior é móvel. A máquina é operada através de uma alavanca conectada à lâmina inferior.

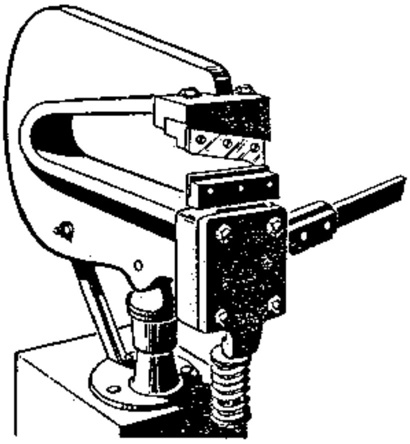


Figura 5-8 Tesourão em espiral.

Os tesourões sem pescoço (figura 5-9) são mais utilizados para cortar chapas de metal ao carbono até a medida 10. Seu nome vem de sua construção; ele realmente não tem pescoço. Não há obstruções durante o corte, uma vez que não há pescoço. Uma chapa de qualquer medida pode ser cortada, e o metal pode ser girado em qualquer direção para permitir o corte de formatos irregulares. A lâmina de corte superior é operada por meio de uma alavanca.

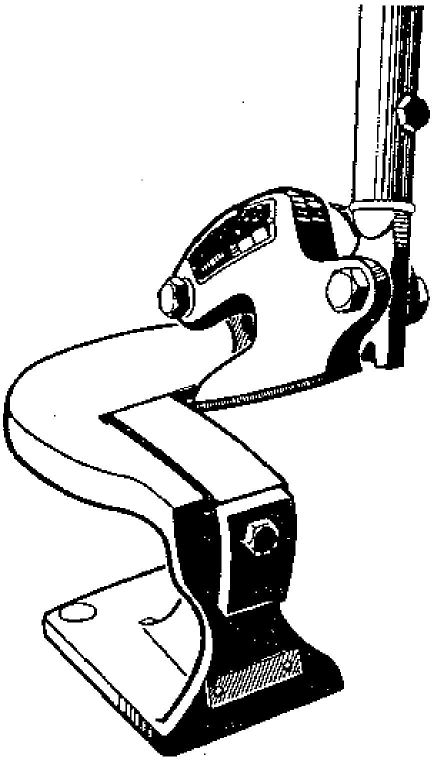


Figura 5-9 Tesourão sem pescoço.

O vazador rotativo (figura 5-10) é usado nas oficinas de reparo de célula para fazer furos em partes metálicas. Esta máquina pode ser usada para cortes circulares em arestas, para fazer arruelas, e para muitos outros serviços onde sejam necessários furos. A máquina é composta de duas torres cilíndricas, uma montada sobre a outra, e suportadas pela estrutura da máquina. Ambas as torres estão sincronizadas para giragem juntas, e pinos de índice asseguram um alinhamento correto durante todo o tempo. Os pinos de índice podem ser soltos de sua posição de travamento, girando-se uma alavanca do lado direito da máquina. Essa ação remove os pinos de índice dos furos afilados, e permite que o operador gire as torres para qualquer tamanho de furo desejado.

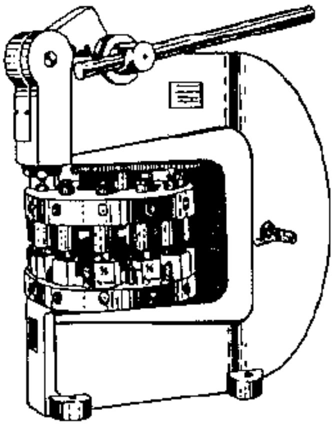


Figura 5-10 Vazador rotativo.

Para rodar as torres e mudar o tamanho de furo, soltamos a alavanca de índice
quando o punção desejado estiver a 1 polegada do batente, e continuamos a girar a torre vagarosamente até que o topo de fixação do punção deslize para dentro da extremidade com ranhuras do batente.

Os pinos afilados de trava do índice ajustar-se-ão em seus furos e, ao mesmo tempo, soltamos o dispositivo de trava mecânica, que evita a furação até que as torres estejam alinhadas.

Para operar a máquina, posicionamos o metal a ser furado entre a estampa e o punção. Puxamos a alavanca no topo da máquina contra nosso corpo. Isso atuará o eixo pinhão, o segmento de engrenagem, a articulação e o batente, forçando o punção a atravessar o metal. Quando a alavanca é retornada a sua posição original, o metal é removido do punção. O diâmetro do punção está estampado na frente de cada suporte.

Cada punção tem um ponto em seu centro, que é posicionado no centro do furo a ser feito, para uma localização correta.

Ferramentas motorizadas para o corte de metais

A serra elétrica Ketts (figura 5-11) utiliza lâminas de vários diâmetros. A cabeça dessa serra pode ser girada para qualquer ângulo desejável, e é muito útil na remoção de seções danificadas em vigas de reforço. As vantagens da serra Ketts são:

1) Corta metais até 3/16 de polegada de espessura.
2) Não requer furo inicial.
3) Pode-se iniciar o corte em qualquer ponto da chapa.
4) Consegue cortar raios internos ou externos.

Para evitar o travamento, seguramos o cabo da ferramenta com firmeza durante toda a utilização. Antes de instalar uma lâmina, ela deve ser verificada cuidadosamente quanto a possíveis rachaduras. Um lâmina rachada pode despedaçar-se, resultando em graves danos pessoais.

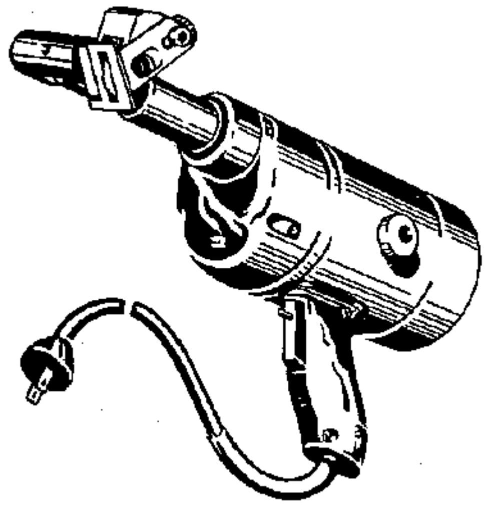


Figura 5-11 Serra elétrica Ketts.

A serra vaivém portátil a ar, possui o formato de uma pistola para facilitar seu manuseio. Ela opera mais eficientemente com uma pressão de ar de 85 a 100 p.s.i. A serra vaivém utiliza uma lâmina de serra padrão, e pode fazer cortes em 360º, ou furos quadrados ou retangulares. Possui utilização fácil e segura.

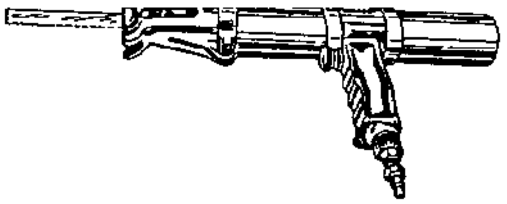


Figura 5-12 Serra vaivém.

Uma serra vaivém deve ser usada, de forma que, pelo menos 2 dentes da serra estejam sempre cortando. Evitamos aplicar muita pressão para baixo durante o corte, pois isto poderá provocar a quebra da lâmina.

Recortadores

Recortadores fixos e portáteis são usados para cortar metais, através de estampagem a alta velocidade. A ação de corte ou estampagem é causada pelo movimento de sobe-desce do punção inferior, que se encontra com o punção superior. A forma do punção inferior permite que pequenas peças, de metal de aproximadamente 1/16 de polegada de largura, possam ser cortadas.

A velocidade de corte do recortador é controlada pela espessura do metal a ser cortado. Chapas de metal com no máximo 1/16 de polegada de espessura podem ser satisfatoriamente cortadas. O excesso de força aplicada ao metal durante a operação de corte obstruirá os punções, causando sua falha ou um superaquecimento do motor.

O parafuso com pressão de mola, na base do punção inferior, deve ser ajustado para que o metal se mova livremente entre os punções. Esse ajuste deve ser suficiente para segurar o material firmemente a fim de evitar cortes irregulares. Os punções podem ser calçados para operações especiais de corte.

Furadeiras portáteis

Um dos serviços mais comuns em estruturas metálicas é a realização de furos para rebites e parafusos. Esta operação não é difícil, especialmente em metais leves. Uma vez que se aprenda os fundamentos e o uso das furadeiras, uma pequena furadeira portátil é, geralmente, a máquina mais prática.

Contudo, em alguns casos, uma furadeira de coluna poderá ser mais adequada a certos trabalhos.

Há furadeiras elétricas e a ar comprimido. Há furadeiras elétricas que funcionam tanto em corrente alternada como em corrente contínua, enquanto outras utilizam apenas um tipo de corrente.

Elas são encontradas em diversos tamanhos e formas para satisfazer alguns requisitos (figura 5-13). As furadeiras pneumáticas são recomendadas para serviços próximos a materiais inflamáveis, onde as centelhas de uma furadeira elétrica poderiam acarretar perigo de incêndio.

Quando o acesso a um local, onde se deve fazer um furo, for difícil ou impossível com uma furadeira reta, usamos vários tipos de extensões e adaptadores. Uma extensão reta pode ser feita a partir de um pedaço de broca comum.

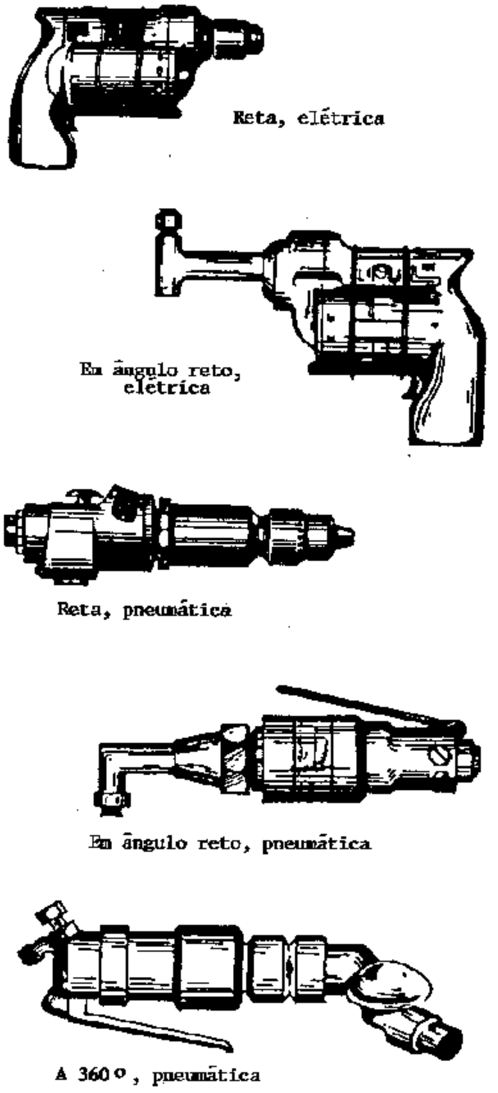


Figura 5-13 Furadeiras portáteis.

A broca boa é fixada ao pedaço por atrito, brasagem ou soldagem de prata.

Os adaptadores em ângulo podem ser usados tanto em furadeiras elétricas como em pneumáticas, quando a localização do furo for inacessível para uma furadeira reta. Os adaptadores em ângulo possuem uma extensão de encaixe fixada ao mandril da furadeira. Em uso, a furadeira é segurada em uma mão, e o adaptador na outra para evitar o seu giro. Pode-se usar uma extensão flexível para furar em locais inacessíveis às furadeiras comuns. Sua flexibilidade permite a furação através de obstruções com um esforço mínimo.

Durante a utilização da furadeira portátil, a seguramos firmemente com as duas mãos. Antes de furar colocamos sobre a peça a ser furada, na posição do furo, um bloco de apoio de madeira para dar suporte ao metal, e evitando furar a base de apoio.

A broca a ser usada deve ser inserida no mandril, e devemos testar a furadeira por alguns instantes. Uma broca que oscile ou que esteja ligeiramente torta não deve ser usada, uma vez que tal condição causará um furo irregular.

A furadeira deve ser sempre mantida em ângulo reto com a chapa. Oscilando-se a furadeira durante a introdução ou extração da broca do furo, fará com que o furo seja alongado.

Durante a furação, usamos sempre óculos de proteção

Durante a furação de chapas metálicas, pequenas rebarbas ao redor da borda do furo se formam. As rebarbas devem ser removidas para que os rebites ou parafusos encaixem perfeitamente e evitem arranhões. Elas podem ser removidas com um raspador, um escareador ou uma broca, numa medida maior do que a do furo. Se for usada uma broca ou escareador, ela deve ser girada manualmente.

Furadeira de coluna

A furadeira de coluna é uma máquina usada para realizar furos de grande precisão. Ela serve como um meio preciso de localizar e manter a direção do furo que deve ser feito, além de possuir uma alavanca que facilita a introdução da broca no material.á uma grande variedade de furadeiras de coluna, a mais comum é a vertical (figura 5-14).

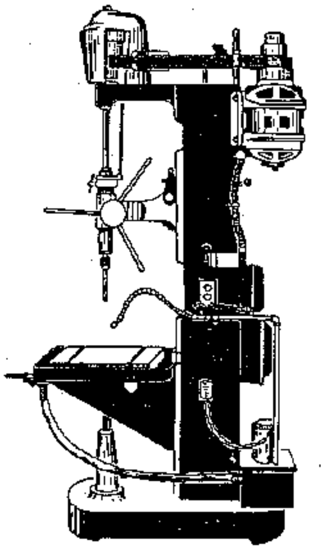


Figura 5-14 Furadeira de coluna.

Durante a utilização da furadeira de coluna, a altura da mesa é ajustada para acomodar a altura da peça a ser furada. Quando a altura da peça for maior que a distância entre a broca e a mesa, esta deverá ser baixada. Quando a altura da peça for menor que a distância entre a broca e a mesa, esta deverá ser erguida.

Depois do ajuste adequado da mesa, a peça é colocada sobre a mesa, e a broca é baixada para ajudar no posicionamento da peça e centralização do furo. Após isto, a peça é presa à mesa para evitar que ela deslize durante a furação. Uma fixação inadequada pode provocar o giro da peça em contato com a broca, causando a perda de dedos ou mãos, ou mesmo cortes sérios nos braços ou no corpo do operador. Devemos nos assegurar que a peça a ser furada está bem fixada na mesa da furadeira, antes de iniciar a furação.

O grau de precisão a ser alcançado dependerá, até certo ponto, do estado do eixo da furadeira, mancais e do mandril. Por isso, é preciso um cuidado especial em se manter essas partes sempre limpas e livres de entalhes, amassamentos ou empenamento. Verificamos sempre de que a luva esteja bem encaixada no furo do eixo. Nunca usamos uma broca quebrada, nem ferramenta para luvas, a fim de remover uma broca, pois isto poderá provocar seu empenamento.

Esmeril

O termo esmeril se aplica a todas as formas de esmerilhadores. Para ser mais específico, consiste em uma máquina que possui uma roda abrasiva que remove o excesso de material, produzindo uma superfície lisa. Há muitos tipos de máquinas de esmerilhar ou retificadoras, porém, somente aquelas úteis ao mecânico de célula serão abordadas aqui.

Rodas de esmeril

Uma roda de esmeril é uma ferramenta de corte com um grande número de arestas cortantes, arranjada de forma que quando gastam, se partem originando novas arestas.

O Carboneto de silício e o óxido de alumínio são os dois tipos de abrasivos mais usados na maioria das rodas de esmeril. O carboneto de silício é o agente cortante usado para esmerilhar materiais duros, tais como o ferro fundido - ele é também usado para esmerilhar alumínio, bronze, latão e cobre. O óxido de alumínio é o agente cortante para esmerilhar aço e outros metais com alta resistência a tração.

O tamanho das partículas abrasivas, usadas nas rodas de esmeril, é indicado por um número que corresponde ao de elementos por polegada linear de uma tela, através da qual as partículas irão passar. Como um exemplo, um número de 30 abrasivos passarão por uma tela com 30 furos por polegada linear, porém serão retidos por uma malha mais fina, com mais de 30 furos por polegada linear.

A cola é o material que une as partículas para formar a roda. O tipo e a quantidade da cola usada determinam a dureza da roda. As colas normalmente usadas são o vitrificado, o silicato, o resinóide, a borracha e a gomalaca. O vitrificado e o silicato são as colas mais usadas, sendo o vitrificado utilizado em 3/4 de todas as rodas de esmeril fabricadas. Essa cola forma uma roda muito uniforme, resistente a óleos, ácidos, água, calor ou frio. A cola de silicato, contudo, é melhor para esmerilhar ferramentas pontudas.

As rodas colocadas com resinóide são mais adequadas para serviços pesados; as coladas com borracha são usadas onde se requer alto polimento. As rodas colocadas com gomalaca são usadas para esmerilhar materiais, onde se requer uma superfície brunida ou polida.

Um esmeril molhado, apesar de semelhante ao esmeril de pedestal, difere daquele por possuir uma bomba que supre um fluxo de água para uma única roda de esmeril.

A água reduz o calor produzido pelo material que está em atrito com a roda. Ela também lava quaisquer restos de metal ou abrasivos removidos durante o esmerilhamento. A água retorna para um tanque e pode ser reutilizada.

Um esmeril de bancada comum, encontrado na maioria das oficinas de chapas é mostrado na figura 5-15. Esse esmeril pode ser usado para operar cinzéis e para apontar formões, chaves de fenda e brocas; para desbastar trabalhos e para alisar superfícies metálicas.

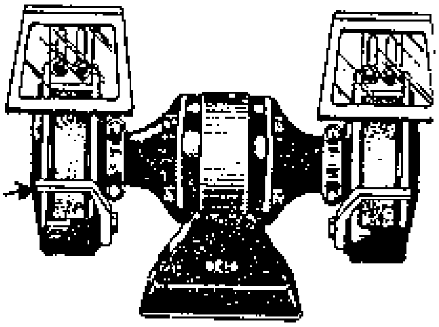


Figura 5-15 Esmeril.

Esse tipo de esmeril é geralmente equipado com uma roda abrasiva grossa e uma fina. A roda média é geralmente usada para esmerilhar peças em que uma considerável quantidade de material deva ser removido, ou onde um acabamento liso não é importante. A roda fina é geralmente usada para afiar ferramentas e esmerilhar peças delicadas, uma vez que ele remove o metal vagarosamente, dá ao trabalho um acabamento mais liso, e não gera calor suficiente para destemperar as lâminas de ferramentas cortantes.

Quando é necessário fazer um corte profundo ou remover uma grande quantidade de material de uma peça, é geralmente aconselhável esmerilhar com uma roda média primeiro e, depois, dar o acabamento com uma roda fina.As rodas de esmeril são removíveis, e o esmeril é desenhado de forma que elas possam ser substituídas por escovas metálicas, rodas para polimento, ou rodas de couro para polegada.

Como regra, não é aconselhável esmerilhar peças contra os lados da roda de esmeril. Quando uma roda abrasiva fica gasta, sua eficiência no corte reduz-se devido à redução da velocidade da superfície. Quando uma roda de esmeril fica gasta dessa maneira, ela deve ser substituída por uma nova.

Antes de usar um esmeril de bancada, certificamos que as rodas de esmeril estão bem fixas no eixo do motor através das porcas flangeadas. Se uma roda se soltar, ela pode ferir gravemente o operador, e danificar o equipamento. Outro perigo, é a altura do descanso para ferramentas. Um descanso frouxo pode fazer com que a ferramenta ou peça seja arrancada das mãos do operador, fazendo com que as mãos toquem a roda de esmeril, causando graves ferimentos.

Sempre que usar o esmeril, utililize óculos de segurança, mesmo que haja uma proteção em volta do esmeril. Os óculos devem encaixar-se bem contra a face e nariz. Esse é o único meio de protegermos os olhos dos fragmentos metálicos.

Óculos frouxos devem ser substituídos por outros que se encaixem perfeitamente.Verificamos as rodas abrasivas quanto a rachaduras, antes de ligamos o esmeril. Uma roda rachada pode desintegrar-se graças à alta velocidade de rotação. Nunca usamos um esmeril sem proteção contra desintegração (anteparo).

MÁQUINAS PARA MODELAGEM

As máquinas para modelagem tanto podem ser manuais ou a motor; as pequenas são geralmente manuais, enquanto as grandes são a motor.

As máquinas em linha reta incluem equipamentos como o dobrador de barras, a viradeira e etc. As máquinas rotativas incluem o laminador e a máquina de combinação. As máquinas a motor incluem o laminador elétrico e o flangeador elétrico.

Dobrador de barra

O dobrador de barra (figura 5-16) é desenhado para a realização de dobras ao longo das bordas de chapas.

Essa máquina se adapta melhor à dobragem de pequenas bainhas, flanges e bordas, para serem amarradas com arame. A maioria dos dobradores de barra aceitam metal até o tamanho 22 em espessura e 42 polegadas de comprimento.

Antes de usarmos um dobrador de barra, há vários ajustes que devem ser feitos quanto à espessura do material, largura, a agudeza e o ângulo da dobragem.

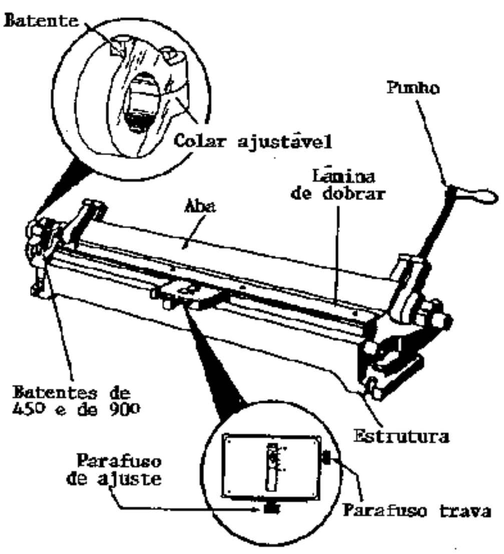

Batente
Colar ajustável
Punho
Lâmina
de dobrar
Aba
Batentes de
45º e de 90º
Estrutura
Parafuso
de ajuste
Parafuso trava

Figura 5-16 Dobradora de barras.

O ajuste de espessura é feito com o ajuste dos parafusos das extremidades do dobrador. A medida que isto é feito, colocamos um pedaço de metal da espessura desejada no dobrador, levantamos a alavanca de operação até que o rolete pequeno faça batente no came.

A lâmina de dobragem é mantida nessa posição e os parafusos ajustados de forma que o material fique bem fixo ao longo de toda a extensão da lâmina de dobragem.

Após o ajuste, testamos cada extremidade da máquina separadamente com um pequeno pedaço de metal, dobrando-o.

Há dois batentes no dobrador, um para 45º e outro para 90º. Um dispositivo adicional (anel) pode ser pré-ajustado para qualquer ângulo, dentro da capacidade da máquina.

Para fazer ângulos de 45º ou 90º, o batente correto é movido para a sede. Isso permitirá que a alavanca seja movida até o ângulo correto. Para fazer outros ângulos, o anel ajustável, mostrado na figura 5-16 é utilizado. Isto é feito soltando-se o parafuso, e ajustando-se o batente no ângulo desejado. Após o ajuste do batente, apertamos o parafuso e completamos a dobra.

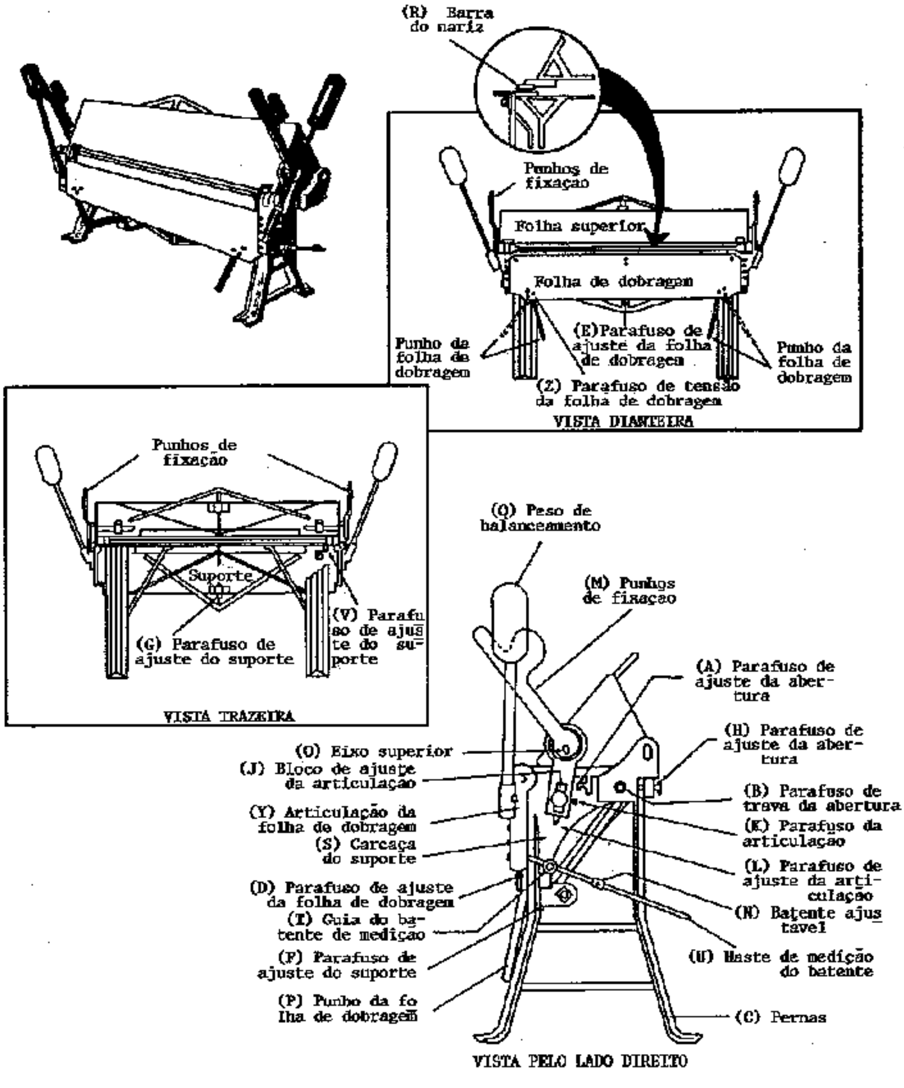

(R) Barra
do nariz
Punhos de
fixação
Folha superior
Folha de dobragem
Punho da
folha de
dobragem
(E) Parafuso de
ajuste da folha
de dobragem
Punho da
folha de
dobragem
(Z) Parafuso de tensão
da folha de dobragem
VISTA DIANTEIRA
Punhos de
fixação
Suporte
(G) Parafuso de
ajuste do suporte
(V) Parafu
so de ajus
te do su-
porte
VISTA TRAZEIRA
(Q) Peso de
balanceamento
(M) Punhos
de fixação
(A) Parafuso de
ajuste da aber-
tura
(H) Parafuso de
ajuste da aber-
tura
(O) Eixo superior
(J) Bloco de ajuste
da articulação
(B) Parafuso de
trava da abertura
(Y) Articulação da
folha de dobragem
(K) Parafuso da
articulação
(S) Carcaça
do suporte
(L) Parafuso de
ajuste da arti-
culação
(D) Parafuso de ajuste
da folha de dobragem
(N) Batente ajus
tável
(I) Guia do ba-
tente de medição
(U) Haste de medição
do batente
(F) Parafuso de
ajuste do suporte
(P) Punho da fo
lha de dobragem
(C) Pernas
VISTA PELO LADO DIREITO

Figura 5-17 Viradeira.

Para fazer a dobragem, ajustamos a máquina corretamente, e depois inserimos o metal. O metal é inserido entre a lâmina de dobragem e o mordente da máquina. Seguramos o metal firmemente contra o batente e puxamos a alavanca contra o corpo. À medida que a alavanca é puxada, o mordente automaticamente levanta e prende o metal, até que a dobragem desejada seja realizada. Quando a alavanca é setoriada à sua posição original, o mordente e a lâmina retornam a suas posições originais e soltam o metal.

Viradeira

A viradeira (figura 5-17) possui uma gama de utilização bem mais ampla que o dobrador de barra. Qualquer dobra feita em um dobrador de barra, pode ser feita em uma viradeira.

O dobrador de barra é limitado pela profundidade dos mordentes. Em comparação, a viradeira permite que a chapa a ser dobrada ou modelada passe através dos mordentes do início ao fim, sem obstrução.

A capacidade de dobragem da viradeira é determinada pelo fabricante. A capacidade padrão dessas máquinas vai desde o metal nº 12 ao nº 22, e o comprimento da dobra vai de 3 a 12 pés. A capacidade de dobragem da viradeira é determinada pela espessura da borda das várias barras de folha da dobragem.

A maioria dos metais tem a tendência de voltar à sua forma original. Se a viradeira for ajustada para um ângulo de 90º, o metal dobrado provavelmente formará um ângulo de 87º ou 88º.

Por isso, se desejarmos uma dobra em ângulo de 90º, ajustamos a viradeira para um ângulo de aproximadamente 93º.

Laminador

O laminador (figura 5-18) é operado manualmente, e consiste de três rolos, dois apoios, uma base e uma manivela. A manivela gira os dois rolos dianteiros através de um trem de engrenagens.

Os rolos dianteiros servem como alimentadores ou rolos de pega. O rolo traseiro dá a curvatura adequada ao trabalho. Os rolos dianteiros são ajustados através de dois parafusos nas laterais da máquina.

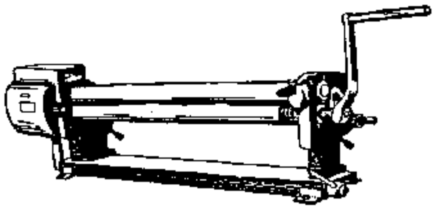


Figura 5-18 Laminador.

O rolo traseiro é ajustado através de dois parafusos atrás de cada apoio. Os rolos dianteiro e traseiro são ranhurados para permitir a modelagem de objetos com arame na borda. O rolo superior é equipado com uma soltura que permite uma remoção fácil do metal depois da dobragem.

Durante seu uso, o rolo dianteiro inferior deve ser erguido ou abaixado, para que a chapa de metal possa ser inserida. Se o objeto possuir uma borda dobrada, deverá haver folga bastante entre os rolos para evitar um achatamento da dobra. Se um metal que requeira cuidados especiais (como o alumínio) estiver sendo dobrado, os rolos devem estar limpos e sem imperfeições.

O rolo traseiro deve ser ajustado para dar a curvatura adequada à parte que se quer dobrar. Não há indicadores que mostrem os ajustes para um diâmetro específico; por isso, o ajuste deve ser feito por tentativas até alcançar a curvatura desejada.

O metal deve ser inserido entre os rolos pela frente da máquina. Giramos a manivela no sentido horário para que os rolos puxem a chapa.

Uma borda inicial é formada, segurando-se a manivela firmemente com a mão direita e erguendo o metal com a mão esquerda. A dobra da borda inicial é determinada pelo diâmetro da parte a ser dobrada. Caso a borda da parte for chata ou quase chata, não se deve fazer a dobra inicial.

Certificamo-nos que os dedos, ou partes da roupa, não estão sobre os rolos antes de iniciar a formatação. A manivela é rodada até que o metal esteja parcialmente introduzido nos rolos, com a mão esquerda, apoiamos a chapa de metal já dobrada, e então continuamos a girar a manivela até que toda a chapa saia.

Caso a curvatura desejada não seja obtida, voltamos o metal para a posição inicial, girando a manivela no sentido contrário. Erguemos ou abaixamos o rolo traseiro, e passamos o metal pelos rolos novamente. Esse processo se repete até que a curvatura desejada seja obtida, depois soltamos o rolo superior e removemos o metal.

Se a parte a ser moldada possui formato afunilado, o rolo traseiro deve ser ajustado, de forma que os rolos fiquem mais próximos em uma extremidade que na outra. Essa diferença deverá ser ajustada por tentativas.

Se a parte possuir uma borda com arame, a distância entre os rolos superior e inferior, e a distância entre o rolo inferior dianteiro e o rolo traseiro, deverá ser ligeiramente maior na borda com arame que no lado oposto.

Processo de moldagem

Antes de fixarmos uma parte a uma aeronave, durante a fabricação ou reparo, ela deve ser moldada para encaixar-se no lugar. Esse processo de moldagem pode ser muito simples, tal como fazer um ou dois furos para fixação, ou pode ser extremamente complexo, requerendo formatos com curvaturas complexas.

As partes são modeladas, nas fábricas, em grandes prensas ou através de martelos mecânicos, equipados com punções para o formato correto. Cada parte é planejada pelos engenheiros da fábrica, que determinam as especificações do material a ser usado, de forma que a parte terminada possua a têmpera correta quando deixar as máquinas. Um desenho de cada peça é preparado pelos projetistas da fábrica.

Os processos de modelagem usados na linha de vôo, e os praticados na manutenção ou reparo, são quase que diretamente opostos quanto ao método de procedimento. Contudo, eles têm muito em comum. Muito dos fatos e técnicas, aprendidos em um processo, podem ser aplicados ao outro.

A modelagem é de grande importância ao mecânico de célula, e requer o máximo do seu conhecimento e da sua habilidade. A moldagem geralmente envolve o uso de ligas extremamente finas, de natureza delicada, que podem ser facilmente inutilizadas através de um trabalho grosseiro ou descuidado. Uma parte moldada pode parecer extremamente perfeita, ainda que um procedimento errado na moldagem tenha criado uma condição de fadiga. Tal defeito pode acelerar a fadiga ou causar uma súbita falha estrutural.

De todos os metais de aviação, o alumínio intrínseco é o mais facilmente moldável. Quanto às ligas de alumínio, essa facilidade varia de acordo com a condição de têmpera. Uma vez que as modernas aeronaves são construídas principalmente de alumínio ou ligas de alumínio, esta seção tratará dos procedimentos de moldagem de alumínio ou liga de alumínio.

A maioria das partes pode ser moldada sem destemperar o metal, porém se grandes operações de moldagem, como estampagens profundas em prensas, ou curvas complexas, forem planejadas, o metal deverá estar sem têmpera, e em estado macio.

Durante a moldagem de algumas partes complexas, as operações devem ser interrompidas, e o metal destemperado, antes que o processo seja continuado ou completado. A liga 2024 sem têmpera pode ser moldada em praticamente qualquer forma, através das operações comuns de moldagem, porém, ela deverá sofrer um tratamento térmico ao final da moldagem.

Durante a moldagem, utilizamos martelos e macetes com o maior cuidado possível. Realizamos as dobras em linha reta em dobradores de barra ou viradeiras. Máquinas rotativas são usadas sempre que possível.

Se uma parte não se encaixar bem, não tentamos consertar apertando mais, apenas rejeitamos a parte e começamos de novo com um novo pedaço de metal.

Durante o desenho da peça, tomamos cuidado para não arranhar o alumínio ou a liga. Um lápis, bem apontado, será suficiente para a marcação.

Os riscadores fazem arranhões que levam a uma falha por fadiga; porém, eles podem ser usados caso as linhas riscadas estejam na parte do metal que será rejeitada.

A superfície das bancadas é coberta com um material suficientemente duro, para impedir que rebarbas do metal se alojem ali. A superfície deve ficar sempre limpa e livre de rebarbas, aparas e etc. Para proteger os metais, cobrimos os mordentes das morsas com capas de metal macio.

O aço inoxidável pode ser moldado através de qualquer um dos métodos usuais, porém requer maior habilidade do que para moldar alumínio ou ligas de alumínio.

Uma vez que o aço inoxidável endurece muito rapidamente, ele requer um destemperamento freqüente durante as operações de moldagem. Procuramos sempre prensar peças de aço inoxidável de uma só vez. Usamos punções, quando possível.

TERMOS E OPERAÇÕES DE MOLDAGEM

Os métodos usados nas operações de moldagem incluem processos, como o enrugamento ou contração, o estiramento, golpeamento, amolgamento e dobragem.

Golpeamento

A moldagem de metais maleáveis, através do uso de martelos, é chamada golpeamento. Durante esse processo, o metal é apoiado sobre uma bigorna, um saco de areia, ou um punção. Cada um contendo uma depressão, na qual as partes do metal golpeadas possam penetrar. O golpeamento pode ser feito manualmente ou por máquina.

Amolgamento

A dobragem, o pregueamento, ou o corrugamento de uma peça de chapa de metal, de forma a encurtá-la, é chamado de amolgamento.

O amolgamento é geralmente usado para fazer com que a extremidade de uma peça fique ligeiramente menor que a outras, para que as duas se encaixem. A transformação de um flange em uma junta também é chamada amolgamento. Amolgando-se uma das faces de um ângulo metálico com um alicate de amolgar, a peça se curva, como mostrado na figura 5-19.

Estreitamento

Ao mantermos um pedaço de metal chato em uma área, como a indicada na figura 5-19, faremos com que o material daquela área fique mais fino. Contudo, uma vez que a quantidade de metal não tenha diminuído, ele cobrirá uma área maior por ter sido alongado.

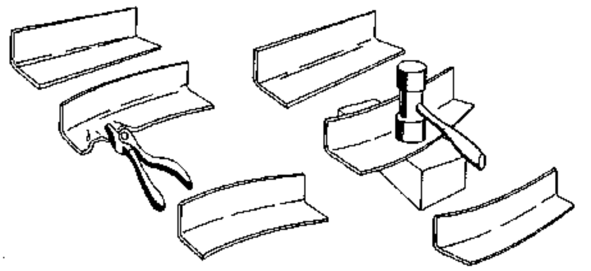


Figura 5-19 Estiramento e contração.

Estirando-se uma parte de uma peça metálica o material adjacente é afetado, especialmente no caso de ângulos moldados ou extrudados. Por exemplo, mantendo-se o metal no flange horizontal de uma tira em ângulo sobre um bloco de metal, como mostrado na figura 5-19, fará com que seu comprimento aumente; por isso, aquela seção ficaria mais longa que a seção próxima à dobra. Devido a essa diferença de comprimento, o flange vertical é forçado a se curvar.

Contração

Durante o processo de contração, o material é forçado ou comprimido em uma área menor. O processo de contração é utilizado quando o comprimento de uma peça de metal, especialmente do lado interno de uma dobra, terá que ser reduzido. Uma chapa metálica pode ser encurtada de duas maneiras: (1) Golpeando-a sobre um bloco em "V" (figura 5-20), ou (2) amolgando-a e depois contraindo-a sobre um bloco de contração.

Para curvarmos o ângulo através do bloco em "V", posicionamos o ângulo sobre o bloco em "V" e gentilmente martelamos sobre o "V" (figura 5-20).

Durante o martelamento, e a peça sobre o "V" é deslizada, para que a borda superior seja comprimida. A compressão do material, ao longo da borda superior do flange vertical, fará com que o ângulo se curve.

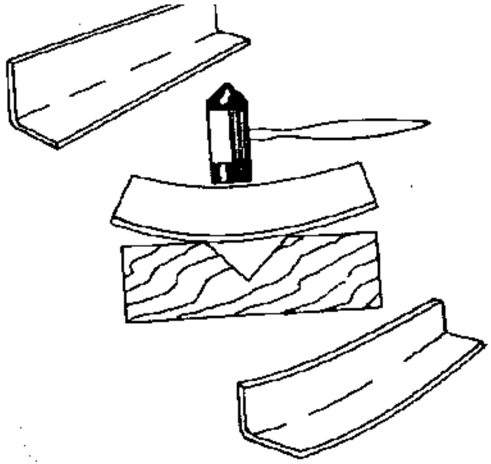


Figura 5-20 Contração usando um bloco em "V".

O material do flange horizontal apenas se dobrará para baixo no centro, e o comprimento continuará o mesmo.

Para fazermos uma curva acentuada, podemos usar o bloco para amolgamento e o bloco para contração. Neste processo, o alicate de amolgar é utilizado para fazer pregas em um dos flanges, e as pregas são batidas, uma a uma, com um martelo.

Dobragem

A confecção de dobras em folhas, placas ou chapas, é chamada de dobragem. As dobras geralmente possuem arestas em ângulo; geralmente são realizadas em máquinas de dobragem.

CONFECÇÃO DE DOBRAS EM LINHA RETA

Na moldagem de dobras em linha reta, a espessura do material, a composição da liga e sua condição de têmpera devem ser considerados. De forma geral, quanto mais fino o material, mais aguda poderá ser a sua dobra (maior o raio da dobra), e quanto mais macio o material, também mais aguda poderá ser a dobra.

Outros fatores que devem ser considerados na confecção de dobras em linha reta são, a tolerância quanto a dobragem, o recuo e o breque e linha de visada.

O raio de dobragem de uma chapa de material, é o raio medido no interior da curva. O raio mínimo de dobragem de uma chapa de material é a curva mais aguda ou dobra, à qual a chapa pode ser submetida sem provocar um enfraquecimento crítico do metal na dobra. Caso o raio da dobra seja muito pequeno, os estresses e fadigas enfraquecerão o metal, e poderão provocar uma rachadura.

Um raio mínimo de dobragem é especificado para cada tipo de chapa metálica para avião. O tipo do material, sua espessura e têmpera são fatores importantes. Uma chapa destemperada pode ser dobrada em um raio aproximadamente igual à sua espessura. O aço inoxidável e a liga de alumínio 2024-T requerem um raio de dobragem bem amplo (ver figura 5-28).

Tolerância de dobragem

Durante a realização de uma dobragem em chapa de metal, sua tolerância deve ser calculada. A tolerância da dobra é o comprimento do material requerido para a dobragem. Essa quantidade de metal deve ser adicionada ao comprimento total do esboço para assegurar material suficiente para a dobra.

A tolerância da dobra depende de quatro fatores: (1) O grau de dobragem, (2) O raio de dobragem, (3) A espessura do metal, e (4) O tipo de metal usado.

O raio da dobragem é geralmente proporcional à espessura do material. Além disso, quanto mais agudo o raio da dobragem, menor a quantidade de material necessário para a dobra. O tipo de material também é importante. Se o material for macio, ele pode ser dobrado em um ângulo agudo; mas se for duro, o raio da dobragem será maior, e o tamanho da dobra também. O grau da dobragem afeta o comprimento total do metal, enquanto a espessura influi no raio da dobra.

A dobragem de uma tira de metal comprime o material no lado interno da curva, e estira o material no lado externo da curva. Contudo, numa distância entre esses dois extremos há uma camada que não é afetada por nenhuma das duas forças. Ela é conhecida como a linha neutra ou eixo neutro, e ocorre a uma distância aproximadamente 0.445 vezes a espessura do metal (0.445 x E) a partir da face interna da dobra (figura 5-21).

Durante a dobragem de metais nas dimensões exatas, o comprimento da linha neutra deve ser determinado, de forma que haja material suficiente para a dobra.

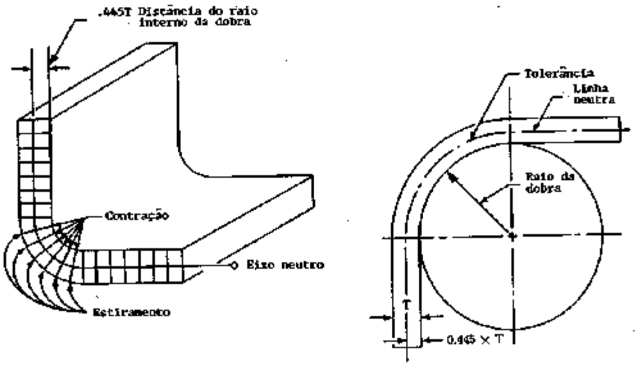


Figura 5-21 Eixos neutros.

Para economizarmos tempo com cálculos de tolerância de dobragem, estabeleceram-se fórmulas e tabelas para os vários ângulos, raios de dobragem, espessuras de material e outros fatores.

A fórmula da tolerância da dobra para uma curva de 90º é discutida nos próximos parágrafos.

Método # 1, fórmula # 1

Ao raio da curvatura (R) adicionamos metade da espessura do metal (1/2 E). Isso dá, R + 1/2 E, ou aproximadamente o raio do eixo neutro.

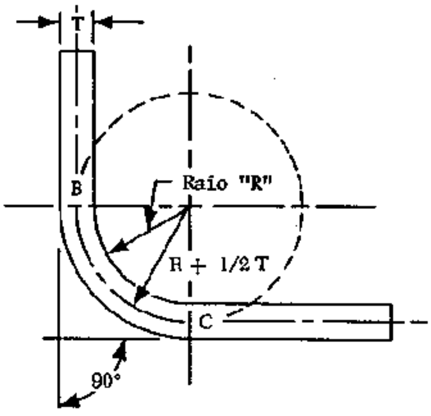


Figura 5-22 Tolerância de uma dobra a 90º.

Compute a circunferência deste círculo, multiplicando o raio da curvatura da linha neutra (R + 1/2 E na figura 5-22) por 2 π :

$2\pi(R + 1/2\,E)$

NOTA: $\pi = 3{,}1416$

Uma vez que uma curva de 90º é um quarto de um círculo, divida a circunferência por 4. Isso dá:

$$\frac{2\pi(R + 1/2\,E).}{4}$$

Sendo assim, a tolerância da dobra de 90º é:

$$\frac{2\pi(R + 1/2\,E).}{4}$$

Para usar a fórmula e encontrar a tolerância da dobra de 90º, tendo-se um raio de 1/4 de polegada para um material de 0.051 polegada de espessura, substitua os valores na fórmula como segue:

$$\text{Tolerância}\ \frac{2 \times 3{,}1416(0{,}250 + 1/2 \times 0{,}051)}{4}$$

$$\frac{6{,}2832\ (0{,}250 + 0{,}02555)}{4}$$

$$\frac{6{,}2832\ (0{,}2755)}{4}$$

$$= 0{,}4323.$$

Sendo assim, a tolerância ou o comprimento a mais, necessário para a dobra, é igual a 0,4323 ou 7/16 de polegada.

A fórmula está ligeiramente imprecisa, uma vez que a linha neutra verdadeira não está exatamente no centro da chapa a ser dobrada. (veja a figura 5-22).

Contudo, a quantidade de erro é tão insignificante que, para a maioria dos trabalhos, desde que o material seja fino, a fórmula é satisfatória.

Método # 2, fórmula # 2.

Esta fórmula utiliza duas constantes, sendo elas a relação entre o grau da dobragem e a espessura do metal para uma aplicação em particular.

Através de experiências com dobras reais em metal, os engenheiros aeronáuticos descobriram que poderiam obter resultados precisos usando a fórmula a seguir para qualquer grau de dobragem de 1º a 180º.

Tolerância = (0,01743 x R + 0,0078 x E) x N

onde:

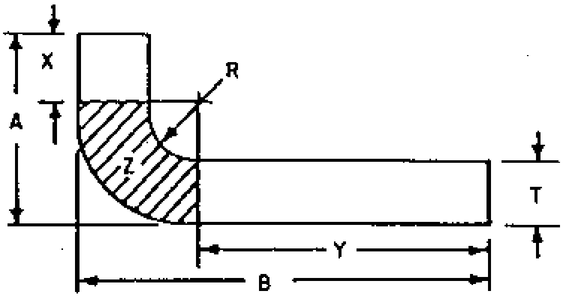
R = Raio da dobra

E = Espessura do material

N = Número de graus da dobra

TD = Tolerância da dobra

TD = 0,01743 x 20º



Tolerância da dobra (Z) = =(0,01743 R + 0,0078 T) x (Nº de graus da dobra)

T = Expessura do metal
R = Raio da dobra
Z = Tolerância da dobra

X = A - (R + T)
Y = B - (R + T)

Comprimento total = X + Y + Z

Figura 5-23 Calculando a tolerância de uma dobra.

Método # 3, uso da Tabela para dobras em 90º.

Qualquer uma das fórmulas pode ser usada, na ausência da tabela de tolerância de dobra.

Para determinar a tolerância para qualquer grau de curvatura através da tabela(figura5-24), encontramos a tolerância por grau para o número de graus da dobra.

O raio da dobra é dado em fração decimal na linha superior da tabela.

A tolerância da dobra é dada diretamente abaixo dos raios.

O número em cima, em cada caso, é a tolerância de dobra para uma ângulo de 90º, enquanto o número em baixo, é para um ângulo de 1º. A espessura do material é dada do lado esquerdo da tabela.

Para encontrar a tolerância de dobra para uma chapa de 0,051 da polegada de espessura, com um raio de dobragem de 1/4 da polegada (0,250 da polegada), e para uma dobra de 90º.

Lendo-se no topo da tabela de tolerâncias, encontramos a coluna para um raio de 0,250 da polegada.

Agora encontramos o bloco, nessa coluna, na mesma linha da medida de 0,051 da polegada, na coluna da esquerda.

O número em cima, no bloco, é 0,428, ou seja, a tolerância de dobra correta, em polegadas, para um ângulo de 90º.

Expessura da dobra	Raio da dobra em polegadas													
	1/32 .031	1/16 .063	3/32 .094	1/8 .125	5/32 .156	3/16 .188	7/32 .219	1/4 .250	9/32 .281	5/16 .313	11/32 .344	3/8 .375	7/16 .438	1/2 .500
.020	.062 .000693	.113 .001251	.161 .001792	.210 .002333	.259 .002874	.309 .003433	.358 .003974	.406 .004515	.455 .005056	.505 .005614	.554 .006155	.603 .006695	.702 .007795	.799 .008877
.025	.066 .000736	.116 .001294	.165 .001835	.214 .002376	.263 .002917	.313 .003476	.362 .004017	.410 .004558	.459 .005098	.509 .005657	.558 .006198	.607 .006739	.705 .007838	.803 .008920
.028	.068 .000759	.119 .001318	.167 .001859	.216 .002400	.265 .002941	.315 .003499	.364 .004040	.412 .004581	.461 .005122	.511 .005680	.560 .006221	.609 .006762	.708 .007862	.805 .007862
.032	.071 .000787	.121 .001345	.170 .001886	.218 .002427	.267 .002968	.317 .003526	.366 .004067	.415 .004608	.463 .005149	.514 .005708	.562 .006249	.611 .006789	.710 .007889	.807 .008971
.038	.075 .000837	.126 .001396	.174 .001937	.223 .002478	.272 .003019	.322 .003577	.371 .004118	.419 .004659	.468 .005200	.518 .005758	.567 .006299	.616 .006840	.715 .007940	.812 .009021
.040	.077 .000853	.127 .001411	.176 .001952	.224 .002493	.273 .003034	.323 .003593	.372 .004134	.421 .004675	.469 .005215	.520 .005774	.568 .006315	.617 .006856	.716 .007955	.813 .009037
.051		.134 .001413	.183 .002034	.232 .002575	.280 .003116	.331 .003675	.379 .004215	.426 .004756	.477 .005297	.527 .005855	.576 .006397	.624 .006934	.723 .008037	.821 009119
.064		.144 .001595	.192 .002136	.241 .002676	.290 .003218	.340 .003776	.389 .004317	.437 .004858	.486 .005399	.536 .005957	.585 .006498	.634 .007039	732 .008138	.830 .009220
.072			.198 .002202	.247 .002743	.296 .003284	.436 .003842	.394 .004283	.443 .004924	.492 .005465	.542 .006023	.591 .006564	.639 .007105	.738 .008205	.836 .009287
.078			.202 .002249	.251 .002790	.300 .003331	.350 .003889	.399 .004430	.447 .004963	.496 .005512	.546 .006070	.595 .006611	.644 .007152	.745 .008252	.840 .009333
.081			.204 .002272	.253 .002813	.302 .003354	.352 .003912	.401 .004453	.449 .004969	.498 .005535	.548 .006094	.598 .006635	.646 .007176	.745 .008275	.842 .009357
.091			.212 .002350	.260 .002891	.309 .003432	.359 .003990	.408 .004531	.456 .005072	.505 .005613	.555 .006172	.604 .006713	653 .007254	.752 .008353	.849 .009435
.094			.214 .002374	.262 .002914	.311 .003455	.361 .004014	.410 .004555	.459 .005096	.507 .005637	.558 .006195	.606 .006736	655 .007277	.754 .008376	.851 .009458
.102				.268 .002977	.317 .003518	.367 .004076	.416 .004617	.464 .005158	.513 .005699	.563 .006257	.612 .006798	.661 007339	.760 .008439	.857 009521
.109				.273 .003031	.321 .003572	.372 .004131	.420 .004672	.469 .005213	.518 .005754	.568 .006312	.617 .006853	.665 .008394	.764 .008493	.867 009575
.125				.284 .003156	.333 .003697	.383 .004256	.432 .004797	.480 .005338	.529 .005678	.579 .006437	.628 .006978	677 .007519	.776 .008618	873 009700
.156					.355 .003939	.405 .004497	.453 .005038	.502 .005579	.551 .006120	.601 .006679	.650 .007220	698 007761	797 008860	895 009942
.188						.417 .004747	.476 .005288	.525 .005829	.573 .006370	.624 .006928	.672 .007469	721 008010	820 009109	917 010191
.250								.568 .006313	.617 .006853	.667 .007412	716 .007953	764 008494	863 009593	961 .010675

Figura 5-24 Tabela de tolerância de dobras.

Método #4 uso da tabela para dobras diferentes de 90º.

Caso a dobra seja diferente de 90º, usamos o número de baixo, no bloco, (a tolerância para 1º) e computamos a tolerância. O número de baixo, neste caso é 0,004756. Sendo assim, caso, a dobra seja de 120º, a tolerância total , em polegadas, será 120 x 0,004756, ou 0,5707 da polegada.

RECUO (Setback)

Durante a dobragem de uma chapa de metal, é necessário determinar os pontos de início e fim da dobra, de forma que o comprimento da parte chata da chapa possa ser determinado. Há dois fatores importantes nessa determinação, o raio da dobra e a espessura do material.

Na figura 5-27, notamos que o "recuo" é a distância entre a linha tangente da dobra e o ponto de molde. O ponto de molde é o ponto de intercessão das linhas que se estendem a partir das superfícies externas, enquanto as linhas tangentes da dobra são os pontos de início e fim da dobra. Notamos também que o "recuo" é o mesmo tanto para a parte chata vertical como para a parte chata horizontal.

Outra maneira de ver o "recuo", é a seguinte: Se o mandril em uma viradeira é ajustado para a borda da mesa, um pedaço de metal é inserido, e faz-se uma dobra em 90º, o metal será cortado devido à ação de compressão da chapa. O mandril deve ser "recuado" da borda da mesa o equivalente à espessura da chapa de metal para uma dobra de 90º. Isso permite que o metal flua, formando uma dobra perfeita.

Cálculo do recuo, fórmula # 1

Para calcular o recuo para uma dobra de 90º, simplesmente adicionamos a espessura da chapa ao raio interno da dobra.
Ex: Recuo = R + E

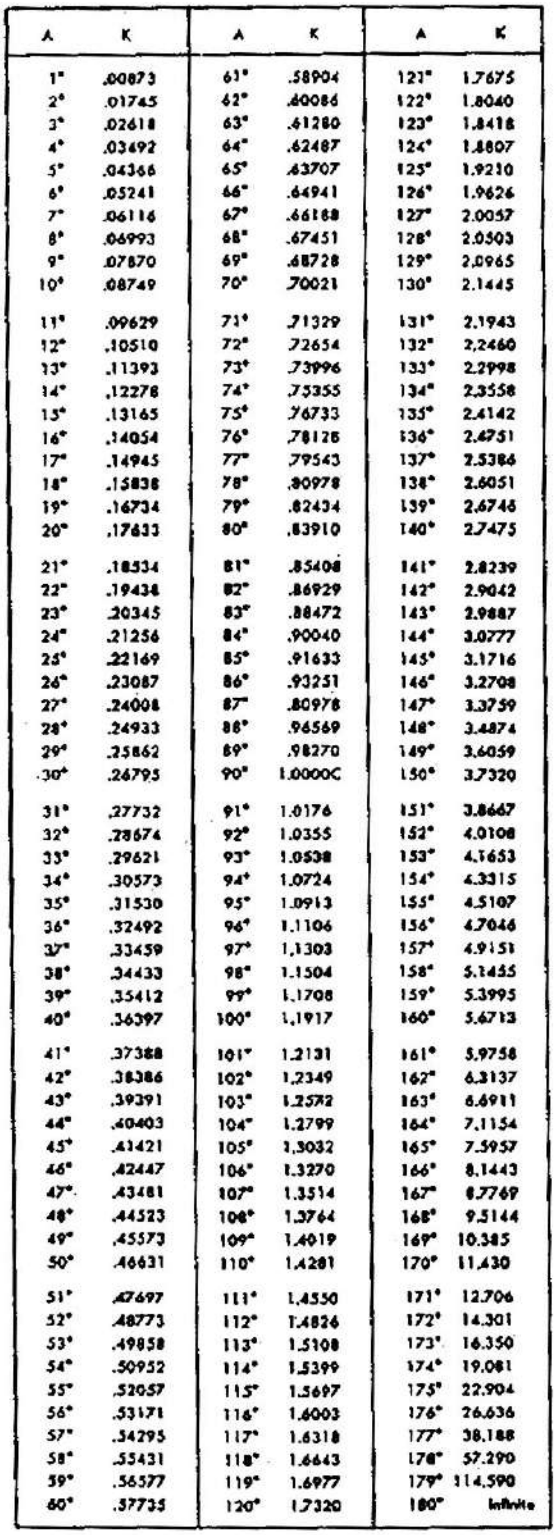
Exemplo: - Calcule o recuo para uma curva de 90º, com um material de 0,051 da polegada de espessura, e sendo o raio da curva especificado como 1/8 polegada (0,125).

Recuo = R + E
= 0,125 + 0,051
= 0,176 polegadas

Cálculo do recuo, fórmula # 2.

Para calcular o recuo em ângulos maiores ou menores que 90º, consulte a tabela padrão de recuo (figura 5-25), ou a tabela "K", para o valor de "K", e então substitua na fórmula: Recuo = K (R + E).

O valor de K varia de acordo com o ângulo da dobra.



A	K	A	K	A	K
1°	.00873	61°	.58904	121°	1.7675
2°	.01745	62°	.60086	122°	1.8040
3°	.02618	63°	.61280	123°	1.8418
4°	.03492	64°	.62487	124°	1.8807
5°	.04366	65°	.63707	125°	1.9210
6°	.05241	66°	.64941	126°	1.9626
7°	.06116	67°	.66188	127°	2.0057
8°	.06993	68°	.67451	128°	2.0503
9°	.07870	69°	.68728	129°	2,0965
10°	.08749	70°	.70021	130°	2.1445
11°	.09629	71°	.71329	131°	2.1943
12°	.10510	72°	.72654	132°	2,2460
13°	.11393	73°	.73996	133°	2.2998
14°	.12278	74°	.75355	134°	2.3558
15°	.13165	75°	.76733	135°	2.4142
16°	.14054	76°	.78128	136°	2.4751
17°	.14945	77°	.79543	137°	2.5386
18°	.15838	78°	.80978	138°	2.6051
19°	.16734	79°	.82434	139°	2.6746
20°	.17633	80°	.83910	140°	2.7475
21°	.18534	81°	.85408	141°	2.8239
22°	.19438	82°	.86929	142°	2.9042
23°	.20345	83°	.88472	143°	2.9887
24°	.21256	84°	.90040	144°	3.0777
25°	.22169	85°	.91633	145°	3.1716
26°	.23087	86°	.93251	146°	3.2708
27°	.24008	87°	.80978	147°	3.3759
28°	.24933	88°	.96569	148°	3.4874
29°	.25862	89°	.98270	149°	3.6059
30°	.26795	90°	1.00000	150°	3.7320
31°	.27732	91°	1.0176	151°	3.8667
32°	.28674	92°	1.0355	152°	4.0108
33°	.29621	93°	1.0538	153°	4.1653
34°	.30573	94°	1.0724	154°	4.3315
35°	.31530	95°	1.0913	155°	4.5107
36°	.32492	96°	1.1106	156°	4.7046
37°	.33459	97°	1,1303	157°	4.9151
38°	.34433	98°	1.1504	158°	5.1455
39°	.35412	99°	1,1708	159°	5.3995
40°	.36397	100°	1,1917	160°	5.6713
41°	.37388	101°	1.2131	161°	5.9758
42°	.38386	102°	1,2349	162°	6.3137
43°	.39391	103°	1.2572	163°	6.6911
44°	.40403	104°	1.2799	164°	7,1154
45°	.41421	105°	1,3032	165°	7.5957
46°	.42447	106°	1.3270	166°	8.1443
47°	.43481	107°	1.3514	167°	8.7769
48°	.44523	108°	1.3764	168°	9.5144
49°	.45573	109°	1.4019	169°	10.385
50°	.46631	110°	1.4281	170°	11.430
51°	.47697	111°	1.4550	171°	12.706
52°	.48773	112°	1.4826	172°	14.301
53°	.49858	113°	1.5108	173°	16.350
54°	.50952	114°	1.5399	174°	19.081
55°	.52057	115°	1.5697	175°	22.904
56°	.53171	116°	1.6003	176°	26.636
57°	.54295	117°	1.6318	177°	38.188
58°	.55431	118°	1.6643	178°	57.290
59°	.56577	119°	1.6977	179°	114.590
60°	.57735	120°	1.7320	180°	Infinite

Figura 5-25(A) Tabela de recuo (K).

Exemplo: - Calcule o recuo para uma dobra de 120º com um raio de 0,125 de polegada em uma chapa com 0,032 de polegada de espessura.

Recuo = K (R + E)
= 1,7320 (0,125 + 0,032)
= 0,272 polegadas.

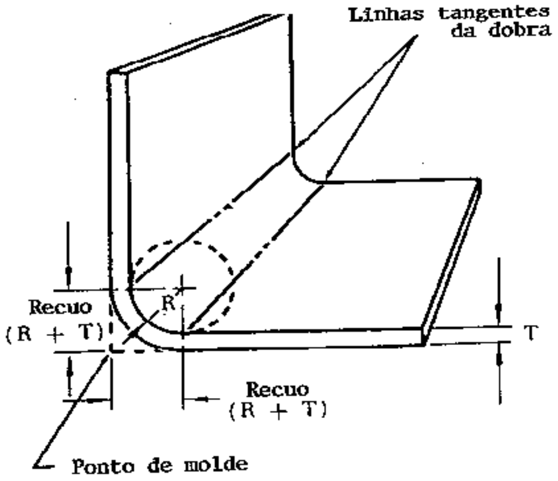


Figura 5-25(B) Recuo de dobra a 90º.

Linha de Visada

A linha de visada é a marca em uma chapa plana, que é alinhada com a extremidade da barra de raio da viradeira, e serve como guia na dobragem. A linha de visada pode ser localizada, medindo-se um raio a partir da linha de tangência da dobra mais próxima da extremidade a ser inserida sob a extremidade da viradeira. A ponta da viradeira deve ficar exatamente sobre a linha de visada como mostrado na figura 5-26.

Termos Relacionados à Tolerância da Dobra.

É necessário uma familiarização com alguns termos para o entendimento da tolerância de dobra, e suas aplicações em uma tarefa prática de dobragem. A figura 5-27 ilustra a maioria desses termos. São eles:

Perna ou alma. Maior superfície plana de uma dobra.

Flange. Menor superfície plana de uma dobra - o oposto da alma. Caso ambos os lados de uma dobra sejam do mesmo comprimento, eles serão chamados de perna ou alma.

Linha de Molde (LM). Linha formada pela extensão das superfícies externas da alma e do flange. (Ponto imaginário a partir do qual são feitas medidas da base real em desenhos.)

Tolerância da Dobra (TD). Quantidade de material gasto na curva (figura 5-26).

Raio (R). O raio de uma dobra - sempre pelo lado interno da curva, a menos que seja de outra forma estipulado. (O raio mínimo permissível para a dobragem de um dado tipo e espessura de material deve ser sempre determinado antes de se prosseguir com qualquer cálculo de tolerância.)

Recuo (SB) O recuo é a distância da linha de tolerância da dobra até o ponto de molde. Em uma curva de 90º SB = R + E (raio da dobra mais a espessura do metal). O tamanho do recuo deve ser determinado antes de fazer uma dobra, como também na localização da linha de tangência da dobra (figura 5-27).

Linha de Dobra (também chamada Linha de Visada). A linha do desenho, no material sendo moldado, que é alinhada com a ponta da viradeira e serve como um guia na dobragem. (Antes de fazer uma dobragem, deve-se decidir qual extremidade a ser inserida na viradeira. Essa medida deve ser igual ao raio da dobra. O metal é, então, inserido na viradeira, de forma que a ponta da viradeira fique exatamente sobre a linha de dobra, como mostrado na figura 5-26.)

Parte Chata. A parte chata de uma peça é a porção não incluída na dobra. Ela é igual à medida da base menos o recuo.

Medida Base. Dimensões externas de uma peça moldada. A medida base será dada no desenho ou diagrama, ou pode ser obtida a partir da peça original.

Ângulo Fechado. Ângulo menor que 90º quando medido entre as almas, ou maior que 90º quando a quantidade da dobra é medida.

Ângulo Aberto. Ângulo maior que 90º quando medido entre as almas, ou menor que 90º quando a quantidade da dobra é medida.

Nº "K". Um dos 179 números na tabela "K" correspondente a um dos ângulos entre 0 e 180º, no qual o metal pode ser dobrado. Sempre que um metal tenha que ser dobrado em qualquer ângulo diferente de 90º (K = 1), o nº K correspondente é encontrado na tabela, e, é multiplicado pela soma do raio e da espessura do metal. O produto corresponde à quantidade de recuo da dobra.

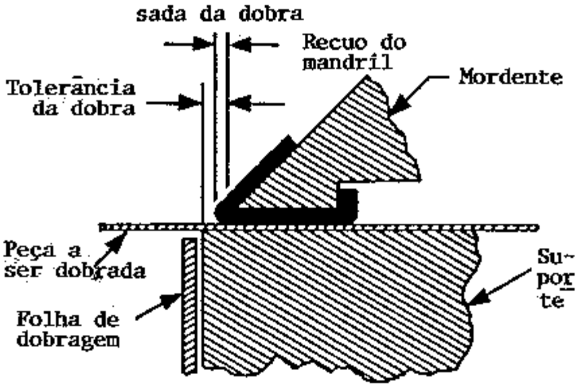

sada da dobra
Recuo do mandril
Tolerância da dobra
Mordente
Peça a ser dobrada
Folha de dobragem
Suporte

Figura 5-26 Recuo-Localização da linha de dobra.

Confecção de desenhos

É importante fazer um desenho da peça antes de moldá-la, para evitar perdas de material, e para obter um grau maior de precisão na peça final.

Na realização de dobras em ângulo reto, deve-se determinar as tolerâncias corretas para o recuo e a tolerância de dobra.

Se forem usados processos de contração ou estiramento, as tolerâncias devem ser feitas de forma que a peça possa ser realizada com o mínimo de modelagem.

Os procedimentos de desenho podem ser agrupados em três grupos gerais:

(1) Desenho plano,

(2) Padrão duplicado, e

(3) Projeção através de um conjunto de pontos.

Os três processos requerem um bom conhecimento de aritmética e geometria. Este capítulo discutirá somente dois processos, o desenho plano e o padrão duplicado.

Com relação à Tabela de "K", figura 5-27, percebe-se que o valor de K para um ângulo de 90º é igual a 1 E (espessura do metal).

Uma observação futura mostrará que para um ângulo menor que 90º o recuo será menor que 1E, e para um ângulo maior que 90º o recuo será maior que 1E.

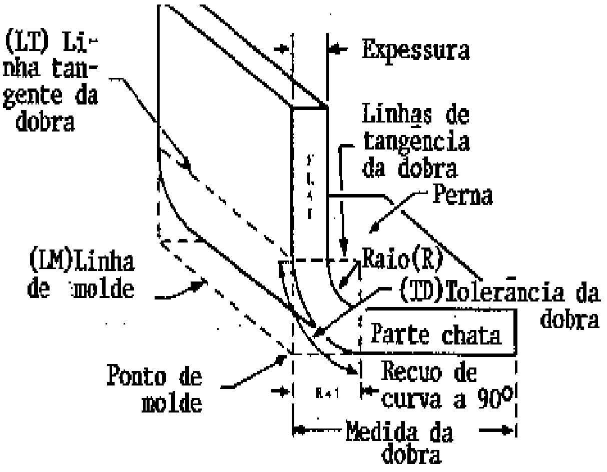
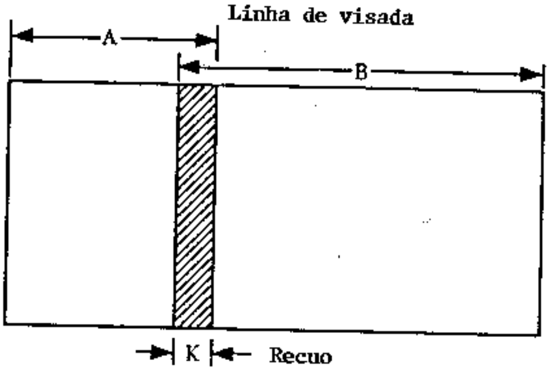

(LT) Linha tangente da dobra
Expessura
Linhas de tangência da dobra
Perna
(LM)Linha de molde
Raio(R)
(TD)Tolerância da dobra
Parte chata
Ponto de molde
R+1
Recuo de curva a 90º
Medida da dobra

Figura 5-27 Termos de tolerância de dobras.

Designação	0.020	0.025	0.032	0.040	0.050	0.063	0.071	0.080
	MEDIDAS							
2024-O	1/32	1/16	1/16	1/16	1/16	3/32	1/8	1/8
2024-T4	1/16	1/16	3/32	3/32	1/8	5/32	7/32	1/4
5052-O	1/32	1/32	1/16	1/16	1/16	1/16	1/8	1/8
5052-H34	1/32	1/16	1/16	1/16	3/32	3/32	1/8	1/8
6061-O	1/32	1/32	1/32	1/16	1/16	1/16	3/32	3/32
6061-T4	1/32	1/32	1/32	1/16	1/16	3/32	5/32	5/32
6061-T6	1/16	1/16	1/16	3/32	3/32	1/8	3/16	3/16
7075-O	1/16	1/16	1/16	1/16	3/32	3/32	5/32	3/16
7075-W	3/32	1/32	1/8	5/32	3/16	1/4	9/32	5/16
7075-T6	1/8	1/8	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16

Figura 5-28 Raio mínimo de dobras para ligas de alumínio.


Linha de visada
A
B
K
Recuo

Calculando o comprimento do exemplo = A + B. Para determinar o comprimento total, subtraia a dimensão "K" da soma das dimensões A + B.

Figura 5-29 Calculando o recuo.

O uso do recuo de 1E em uma dobra menor que 90º (ângulo aberto) resultaria em um flange longe demais. Por outro lado, em um ângulo maior que 90º com menos de 1E de recuo, o flange seria muito curto.

Desenho Plano

Suponhamos que seja necessário desenhar a vista plana de um canal (figura 5-31), no qual o plano lateral esquerdo "A" deve ter 1 polegada de altura, o plano lateral direito "C", 1 1/4 polegada de altura, e a distância entre as superfícies externas dos dois planos B, deve ser de 2 polegadas.

O material tem espessura de 0,051 polegada e o raio da dobra deve ser de 3/16 da polegada (0,188). Os ângulos devem ser de 90º. Proceda como a seguir:

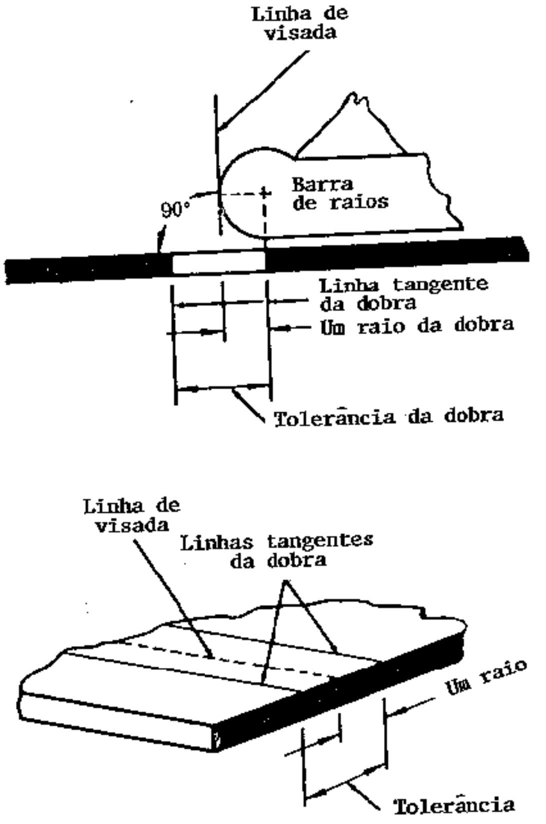

Linha de visada
Barra de raios
90°
Linha tangente da dobra
Um raio da dobra
Tolerância da dobra
Linha de visada
Linhas tangentes da dobra
Um raio
Tolerância

Figura 5-30 Linha de visada.

1) Determine o recuo para acertar a distância entre os planos.

    a) O recuo para a primeira dobra:
    Recuo = R + E
    = 0,188 + 0,051
    = 0,239 pol
    b) O primeiro plano A é igual ao tamanho total menos o recuo:
    Plano A = 1,000 - 0,239
    = 0,761 pol

2) Calcule a tolerância das dobras para a primeira dobra, usando a tabela de tolerância (figura 5-24). (TD = 0,3307 ou 0,331)

3) Agora projete o segundo plano B. Ele é igual à dimensão total menos o recuo em cada extremidade, ou B menos dois recuos: (ver figura 5-31)
    Plano B = 2,000 - (0,239 + 0,239)
    = 2,000 - 0,478
    = 1,522 pol

4) A tolerância de dobra para a segunda dobra é a mesma que para a primeira (0,331). Marque essa distância (ver figura 5-31).

5) O terceiro plano C é igual à dimensão total menos o recuo. (ver figura 5-31.)
    Plano C = 1,250 - 0,239
    = 1,011 pol

6) Adicionando as medidas dos planos A, B e C, e as tolerâncias (0,761 + 0,331 + 1,522 + 0,331 + 1,011), a soma é 3,956, ou aproximadamente 4,00 polegada. Totalizando os três planos A, B e C, 1 pol, 2 pol, e 1 1/4 pol respectivamente, a soma é 4,250 polegadas de comprimento de material.

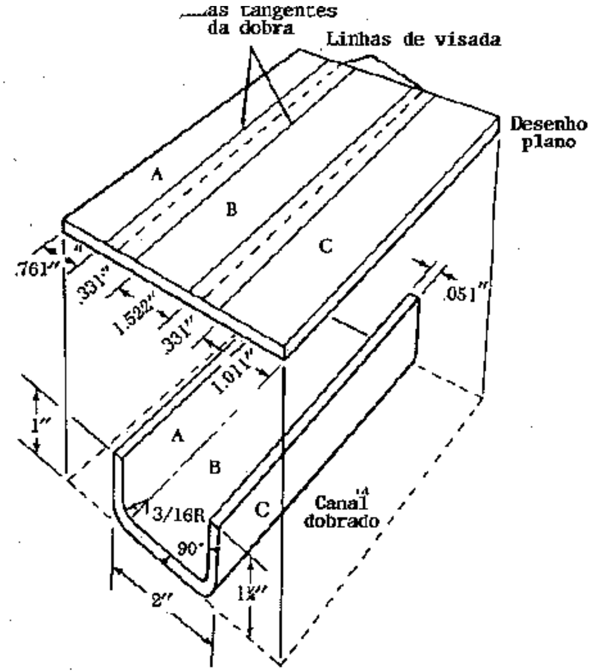

as tangentes da dobra
Linhas de visada
Desenho plano
A
B
C
.761″
1″
.331″
1.522″
.331″
1.011″
.051″
1″
A
B
C
3/16R
90°
2″
1¼″
Canal dobrado

Figura 5-31 Desenho plano de um canal.

Este exemplo ilustra como o recuo e a tolerância de dobra afetam o comprimento do material na modelagem de dobras em linha reta. Neste caso, a redução é de aproximadamente 1/4 de polegada

Depois de todos os cálculos, corte o material e marque as linhas de visada como mostrado na figura 5-31.

Padrão Duplicado

Quando for necessário duplicarmos uma peça de aeronave e não possuirmos seu desenho, tomamos as medidas diretamente do original ou de uma duplicata. Durante este estudo recorremos às ilustrações da figura 5-32.

Uma linha de referência (DATUM) é desenhada, AB, na peça amostra, e uma linha correspondente no material a ser cortado (exemplo 1, figura 5-32).

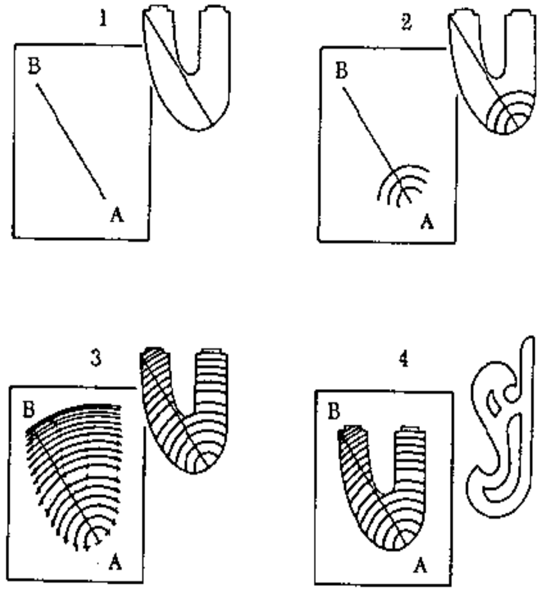


Figura 5-32 Duplicando um padrão.

A seguir, tomando o ponto A na peça referência como centro, desenhamos um arco com um raio de aproximadamente 1/2 polegada se estendendo até os flanges (exemplo 2, figura 5-32).

Desenhamos arcos semelhantes, cada um com raio 1/2 pol maior que o anterior até que toda a peça esteja marcada. No caso de haver uma curva extremamente aguda no objeto, diminuimos a distância entre os arcos para aumentar o número deles.

Esse procedimento aumentará a precisão do desenho. Um arco deve passar por cada uma das pontas da peça; um arco pode passar através de mais de uma ponta (exemplo 3, figura 5-32).

Localizamos o ponto coordenado no desenho, medindo a peça através de um compasso. Medimos sempre a distância do ponto de referência até o início da linha da dobra, no flange da peça.

Após a localização de todos os pontos, desenhamos uma linha que passe por eles, usando uma curva francesa para assegurar um traçado suave (exemplo 4, figura 5-32).

Deixamos uma margem para modelar o flange e localizamos a linha de tangência de dobra interna, medindo dentro da linha de visada, uma distância igual ao raio de dobra da peça.

Utilizando a intercessão das linhas como centro, localizamos os furos de alívio necessários. Depois cortamos e modelamos como necessário.

Furos de Alívio

Toda vez que houver uma intercessão de dobras, devemos remover material desse ponto para darmos espaço ao material contido nos flanges. Por isso, fura-se as intercessões.

Esses furos, chamados de alívio, evitam a formação de pontos de fadiga nas intercessões das linhas internas de tangência de dobra, o que faria com que o metal rachasse.

Os furos de alívio geram arestas mais bem aparadas.

O tamanho dos furos de alívio varia de acordo com a espessura da chapa. Eles não devem ser menores que 1/8 de polegada em diâmetro, para chapas de alumínio até 0,064 de polegada de espessura, ou 3/16 de polegada para chapas que vão de 0,072 polegada a 0,128 da polegada de espessura.

O método mais comum de se determinar o tamanho dos furos de alívio é usar o raio de dobra, desde que ele não seja menor que a medida mínima (1/8 de polegada).

Os furos de alívio devem tocar a intercessão das linhas internas de tangência de dobra.

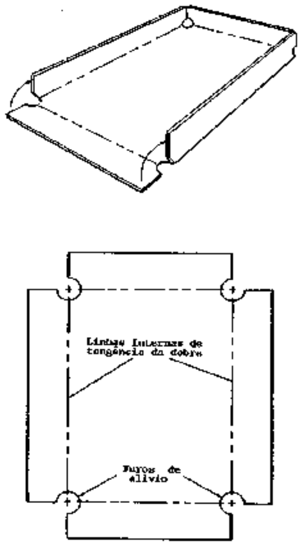


Figura 5-33 Localização dos furos de alívio.

Para nos prevenirmos quanto a um possível erro de dobragem, fazemos os furos de alívio, de forma que se estendam de 1/32 a 1/16 de polegada atrás das linhas internas de tangência de dobra.

Uma boa prática é utilizar os pontos de intercessão dessas linhas como centro para os furos (figura 5-33). A linha no interior da curva é cortada em ângulo, em direção aos furos de alívio, para permitir um possível alongamento no flange interno.

Furos para Redução de Peso

São furos feitos em nervuras, cavernas e outras partes estruturais, com o intuito de reduzir o peso. Para evitar o enfraquecimento de um membro devido à remoção de material, são geralmente feitos flanges ao redor dos furos para fortalecer a área da qual o material foi removido.

Os furos para redução de peso nunca devem ser feitos em qualquer parte estrutural, a menos que autorizado.

O tamanho do furo e a largura do flange moldado ao redor do furo são determinados através de especificações de desenho.

Nessas especificações são consideradas margens de segurança, de forma que o peso da peça possa ser reduzido, e ela ainda mantenha a resistência necessária.

Esses furos podem ser cortados por um dos métodos a seguir:

1) Puncionando-se, caso haja um punção com o tamanho adequado:

2) Cortando-se com um cortador adaptado a uma furadeira;

3) Riscando-se a circunferência com um compasso, e furando toda a circunferência com uma pequena broca, deixando uma folga suficiente para aparar com uma lima;

4) Riscando-se a circunferência do furo com um compasso, fazendo-se um furo, no interior da circunferência, grande o bastante para permitir um corte com tesoura para chapas de metal, e depois aparando com uma lima.

Modelamos o flange usando um punção para modelagem, ou blocos de modelagem de metal ou de matéria dura. Os punções de flangeamento consistem de duas partes que se encaixam, um punção macho e um fêmea. Para flangear metal macio, os punções podem ser de madeira dura, tal como a borda. Para metais duros ou para um uso permanente eles devem ser feitos de aço. A peça guia deve ser da mesma largura e ângulo do flange desejado.

Durante o flangeamento de furos para redução de peso, posicionamos a chapa entre as peças de flangear e batemos a peça superior com um martelo ou, então comprimimos as peças com uma morsa ou uma prensa. Os punções trabalharão de forma mais suave se forem revestidos com um óleo fino para máquina.

Notamos que nos dois blocos de moldagem mostrados no lado esquerdo da figura 5-34, o furo no bloco superior é do mesmo tamanho do furo a ser flangeado, e é chanfrado na largura do flange e no ângulo desejados; enquanto no bloco inferior, o furo tem a mesma largura do flange. Ambos podem ser usados.

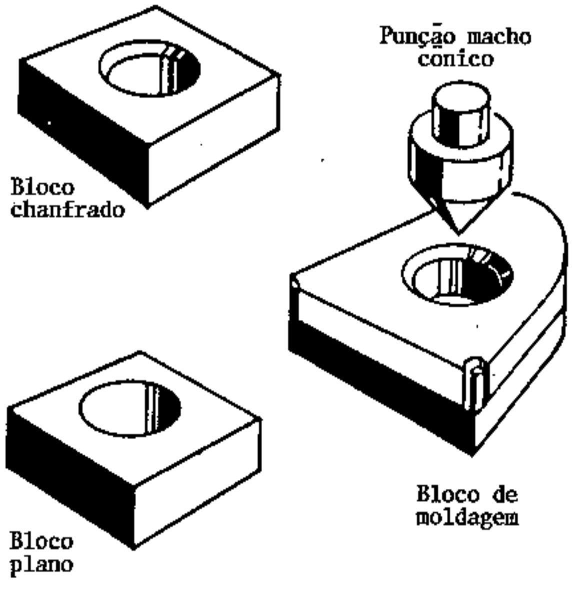


Figura 5-34 Blocos de moldagem.

Quando o bloco superior é usado, centralizamos o material a ser flangeado e batemos com um macete em toda a volta do bloco, até que o flange se conforme ao chanfro.

Quando a inferior é usado, centralizamos o furo sobre o bloco e depois alongamos as bordas, batendo o material sobre o furo, circularmente, até obter o flange desejado.

Ocasionalmente, o chanfro é realizado com um macho em forma de cone, em conjunto com o bloco de moldagem.

MOLDAGEM A MÃO

Toda a moldagem envolve os processos de contração e alongamento, e a moldagem a mão não poderia ser exceção. Quando se precisa moldar ou extrudar um ângulo, alongamos um dos lados e contraimos o outro, de forma que a peça se encaixe. Golpeando-o, o material é alongado, e entalhando-o ele é alongado entre os encaixes. O material nas bordas dos furos de redução de peso, é geralmente alongado para formar um chanfro em forma de crista ao seu redor.

Dobras em Linha Reta

A viradeira e o dobrador de barra são geralmente utilizados para fazer dobras em linha reta. Sempre que essas máquinas não estiverem disponíveis, seções comparativamente menores podem ser dobradas manualmente com o auxílio de blocos de madeira ou metálicos, usando-os como explicado a seguir.

Depois de riscar e cortar um pedaço de metal, o prendemos rigidamente ao longo da linha de dobra, entre dois blocos de madeira, em uma morsa. O bloco de moldagem de madeira deverá ter uma extremidade arredondada de acordo com o raio de dobragem desejado. Ele também deve ser ligeiramente curvado, além do ponto de 90º para compensar o retorno (springback).

Começamos batendo de leve com um macete de borracha ou plástico, até que o metal atinja o ângulo desejado. Iniciamos em uma extremidade, vamos até a outra, e voltamos ao longo da borda para fazer uma dobra gradual e uniforme.

Continuamos este processo até que o metal seja forçado no ângulo desejado, contra o bloco molde. O retorno (springback) é compensado, dobrando o metal ligeiramente além do ângulo previsto. Caso uma grande quantidade de metal se estenda além dos blocos de moldagem, fazemos pressão com a mão sobre a chapa para evitar sua oscilação.

Quaisquer irregularidades são removidas apoiando a dobra sobre a quina de um bloco de madeira dura, e golpeando toda a dobra com um macete ou martelo. No caso a quantidade de material que se estende além da dobra ser pequena, fazemos toda a dobra com um bloco de madeira dura e um martelo.

Ângulos Moldados ou Extrudados

Tanto os ângulos moldados como os extrudados podem ser curvados, alongando-se ou encolhendo-se um dos flanges. Usa-se preferencialmente o alongamento, por precisarmos apenas de um bloco “V” e um macete, e é bem mais fácil.

No processo de alongamento, posicionamos o flange a ser alongado sobre a ranhura do bloco V.

Usando um macete, batemos diretamente sobre a parte apoiada no V, com pancadas leves e constantes, forçando o metal para dentro. Uma pancada muito forte irá flambar a tira em ângulo. Movemos a tira em ângulo ao longo do bloco em V e batemos somente sobre ele. Moldamos a curva gradual, e uniformemente movemos a tira para a frente e para trás, distribuindo as pancadas do martelo em intervalos uniformes sobre o flange.

Num tamanho real, um molde preciso é desenhado em papel ou compensado, e periodicamente usado para verificar a precisão da curvatura.

Comparando o flange com o molde determinaremos exatamente como a curva está progredindo, e onde ela deve ser aumentada ou diminuída. É preferível fazer com que a curva fique moldada no formato desejado antes de tentarmos finalizar qualquer parte, porque a finalização ou alizamento do ângulo poderá causar uma mudança na forma da curva. Se qualquer parte da curva dobrar demais, a reduzimos virando a peça ao contrário, e batendo na parte mais alta com suaves pancadas de macete.

Tentamos formar a curva com o menor número de pancadas possíveis, visto que um excesso de marteladas irá endurecer o metal. Esse endurecimento pode ser reconhecido por uma falta de resposta ao curvamento ou por um comportamento semelhante ao de uma mola. Em alguns casos, a peça terá que ser recozida durante a operação de curvamento. Se isso ocorrer, refazemos o tratamento térmico da peça antes de instalá-la na aeronave.

O curvamento de uma peça em ângulo, moldada ou extrudada através de contração, pode ser realizado através de dois métodos; através do bloco “V” ou do bloco de contração. Dos dois, o método do bloco “V” é em geral mais satisfatório por ser mais rápido e mais fácil, e por afetar menos o metal.

Contudo, pode-se obter resultados muito bons com o bloco de contração.

No método do bloco “V”, posicionamos um dos flanges da tira em ângulo sobre o bloco “V” com o outro flange virado para cima, como mostrado na figura 5-35.

Seguramos firmemente, de forma que não balance durante as marteladas, e então batemos na borda do flange superior, com pancadas suaves, usando um macete com cabeça macia e arredondada.

Em uma das extremidades da tira, batemos suavemente para a frente e para trás, sobre a ranhura em "V" do bloco.

Batemos a borda do flange em um ângulo suave, à medida que ele vai dobrando para fora.

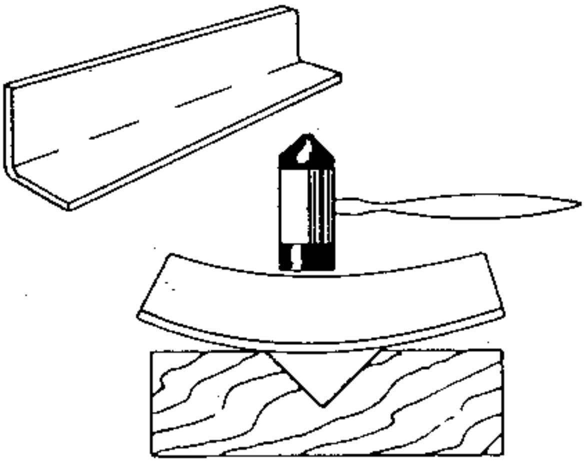


Figura 5-35 Bloco em “V”.

Ocasionalmente checamos a curva quanto ao padrão. Se for feita uma curva muito fechada, o ângulo (seção transversal do ângulo moldado) fechará ligeiramente.

Para evitar essa redução do ângulo, prendemos a peça a um bloco de madeira dura com o flange martelado faceado para cima, usando pequenos grampos em "C".

Os mordentes dos grampos "C" devem ser cobertos com uma fita protetora. Se o ângulo já tiver fechado, o devolvemos à condição normal com pequenas pancadas de macete, ou com o auxílio de um pequeno bloco de madeira dura.

Se qualquer parte da peça curvar-se demais, a reduzimos e colocamos ao contrário sobre um bloco “V”, martelando com um macete adequado. Após obter a curvatura correta, suavizamos todo o ângulo, batendo com um macete de cabeça macia.

Caso a curva do ângulo moldado deva ser aguda, ou se os flanges do ângulo forem largos, o método do bloco de contração deverá ser usado. Neste processo o flange que formará a parte interna da curva é amolgado.

Durante o amolgamento, seguramos o alicate de amolgas, de forma que os mordentes fiquem afastados aproximadamente 1/8 pol. Girando o seu punho para trás e para a frente fazemos com que o mordente superior do alicate contacte o flange, primeiro em um lado e depois, no outro lado, do mordente inferior.

Completamos o amolgamento, trabalhando em um calombo do flange, aumentando gradualmente o movimento de torção do alicate. Não devemos fazer calombos muito largos, pois isso dificultaria o trabalho. O tamanho do calombo dependerá da espessura e da maciez do material, mas geralmente 1/4 polegada é suficiente.

Ponha vários calombos espaçados colocados uniformemente ao longo da curva desejada, com espaço suficiente entre cada um de forma que os mordentes do bloco de enrugamento possam facilmente ser encaixados.

Após terminarmos o encrespamento, posicionamos o flange enrugado no bloco de contração, de forma que um calombo de cada vez seja localizado entre os mordentes. Cada calombo é amassado com suaves batidas de um macete com cabeça macia, começando no ápice do calombo e trabalhando gradualmente em direção à borda do flange.

Periodicamente checamos o ângulo em relação ao padrão durante o processo de moldagem, e depois que todos os calombos forem aplainados. Caso seja necessário aumentar a curva, aumentamos o número de calombos e repetimos o processo.

Os calombos adicionais são feitos entre os originais, de forma que o metal não endureça em nenhum ponto.

Se a curva precisar ser aumentada ou ligeiramente diminuída em qualquer ponto, usamos o bloco "V".

Após obter a curvatura desejada, aplaine a tira em ângulo sobre um remanchador ou uma forma de madeira.

Ângulos Flangeados

O processo de moldagem para os próximos dois ângulos flangeados é ligeiramente mais complicado que o discutido, em que a dobra era mais curta e necessitava da contração e do alongamento de áreas pequenas ou concentradas.

Se o flange for virado em direção à parte interna da dobra, o material deve ser contraído. Se for para a parte exterior, ele deve ser alongado.

Na moldagem de um ângulo flangeado por contração, usamos blocos de moldagem de madeira, semelhantes aos mostrados na figura 5-36, e procedemos como a seguir:

(1) Corte o metal no tamanho, deixando margem para os ajustes depois da moldagem. Determine a tolerância de dobra para uma sobra de 90º e arredonde a borda do bloco de moldagem de acordo.

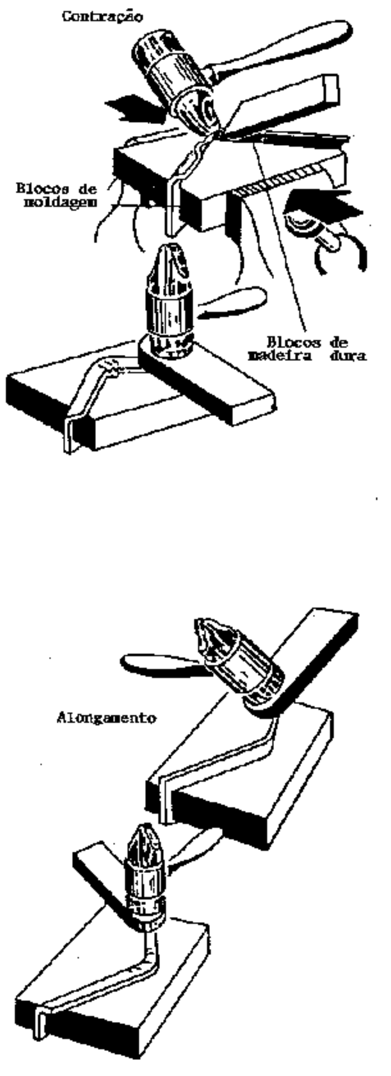


Figura 5-36 Moldando um ângulo flangeado.

(2) Prenda o material nos blocos de moldagem como mostrado na figura 5-36, e dobre o flange exposto contra o bloco. Após a dobragem, bata os blocos ligeiramente. Isso fará com que a dobragem assente.

(3) Usando um macete para contração com cabeça macia, comece a bater próximo ao centro e vá batendo gradualmente em direção a ambas as extremidades. O flange tenderá a empenar na dobra, porque o material foi feito para ocupar menos espaço. Trabalhe o material em diversos empenamentos pequenos, ao invés de um grande, vá batendo suavemente e comprimindo gradualmente o material de cada empeno. O uso de um bloco de madeira dura, como mostrado na figura 5-36, ajudará a remover os empenamentos.

(4) Aplaine o flange depois que ele for achatado contra o bloco de moldagem e remova pequenas irregularidades. Caso os blocos de moldagem sejam feitos de madeira dura, use um martelo metálico. Caso as fôrmas sejam de metal, use um macete macio. Apare as rebarbas, lime e dê o polimento.

Moldagem por Alongamento

Para moldar um flange em ângulo por alongamento, utilizamos os mesmos blocos de moldagem, o bloco de calço de madeira e o macete que foi usado no processo de contração. Proceda como a seguir:

(1) Corte o material no tamanho (dando margem para retoques), calcule a tolerância de dobra para um ângulo de 90º e arredonde a borda do bloco para encaixar no raio de dobragem desejado.

(2) Prenda o material nos blocos de moldagem como mostrado na figura 5-36.

(3) Usando um macete macio, comece a bater próximo às extremidades, e vá trabalhando o flange suavemente e gradualmente para evitar rachaduras. Aplaine o flange como descrito no procedimento anterior, apare as bordas e lime, se necessário.

Peças Flangeadas Curvas

Essas peças são geralmente manufaturadas. Dos tipos mostrados na figura 5-37, e que tem furos de alívio é provavelmente o mais fácil de moldar. Ela possui um flange côncavo (o flange interno) e um flange convexo (o flange externo).

O flange côncavo é modelado por alongamento, e o convexo por contração. Tais peças podem ser moldadas com o auxílio de blocos de moldagem de madeira dura ou metal.

Esses blocos são feitos em pares semelhantes aos usados para ângulos retos, e são identificados da mesma maneira.

Eles diferem no fato de serem fabricados especificamente para a peça em questão a ser moldada, mas se encaixam perfeitamente e possuem as mesmas dimensões e contornos da peça final.

As peças de encaixe podem ser equipadas com pinos de alinhamento, para ajustar os blocos e manter o metal no lugar. Os blocos podem ser mantidos no lugar por um grampo "C" ou uma morsa. Eles também podem ser presos por parafusos, furando-se através das formas e do metal, desde que os furos não afetem a resistência da peça final.

As bordas do molde são arredondadas para dar o raio correto de dobragem à peça, e são mais desbastadas para evitar o retorno do metal (springback). Esse desbaste é especialmente necessário se o metal for duro, ou se a dobragem tiver que ser muito precisa.

Observamos os diversos tipos de fôrmas representadas na figura 5-37. Na nervura de aba plana usamos apenas um flange convexo; porém, devido à grande distância ao redor da peça e à possibilidade de empenamento, ela é um pouco mais difícil de moldar.

O flange e a parte com rebordos dão resistência suficiente para fazer desse tipo de nervura um dos melhores.

No tipo com furos de alívio, o flange côncavo dificulta a moldagem; contudo, o flange externo é partido em seções menores por furos de alívio (entalhes inseridos para evitar deformações em uma dobra).

No tipo com frisos e rebordos, notamos que os frisos são inseridos a intervalos idênticos.

Os frisos são feitos para absorver material e causar a curvatura, e também aumentar a resistência da peça.

Na outra nervura de bordo de ataque ilustrada, notamos que foi aplicada uma combinação de quatro métodos comuns de moldagem: o amolgamento, o enrugamento, a aplicação de furos de alívio e a utilização de um ângulo moldado, rebitado em cada extremidade.

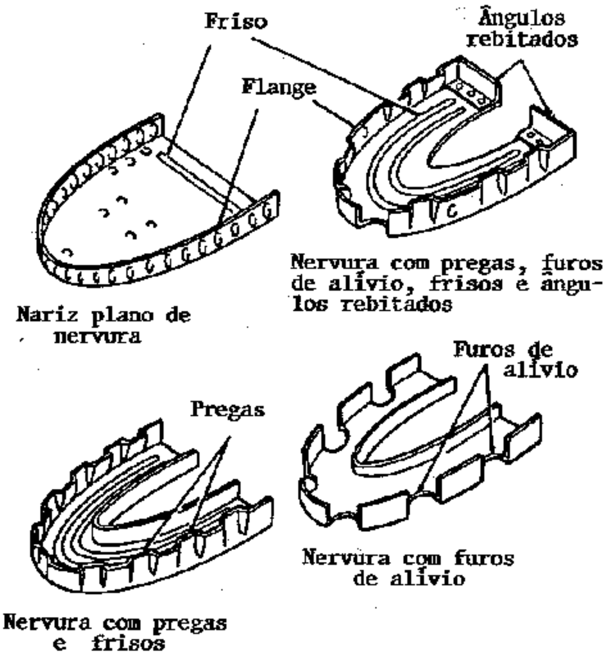

Friso
Ângulos rebitados
Flange
Nervura com pregas, furos de alívio, frisos e ângulos rebitados
Nariz plano de nervura
Furos de alívio
Pregas
Nervura com furos de alívio
Nervura com pregas e frisos

Figura 5-37 Nariz de nervura.

As rugas ou rebordos, e os ângulos, dão rigidez à peça.

Os passos principais na moldagem de um flange curvo, são explicados a seguir:

- Corte o material no tamanho (deixando espaço para aparar) , localize e faça os furos para os pinos de alinhamento, e remova todas as rebarbas (bordas dentadas).

- Ponha o metal entre os blocos de madeira. Prenda os blocos firmemente em uma morsa, de forma que o metal não se mova.
- Prenda o metal tão próximo quanto possível da área a ser martelada, para evitar a deformação dos blocos de moldagem e para evitar que o metal deslize (figura 5-38).

- Dobre o flange na parte côncava. Isso evitará que o metal se parta ou rache quando for alongado. (Caso isso ocorra uma nova peça deverá ser feita).
- Usando um macete macio ou um bloco em cunha de madeira, comece martelando em um ponto próximo ao início da dobra côncava e continue em direção ao centro da dobra. (Esse procedimento permite que algum metal excedente ao longo do flange seja trabalhado na curva, onde ele será necessário).

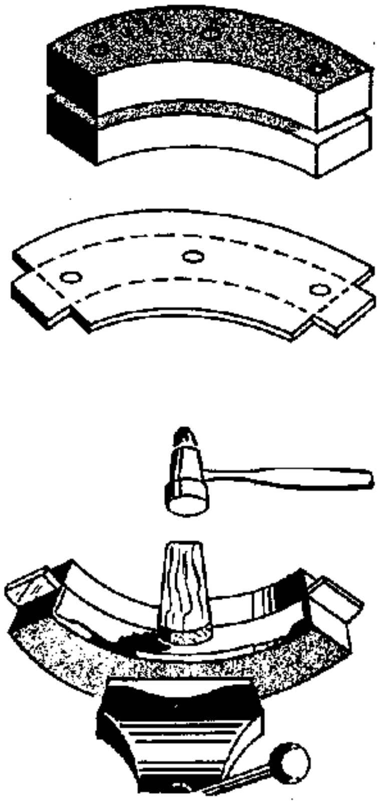


Figura 5-38 Modelando uma curva côncava.

- Continue martelando até que o metal seja gradualmente dobrado em todo o flange, nivelado com a fôrma.

- Começando no centro da curva e martelando em direção às extremidades, martele o flange covexo em direção à fôrma (figura 5-39). Bata o metal em ângulo de aproximadamente 30º em relação à perpendicular e em um movimento que possa a separar a peça do bloco.

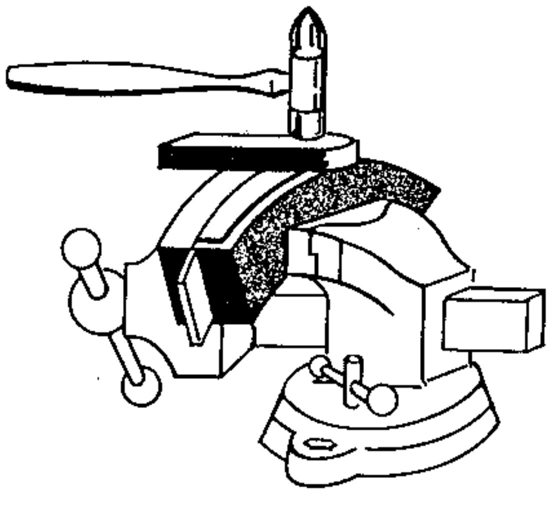


Figura 5-39 Moldando uma curva convexa.

- Alonge o metal ao redor do raio da dobra e remova os empenamentos gradualmente batendo sobre um bloco de calço.

- Enquanto estiver batendo o metal sobre a fôrma, mantenha as bordas do flange tão perpendiculares ao bloco quanto possível. O bloco de calço ajuda a manter a borda do metal perpendicular ao bloco, reduz a possibilidade de empenamentos e de quebra, ou rachamento, do metal, e ajuda a remover o empenamento.

- Finalmente, apare os flanges quanto a excessos de metal, aplaine, remova as rebarbas, arredonde as arestas (se houver), e cheque quanto à exatidão das medidas.

Golpeamento

O golpeamento sobre um bloco de moldagem ou um punção, e o golpeamento sobre um saco de areia, são os dois tipos mais comuns praticados. Em ambos os métodos somente uma fôrma é requerida, um bloco de madeira, matriz de chumbo ou saco de areia. Um bom exemplo de uma peça feita através de bloco ou matriz é o "blister" ou cobertura aerodinâmica. Os filetes da asa constituem um bom exemplo de partes que são geralmente feitas por golpeamento sobre um saco de areia.

A matriz de chumbo, ou o bloco de madeira, desenhados para golpeamento devem possuir as mesmas dimensões e contornos da parte externa do "blister". Para dar maior peso ao golpeamento, e gerar bastante superfície de apoio para fixar o metal, o bloco ou matriz deverá ser pelo menos 1 polegada maior em todas as dimensões.

Na moldagem do bloco de madeira, escavamos com serras, formões, goivas, limas e raspadores.

O acabamento é dado com lixas. O interior da forma é feito tão liso quanto possível, porque qualquer irregularidade, por menor que seja, aparecerá na peça acabada.

Preparemos diversos gabaritos (padrões da seção cruzada), tais como os mostrados junto com o bloco de moldagem para o "blister", na figura 5-40, de maneira que a fôrma possa ser checada quanto à sua precisão.

Moldamos o contorno da fôrma nos pontos 2, 3 e 4.

Moldamos as áreas entre os pontos de checagem dos gabaritos para ficarem de acordo com o contorno remanescente e o gabarito 4.

A moldagem da fôrma requer um cuidado particular, porque quanto mais precisa ela for menos tempo levaremos para produzir uma peça com acabamento liso.

A fixação correta do metal à fôrma é uma parte importante da operação de moldagem. Há muitos métodos. Para peças como o "blister", um dos melhores meios de fixação do metal é a utilização de uma moldura metálica ou uma placa de fixação em aço, como mostrado na figura 5-40.

Neste processo, colocamos a placa de fixação diretamente sobre o metal a ser moldado, e a prendemos na posição com parafusos ou grampos "C".

Apertamos os grampos "C" ou parafusos o bastante para manter o material faceado com a fôrma, porém, sem evitar que o metal se desloque para dentro da fôrma.

Se o metal não ficar bem faceado com a superfície da fôrma, ele dobrará ou empenará. Se ele não puder deslizar para dentro da fôrma, na parte mais funda da fôrma, o metal ficará muito fino.

As placas de fixação devem ser feitas de aço pesado, com 1/8 de polegada para fôrmas pequenas e 1/4 de polegada ou maior para grandes fôrmas.

Caso não haja material para confeccionar a placa de metal, usamos uma moldura de madeira.

A moldura é feita e usada do mesmo jeito que a placa de aço, e nos certificamos que o metal esteja bem fixado.

Podemos usar grampos caso não tivermos uma placa de aço ou uma moldura, de forma que fiquem alinhados com as bordas da fôrma.Se eles não estiverem bem alinhados, o metal irá amassar.

Depois de preparar e checar a fôrma, iniciamos o processo de golpeamento de acordo com os seguintes passos gerais:

(1) Corte uma chapa de metal com 1/2 a 1 polegada a mais que o desenho da peça.

(2) Aplique uma fina camada de óleo fino à fôrma e ao alumínio para evitar o roçamento.

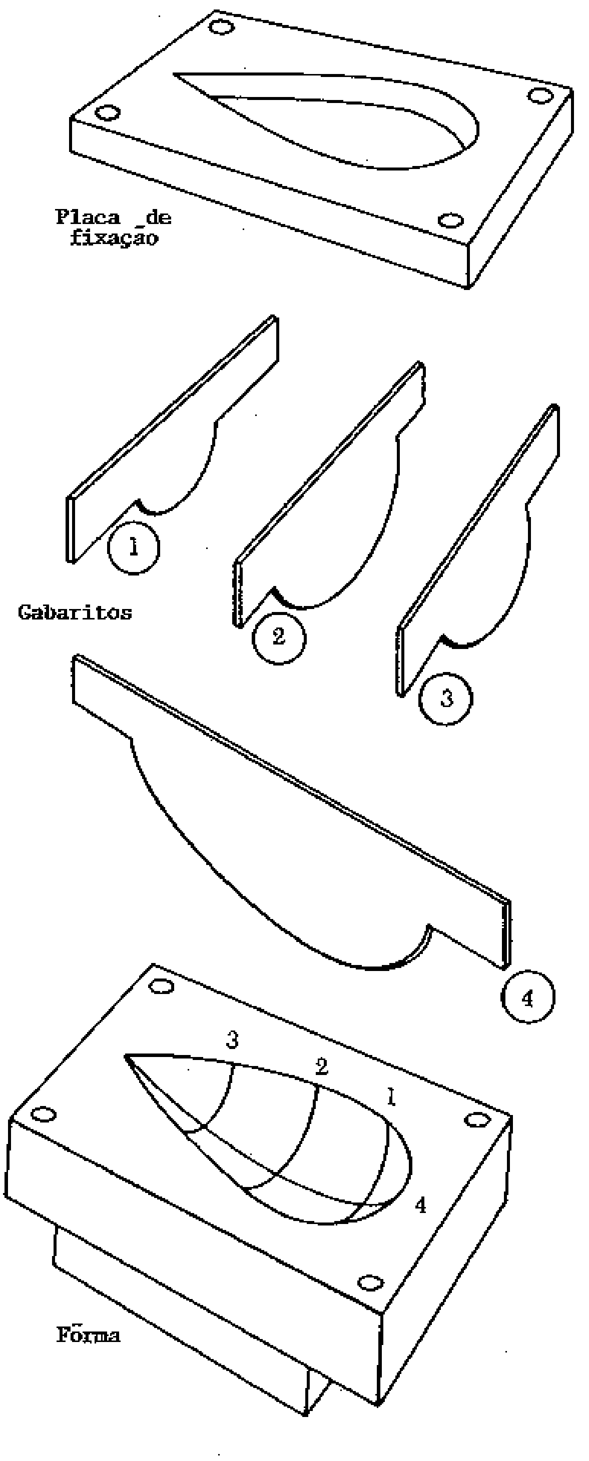


Figura 5-40 Forma e gabaritos.

(3) Prenda o metal entre a fôrma e a placa de aço, como descrito anteriormente, de maneira que fique bem firme, e possa deslizar um pouco para dentro da fôrma.

(4) Prenda a fôrma em uma morsa. Com um macete de cabeça macia ou com um bloco de madeira dura e um macete adequado, comece a bater próximo às bordas da fôrma.

(5) Com suaves pancadas do macete vá trabalhando o metal gradualmente a partir das bordas. Lembre-se que o objetivo do processo é moldar o metal, alongando-o, ao invés de força-lo na fôrma com fortes pancadas. Sempre comece a bater próximo às bordas da fôrma; nunca comece no meio.

(6) Alise a peça o máximo possível antes de removê-la da fôrma. Isso pode ser feito esfregando-se a peça com um bloco de bordo com ponta arredondada, ou com a ponta arredondada de um macete.

(7) Remova o "blister" do bloco de golpeamento e apare-o, deixando um flange de 1/2 polegada.

(8) Finalmente, faça os furos para os rebites, chanfre com as bordas em 45º, limpe e dê polimento na peça.

O golpeamento sobre um saco de areia é um dos processos de moldagem manual mais difíceis, porque não há um molde que sirva como guia.

Neste tipo de operação de moldagem, faz-se uma depressão no saco de areia para tomar a forma da porção martelada do metal. A depressão tem a tendência de se afastar das marteladas. Isso faz com que seja necessário um reajuste de tempos em tempos durante o golpeamento.

O grau de alteração depende muito do contorno ou da forma da peça a ser moldada, e das marteladas que serão dadas para alongar, dirigir ou encolher o metal.

Na moldagem através deste processo, preparamos um gabarito para os contornos, ou algum tipo de padrão para servir como um guia e para assegurar a precisão da peça terminada. O gabarito é feito em papel "kraft" ou similar, e dobrado sobre a peça a ser duplicada.

Cortamos o papel nos pontos onde ele deva ser alongado para encaixar-se, e prendemos pedaços adicionais de papel com fita para cobertura, de cobrir as partes expostas.

Depois de cobrir completamente a peça, recortamos o padrão no tamanho exato.

O papel é aberto e estendido sobre o metal no qual a peça será feita. Apesar do padrão não ficar plano, ele dará uma idéia bem exata do tamanho aproximado do metal a ser cortado, e as partes cortadas indicarão onde o metal deverá ser alongado.

Com o padrão sobre o material riscamos com um lápis, adicionamos pelo menos 1 polegada de metal ao redor de toda a peça durante o corte. O excesso de metal é aparado depois que moldamos a peça.

Caso a peça a ser moldada seja radialmente simétrica, será bem mais fácil, pois um simples gabarito de contorno servirá como guia no trabalho.

Contudo, o procedimento para golpear partes de chapa de metal sobre um saco de areia segue certas regras básicas que podem ser aplicadas a qualquer peça, não importando seu contorno ou forma.

(1) Desenhe e corte o gabarito do contorno. Ele pode ser feito de chapa de metal, papelão ou compensado fino.

(2) Determine a quantidade de metal necessária, desenhe, e corte no tamanho, deixando uma margem de pelo menos 1/2 polegada.

(3) Ponha o saco de areia sobre uma base firme, capaz de suportar as marteladas, e com a ajuda de um macete de cabeça macia, faça uma cova no saco de areia. Analise a peça para determinar o raio correto da cova para a operação de moldagem. A cova mudará devido às marteladas, e deverá ser reajustada periodicamente.

(4) Escolha um macete macio de cabeça arredondada ou em forma de sino, tendo um contorno um pouco menor que o contorno desejado. Segurando uma borda do metal na mão esquerda, coloque a parte a ser martelada próxima à borda da cova no saco de areia.

(5) Continue martelando em direção ao centro, girando o metal e trabalhando gradualmente até que o formato desejado seja obtido. Molde toda a peça como uma unidade.

(6) A intervalos freqüentes, durante o martelamento, cheque a peça quanto à sua precisão, aplicando o gabarito. Se formarem-se rugas, elimine-as antes que elas aumentem.

(7) Finalmente, com uma bigorna adequada e com um martelo, ou com um calço e um martelo, remova pequenos amolgamentos e marcas de martelo.

(8) Com um riscador, marque ao redor do exterior do objeto. Apare as bordas e lime até ficar liso.

Embutimento

Um embutimento é uma saliência formada em uma tira metálica, em ângulo para permitir uma folga para uma chapa ou uma extrução. São geralmente encontrados na intercessão de vigas e nervuras. Um desses membros, geralmente a nervura, tem seu flange embutido para encaixar-se sobre o flange da viga. O tamanho da saliência é geralmente pequeno; por isso, a profundidade do embutimento é geralmente especificada em milésimos de polegada. A espessura do material a ser embutido governa a profundidade do embutimento. Na determinação do comprimento necessário do embutimento, é comum exceder em 1/16 pol para dar a folga suficiente, para assegurar um encaixe entre a peça embutida ou sobreposta.

Há vários métodos de se fazer um embutimento. Se for em um flange reto ou em uma chapa plana de metal, o fazemos em uma viradeira, inserindo e dobrando ao longo da linha do embutimento.

Seguramos um pedaço de metal na espessura correta para dar o afastamento desejado sob a peça a ser dobrada, batemos o flange para baixo enquanto ele estiver fixo na viradeira.

Quando for necessário fazer um embutimento em um flange curvo, podemos usar blocos de moldagem ou matrizes feitos em madeira dura, aço ou liga de alumínio.

Se a matriz for ser usada poucas vezes, devemos fazê-la de madeira dura, que é mais fácil de moldar. Caso sejam necessários diversos embutimentos, utilizamos matrizes de aço ou alumínio.

As matrizes de liga de alumínio são as preferidas por serem mais fáceis de fabricar que as de aço, e durarem tanto quanto estas. Essas matrizes são suficientemente macias e elásticas para permitir a moldagem de peças de liga de alumínio sem se danificar, e mossas e arranhões são facilmente removidos de sua superfície.

Na utilização de matrizes para embutimento pela primeira vez, elas são testadas quanto à precisão em um pedaço de metal. Dessa forma é afastada a possibilidade de estragar peças já fabricadas. Mantemos sempre as superfícies dos blocos livres de sujeira e rebarbas, de forma que o trabalho não seja estragado.

Operações com Aço Inoxidável

Na utilização do aço inoxidável, nos asseguramos que o metal não fique com arranhões irregulares ou danificado. Tomamos precauções especiais durante o cisalhamento, puncionamento ou a furação desse metal. É necessário o dobro da pressão para cisalhar ou puncionar o aço inoxidável e a matriz, ajustados bem próximos. O excesso de folga fará com que o metal exceda as bordas da matriz e endureça, resultando em um esforço excessivo da máquina.

Na furação de aço inoxidável usamos uma broca de alta velocidade retificada em ângulo de 140º.

Algumas brocas especiais possuem um ponto de saliência, enquanto outras possuem um enrolador de cavacos nos canais. Quando utilizamos uma broca comum, esmerilharemos sua ponta para que o ângulo fique bem obtuso. A velocidade da furadeira é mantida na metade necessária para furar aço doce, mas nunca excedendo 750 RPM.

Mantemos uma pressão uniforme em toda a operação. Furamos o material sobre uma placa de apoio, tal como ferro fundido, que é duro o bastante para permitir que a broca fure toda a chapa sem afasta-la do ponto de furacão. Posicionamos a furadeira antes de ligá-la, e fazendo pressão sobre o ponto.

Para evitar o superaquecimento, mergulhamos a broca na água depois de fazer cada furo. Quando for necessário fazer vários furos profundos em aço inoxidável, usamos um refrigerante líquido.

Um composto de 1 libra de enxofre em 1 galão de óleo de banha servirá para o propósito. O refrigerante é aplicado ao material imediatamente após o início da furacão.

As furadeiras manuais de alta velocidade têm a tendência de queimar no ponto de contato; sendo assim, furadeiras manuais de alta velocidade não devem jamais ser usadas devido ao aumento da temperatura. Uma furadeira de coluna ajustável para velocidades menores que 750 RPM é recomendada.

Operações com Magnésio

O magnésio, em estado intrínseco, não possui resistência suficiente para ser usado em partes estruturais; mas como uma liga, possui um elevado índice resistência-peso. Sua resistência não é afetada por temperaturas abaixo de zero, e isso aumenta sua adaptabilidade para uso aeronáutico. A propriedade amagnética das ligas, as valorizam na construção de caixas e peças de instrumentos.

Ao mesmo tempo que as ligas de magnésio podem geralmente ser fabricadas, através de métodos semelhantes aos usados em outros metais, deve-se ter em mente que muitos detalhes das práticas de oficina não se aplicam.

As ligas de magnésio são difíceis de fabricar à temperatura ambiente, por isso operações mais complexas deverão ser feitas a altas temperaturas. Isso requer um pré-aquecimento do metal ou matriz, ou ambos.

Chapas de liga de magnésio podem ser cortadas em tesouras de lâminas, matrizes de estampagem, tupias ou serras. Serras manuais ou circulares são geralmente usadas para cortar extrusões na medida.

Tesouras convencionais e recortadores não devem ser usados para cortar chapas de liga de magnésio, por produzirem bordas ásperas e rachadas.

O cisalhamento e a estampagem das ligas de magnésio requerem uma folga bem pequena da máquina. Uma folga máxima de 3 a 5% da espessura da chapa é recomendada. A lâmina superior da tesoura deve ser retificada em ângulo de 45º a 60º. O ângulo do cisalhamento em um punção deverá ser de 2º a 3º, com uma folga de 1º na matriz. Para a estampagem, o ângulo de cisalhamento na matriz deverá ir de 2º a 3º, com um ângulo de folga de 1º no punção. Sempre que possível utiliza-se uma pressão de retenção.

O cisalhamento a frio não deve ser feito em chapas laminadas com espessura maior que 0,064 pol, ou em chapas temperadas, com espessura maior que 1/8 pol. A raspagem é usada para suavizar as bordas ásperas da chapa de magnésio cisalhado. Essa operação consiste em remover aproximadamente 1/32 da polegada através de um cisalhamento secundário.

O cisalhamento a quente é algumas vezes utilizado para obter um acabamento melhor nas bordas. Isso é necessário para chapas grossas.

Chapa temperada pode ser aquecida até 600º F, porém a chapa laminada deve ser mantida a 400º F, dependendo da liga usada. A expansão térmica torna necessário dar margem para a contração após o resfriamento, o que provoca a adição de pequena quantidade de metal às dimensões frias antes da fabricação.

A serragem é o único método usado no corte de chapas maiores que 1/2 polegada de espessura. Lâminas de serra contínua com passo de 4 a 6 dentes, são recomendadas para o corte de grandes chapas ou extrusões pesadas. Extrusões pequenas ou médias são mais facilmente cortadas em uma serra circular, com 6 dentes por polegada.

Chapas de metal podem ser cortadas com serra de fita, com qualquer tipo de dente, e um passo de 8 dentes. As serras de fita devem ser equipadas com guias anti-centelhamento para eliminar o perigo de incêndio do magnésio.

O trabalho a frio da maioria das ligas de magnésio à temperatura ambiente, é muito limitado, porque elas endurecem muito rapidamente, não servindo para a modelagem a frio.

Algumas operações de dobragem simples podem ser realizadas em chapas, porém o raio da curvatura deverá ser no mínimo sete vezes o valor da espessura da chapa para uma liga macia, e 12 vezes a espessura da chapa para uma liga dura.

Pode-se utilizar um raio de duas ou três vezes a espessura da chapa, caso o material seja pré-aquecido para a moldagem.

As ligas de magnésio usadas tendem a rachar após um trabalho a frio. Por isso, os melhores resultados são obtidos quando o metal é aquecido a 450º F, antes de tentar qualquer operação de moldagem. As peças moldadas em uma faixa mais baixa de temperatura, são mais resistentes, porque a alta temperatura possui o efeito de um recozimento no metal.

Há algumas desvantagens no trabalho a quente. Primeiramente, o aquecimento das fôrmas e do material torna-se caro e trabalhoso. Em segundo lugar, torna-se difícil lubrificar e manusear materiais a essas temperaturas. Contudo, há algumas vantagens em se trabalhar o magnésio a quente, uma vez que ele é mais facilmente moldável a quente que outros metais, apresentando menor retorno (springback), resultando em uma maior precisão dimensional.

Durante o aquecimento do magnésio e suas ligas, devemos verificar atentamente a temperatura uma vez que ele se queima facilmente. O superaquecimento também provoca pequenas poças de fusão dentro do metal. Em ambos os casos, o metal é danificado. Para evitar a queima, o magnésio deve ser protegido por uma atmosfera de dióxido de enxofre durante o aquecimento.

Uma dobragem adequada em um raio pequeno requer a remoção de arestas vivas, e de rebarbas próximo à linha de curvatura. Os riscos no metal devem ser feitos com um lápis de carpinteiro, de ponta macia, uma vez que qualquer dano à superfície poderá provocar rachaduras por fadiga.

É possível aquecer pequenas peças de magnésio com um maçarico, desde que as precauções necessárias sejam tomadas. Deve-se ter em mente que o magnésio entrará em combustão quando for aquecido a uma temperatura próxima ao seu ponto de ebulição, na presença do oxigênio.

Os "brakes" de pressão ou de folha podem ser usados na realização de dobras com pequeno raio. Os métodos por molde ou borracha devem ser usados em dobras em ângulo reto, que complicaram o uso do "brake". A moldagem por laminação pode ser feita a frio, no mesmo equipamento designado para alumínio. O método mais comum de moldar o magnésio é uma operação em que uma base de borracha é usada como fôrma fêmea. Essa base de borracha é mantida dentro de uma panela de aço invertida, que é baixada por um macaco hidráulico. A prensa faz pressão sobre o metal, e dobra-o no formato da fôrma macho.

As características de usinagem das ligas de magnésio são excelentes, sendo possível a utilização, em velocidade máxima, das máquinas de corte pesadas e com alta taxa de alimentação. A energia requerida para a usinagem de ligas de magnésio é aproximadamente um sexto da necessária para usinar o aço doce.

As rebarbas, cavacos e lascas oriundas da usinagem devem ser guardadas em latões tampados devido ao risco de combustão. Em caso de combustão do magnésio, não devemos tentar apaga-lo com água. Recomenda-se o uso de pó seco (bicaRbonato de sódio) como agente extintor para fogo em magnésio.

CÁLCULO DE REBITAGEM

O cálculo da rebitagem consiste na determinação de: (1) do número de rebites necessários; (2) do tamanho e tipo do rebite usado; (3) seu material, têmpera e resistência; (4) o tamanho dos furos; (5) a distância entre os furos e as bordas de um reparo; e (6) o espaçamento entre os rebites sobre o reparo.

Uma vez que as distâncias são medidas em termos do diâmetro do rebite, a aplicação das medidas torna-se simples, pois o diâmetro correto do rebite é determinado.

O tipo de cabeça, o tamanho e a resistência requerida em um rebite são determinados, levando-se em conta fatores como o tipo de forças presentes no ponto rebitado, o tipo e espessura do material a ser rebitado, e a localização da parte rebitada na aeronave.

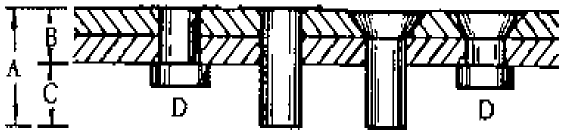
O tipo de cabeça é determinado pela localização na aeronave. Onde se requer uma superfície aerodinâmica lisa, devemos usar rebite de cabeça escareada. Os rebites de cabeça universal podem ser usados na maioria dos lugares. Caso seja necessário um reforço extra, e o espaço permitir, podem ser usados rebites de cabeça redonda; se não houver espaço, pode-se usar rebites de cabeça chata.

O tamanho (ou diâmetro) do corpo do rebite selecionado, corresponde, em geral, à espessura do material a ser rebitado. Se for usado um rebite muito grande em um material muito fino, a força necessária para prender o rebite provocará um abalamento indesejável na cabeça do rebite. Por outro lado, se for escolhido um rebite muito fino para um material grosso o esforço de cisalhamento do rebite não será suficiente para suportar a junta.

Como regra geral, o diâmetro do rebite não deve ser maior que três vezes a espessura da chapa mais grossa. Os rebites mais utilizados no reparo de aeronaves variam de 3/32 da polegada a 3/8 da polegada de diâmetro. Normalmente, rebites menores que 3/32 da polegada nunca são usados em partes estruturais que suportam esforços.

Quando os rebites devem transpassar completamente membros tubulares, selecionamos um diâmetro equivalente a pelo menos 1/8 do diâmetro externo do tubo. Se um tubo está encaixado dentro do outro, tomamos a medida externa do tubo e usamos 1/8 dessa medida como o diâmetro mínimo do rebite. É de bom alvitre sempre calcular o diâmetro mínimo de um rebite e usar o tamanho imediatamente superior.

Na determinação do comprimento total de um rebite, deve-se conhecer as espessuras dos metais a serem unidos. Essa medida é conhecida como o comprimento de pega(letra B da figura 5-41). O comprimento total do rebite (letra A da figura 5-41) deverá ser igual ao comprimento da pega, mais a quantidade de corpo necessária para formar a cabeça de fixação. O tamanho do rebite necessário para formar a cabeça de fixação é 1,5 vezes o diâmetro do corpo do rebite (C da figura 5-41).



A - Comprimento total do rebite
B - Comprimento da pega
C - Material necessário para formar uma cabeça de fixação
D - Rebite corretamente instalado

Figura 5-41 Determinação do comprimento total de um rebite.

Usando a figura 5-41, e as informações acima, a fórmula A=B+C foi desenvolvida. (A, comprimento total; B, comprimento da pega; C, material necessário para formar uma cabeça de fixação.)

A letra D da figura 5-41 apresenta um rebite corretamente instalado. Vejamos cuidadosamente o método usado para medir o comprimento total do rebite, para rebites de cabeça escareada, e com outros tipos de cabeças.

Sempre que possível, os rebites são escolhidos com o mesmo número de liga do material a ser rebitado. Por exemplo, usamos rebites 1100 e 3003 em peças fabricadas com ligas 1100 e 3003, e usamos rebites 2117-T e 2017-T em peças fabricadas com ligas 2017 e 2024.

O rebite 2117-T é geralmente usado em serviços gerais de reparo, uma vez que não requer tratamento térmico, é macio e forte resistente, e principalmente à corrosão quando usado com a maioria dos tipos de ligas.

O rebite 2024-T é o rebite mais forte dos da liga de alumínio, e é utilizado em peças sujeitas a grandes estresses. Contudo, ele deve ser macio na aplicação. Nunca substumos rebites 2024-T por rebites 2117-T.

O tipo de cabeça de rebite a ser selecionado para um serviço em particular, pode ser determinado, observando-se os rebites usados em locais adjacentes, pelo fabricante.

Uma regra geral a ser seguida em uma aeronave que utiliza rebites escareados, é aplicar rebites escareados na superfície superior de asas e estabilizadores, na parte inferior do bordo de ataque antes da longarina, e na fuselagem até o ponto mais alto da asa. Usamos rebites com cabeça universal em todas as outras áreas.

Em geral, tentamos fazer o espaçamento dos rebites em um reparo, de acordo com o utilizado pelo fabricante, na área adjacente ao reparo. Além dessa regra fundamental, não há uma regra que governe o espaçamento de rebites em todos os casos. Contudo, há certos requisitos mínimos que devem ser observados.

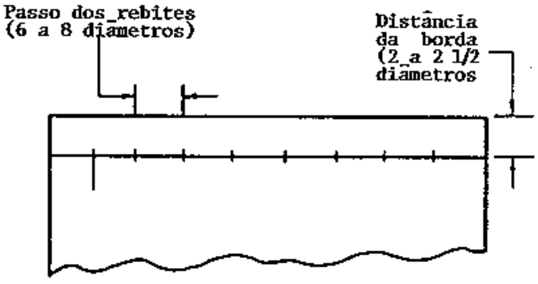
A distância até a borda, ou a distância do centro do primeiro rebite até a borda da chapa, não deve ser menor que duas vezes o diâmetro do rebite, nem maior que quatro vezes. A distância recomendada é aproximadamente 2,5 vezes o diâmetro do rebite.

Se os rebites forem colocados muito próximos da borda da chapa, a chapa poderá rachar ou soltar-se dos rebites; e se eles forem colocados muito afastados da borda, a chapa poderá virar suas bordas para cima.

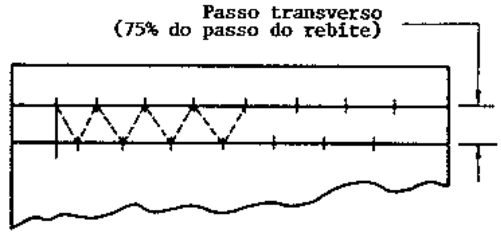
O passo dos rebites é a distância entre os centros dos rebites adjacentes em uma mesma fileira. O menor passo de rebites permissível é igual a três vezes o diâmetro do rebite. A média de passo usada varia de quatro a dez vezes do diâmetro. O passo transversal é a distância perpendicular entre fileiras de rebites; é geralmente igual a 75% do passo do rebite. O menor passo transversal permitido é 2,5 vezes o diâmetro.

Durante o reparo de um tubo danificado em que os rebites o transpassam completamente, distanciamos os rebites de quatro a sete vezes o diâmetro, caso os rebites adjacentes estejam em ângulo reto, e distanciamos de 5 a 7 vezes o diâmetro, caso eles estejam em linha (paralelos). O primeiro rebite de cada lado da junta não deve estar a menos de 2,5 vezes o diâmetro a partir da ponta da luva.

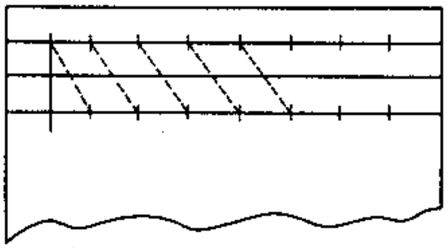
As regras gerais de espaçamento de rebites, como aplicadas a fileiras, são bem simples. Em uma fila única, primeiro determinamos a distância da borda em cada ponta da fila, depois calculamos o passo dos rebites como mostrado na figura 5-42. No cálculo de duas filas, calculamos a primeira fila como já descrito, posicionamos a segunda fila a uma distância igual ao passo transversal a partir da primeira fila, e depois calculamos os pontos dos rebites da segunda fila, de forma que eles fiquem exatamente na metade da distância entre os rebites da primeira fila. No cálculo de três fileiras, calculamos a primeira e a terceira filas, depois determinamos os pontos da segunda fila traçando uma linha reta. (ver figura 5-42).


Passo dos rebites (6 a 8 diâmetros)
Distância da borda (2 a 2 1/2 diâmetros

Exemplo de uma fileira



Exemplo de fileira dupla



Exemplo de fileira tripla

Figura 5-42 Espaçamento de rebites.

INSTALAÇÃO DE REBITES

As várias ferramentas necessárias na instalação e remoção de rebites incluem brocas, escareadores, cortadores, barras de apoio, martelos, puxadores, punções de rebaixamento e outros tipos de escareadores, pistolas de rebitagem e máquinas de rebitagem.

Parafusos auto-fixante, grampos "C" e prendedores são acessórios comumente usados para segurar as chapas durante as rebitagens.

Alguns desses itens foram discutidos anteriormente neste capítulo. Outras ferramentas e equipamentos necessários na instalação de rebites serão discutidos nos próximos parágrafos.

Duplicadores

Quando seções do revestimento são substituídas por novas, os furos da nova chapa devem coincidir com os furos já existentes na estrutura. Esses furos podem ser feitos com um duplicador.

O pino na perna inferior do duplicador encaixa-se no furo existente. O furo na peça nova é feito, perfurando-se através da bucha da perna inferior.

Se o duplicador estiver correto, os furos feitos desta forma estarão perfeitamente alinhados. Deve-se usar um duplicador para cada tamanho de rebite.

Cortadores

No caso de não haver rebites disponíveis no comprimento desejado, podem ser usados cortadores de rebites para reduzí-los ao tamanho desejado.

Durante o uso do cortador rotativo de rebites, inserimos o rebite no orifício correto, colocamos o número requerido de calços sob a cabeça do rebite, e apertamos como se fosse um alicate. A rotação dos discos irá cortar o rebite na medida exata, o que é determinado pela quantidade de calços sob a cabeça.

Na utilização de um cortador grande, o colocamos em uma morsa, inserimos o rebite no orifício correspondente e o cortamos puxando o punho, cisalhando o rebite.

Caso não se disponha de um cortador de rebites pode-se usar um alicate de corte diagonal.

Barras de Apoio

Uma barra de apoio é uma ferramenta que é apoiada contra a extremidade do corpo do rebite, enquanto a cabeça de fixação é amassada.

A maioria das barras de apoio são feitas de ferro, mas as feitas de aço duram mais e requerem menos recondicionamento. São confeccionadas em diversas formas e tamanhos para facilitar a rebitagem em todos os locais possíveis. Alguns tipos de barras de apoio são mostrados na figura 5-43.

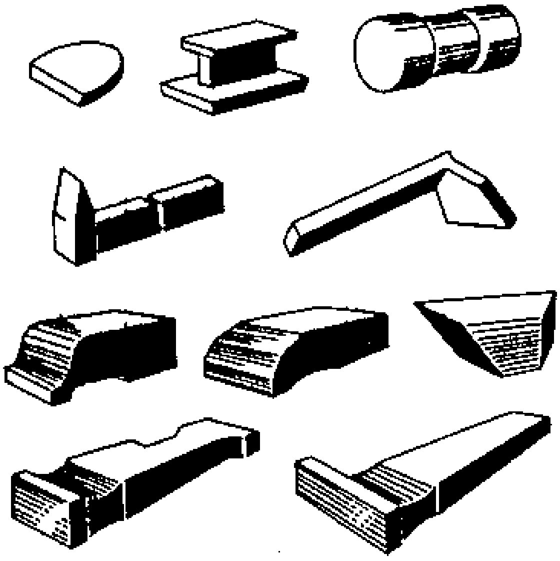


Figura 5-43 Barras de apoio.

As barras devem ser mantidas sempre limpas, lisas e bem polidas. Suas arestas devem ser ligeiramente arredondadas, para evitar danos ao material adjacente à operação de rebitagem.

Aparelhos para Rebitagem Manual e Puxadores Manuais

O aparelho para rebitagem manual, é uma ferramenta equipada com um punção para aplicar um tipo específico de rebite. Há aparelhos para todos os tamanhos e tipos de cabeças de rebite. O aparelho mais comum é feito de aço de carbono de 1/2 polegada de diâmetro por 6 polegada de comprimento, e estriado para evitar escorregar na mão. Somente a face da ferramenta é endurecida e polida.

Ferramentas para rebites de cabeça redonda ou chata (brazier) possuem uma depressão que se encaixa na cabeça do rebite. Na escolha da ferramenta correta, devemos nos assegurar que ela dará a distância adequada entre si e as bordas da cabeça do rebite, e entre si e a superfície do metal.

Ferramentas chatas ou lisas são usadas para rebites chatos e escareados. Para colocarmos rebites escareados adequadamente, verificamos se a ferramenta possui pelo menos 1 polegada de diâmetro.

Puxadores especiais são feitos para eliminar qualquer folga entre duas ou mais chapas antes de colocar o rebite. Cada puxador possui um furo de 1/32 da polegada maior que o diâmetro do corpo do rebite para o qual ele foi feito. Ocasionalmente, o puxador e o batedor de

to. Ocasionalmente, o puxador e o batedor de rebite vêm incorporados no mesmo aparelho.

O cabeçote batedor consiste de uma peça oca para permitir a expansão do corpo do rebite quando ele é batido.

Escareadores

O escareador é uma ferramenta que faz uma depressão em forma de cone ao redor do furo do rebite, para permitir que a cabeça do rebite fique alinhada com a superfície da chapa. O escareamento é feito em diversos ângulos, de acordo com o tipo de cabeça do rebite.

Existem escareadores especiais com batente; eles são ajustáveis a qualquer profundidade desejada, e as lâminas são intercambiáveis, a fim de que escareamentos em diversos ângulos possam ser feitos.

Alguns escareadores com batente possuem um ajuste por micrômetro, em incrementos de 1 milésimo de polegada.

Punções de Rebaixamento

O processo de se realizar um afundamento ou um rebaixamento ao redor da cabeça de um rebite, de forma que seu topo escareado fique no mesmo nível da superfície da chapa rebitada, é chamado de rebaixamento.

O rebaixamento é realizado com um punção macho e um fêmea, ou uma fôrma. O punção macho possui uma guia do tamanho do furo do rebite, onde a guia do punção macho se encaixa, e é chanfrado no mesmo grau de escareamento.

Durante o rebaixamento, o punção fêmea é encostado sobre uma superfície sólida, o material a ser rebaixado depois, é posicionado sobre o punção fêmea.

Inserimos o punção macho no furo a ser rebaixado até que o rebaixamento seja formado.

Duas ou três marteladas devem ser suficientes. Um conjunto de punções é aplicável a cada tipo de rebites e tamanho.

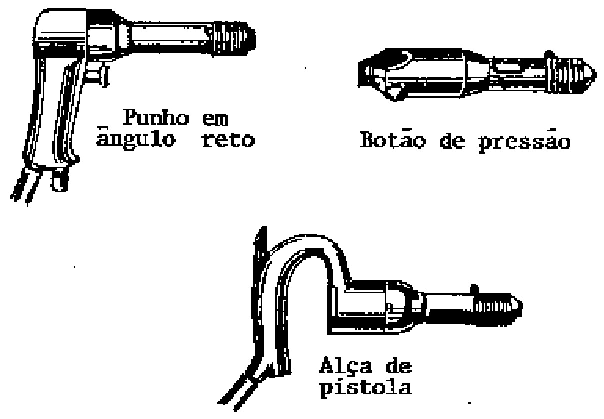
Um método alternativo é usar um rebite de cabeça escareada ao invés do punção macho, e um puxador ao invés do punção fêmea; e martelar o rebite até que o rebaixamento seja formado.

Os punções de rebaixamento para trabalhos leves podem ser usados em marteladas pneumáticas ou manuais. Se os punções forem usados com um martelete, eles deverão obviamente ser ajustados à espessura da chapa a ser rebaixada.

Martelos Pneumáticos

A ferramenta mais comum utilizada no reparo com rebites de fuselagens é o martelo pneumático de baixa velocidade, chamado de pistola de rebite ou martelete.

As pistolas pneumáticas são disponíveis em diversos tamanhos e formas (vide figura 5-44). A capacidade de cada martelete, como recomendado pelo fabricante, vem geralmente estampada no seu corpo. Geralmente operam com pressões de 90 a 100 p.s.i.


Marteletes de golpes lentos (batidas longas)
Punho em ângulo reto
Botão de pressão
Alça de pistola

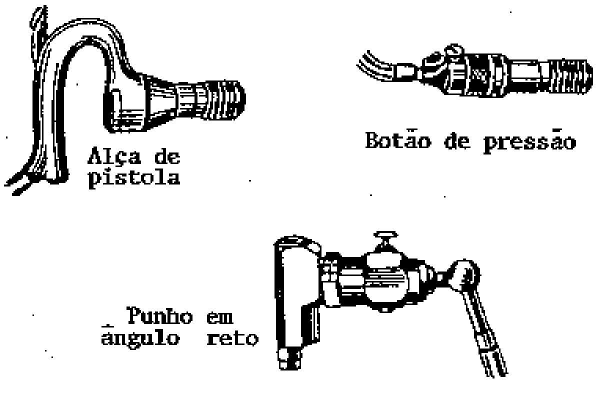

Marteletes de golpes rápidos (leves)
Alça de pistola
Botão de pressão
Punho em ângulo reto

Figura 5-44 Tipos de pistolas pneumáticas.

Os marteletes são usados com conjuntos intercambiáveis para rebites. Cada conjunto é desenhado para adaptar-se ao tipo de rebite usado e à localização do serviço.

O corpo do conjunto é desenhado para encaixar-se no martelete.A força para amassar o rebite é fornecida por um martelo pneumático, embutido no corpo do martelete. (veja figura 5-45).

Os conjuntos são feitos em aço-carbono, com tratamento térmico para dar-lhes maior resistência e durabilidade.

Algumas precauções devem ser observadas durante o uso de um martelete:

1) Nunca apontar um martelete para ninguém. Ele só deve ser usado para um único propósito - amassar rebites.
2) Nunca apertar o gatilho, a menos que o martelete esteja apoiado em um rebite ou um bloco de madeira.

3) Quando não for usar por um longo período, desconectar a mangueira de pressão de ar.

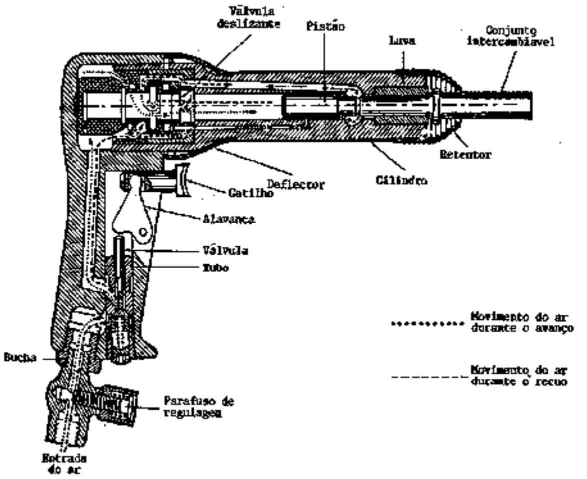

Válvula deslizante
Pistão
Luva
Conjunto intercambiável
Retentor
Deflector
Cilindro
Gatilho
Alavanca
Válvula
Tubo
Movimento do ar durante o avanço
Movimento do ar durante o recuo
Bucha
Parafuso de regulagem
Entrada do ar

Figura 5-45 Nomenclatura dos martelos ou pistolas pneumáticas.

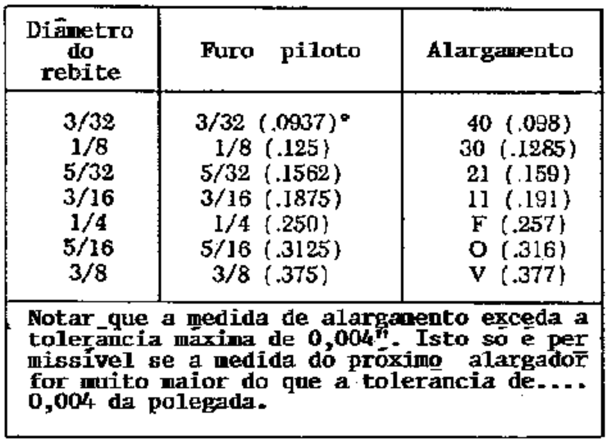
PREPARAÇÃO DOS FUROS PARA REBITAGEM

É muito importante que o furo para rebitagem tenha o tamanho e a forma correta, e esteja livre de rebarbas. Se o furo for pequeno, a camada protetora do rebite será danificada durante sua introdução. Se o furo for muito grande, o rebite não o encherá completamente. Na hora de bater o rebite, a junta não terá bastante resistência, e poderá provocar uma falha estrutural neste ponto.

Caso seja requerido um escareamento, levamos em consideração a espessura do metal, e adotamos o método de escareamento recomendado para aquela espessura. Se for necessário um rebaixamento, limitamos a força das pancadas a um mínimo, de forma que endurecimentos indesejáveis não se formem nesta área.

Furação

Para se fazer um furo do tamanho correto, primeiramente fazemos uma medida menor que o previsto. Isso é chamado, pré-furação, e o furo é chamado é furo piloto. Alargamos o furo piloto com uma broca do tamanho correto para alcançar a dimensão desejada. Os tamanhos das brocas para a pré-furação e o alargamento são mostrados na figura 5-46. A folga recomendada para furos de rebites vai de 0,002 pol 0,004 de polegada.



Diâmetro do rebite	Furo piloto	Alargamento
3/32	3/32 (.0937)*	40 (.098)
1/8	1/8 (.125)	30 (.1285)
5/32	5/32 (.1562)	21 (.159)
3/16	3/16 (.1875)	11 (.191)
1/4	1/4 (.250)	F (.257)
5/16	5/16 (.3125)	O (.316)
3/8	3/8 (.375)	V (.377)

Notar que a medida de alargamento exceda a tolerancia máxima de 0,004". Isto só é permissível se a medida do próximo alargador for muito maior do que a tolerancia de.... 0,004 da polegada.

Figura 5-46 Medida de brocas-piloto e alargadoras.

Na furação de metais duros, a broca deverá possuir um ângulo de 118º e deve ser operada a baixa rotação, porém, para metais macios, usamos uma broca com ângulo de 90º e operamos a alta rotação. Chapas finas de liga de alumínio são furadas com maior precisão usando-se uma broca com ângulo de 118º, uma vez que o ângulo obtuso da broca tem menos tendência a rasgar ou alongar o furo.

Puncionamos o centro do local a ser furado antes de iniciar a furação. Esse puncionamento age como um guia, e permite que a broca penetre no metal com maior facilidade. Fazemos esse puncionamento num tamanho que impeça a broca de deslizar para fora da posição, porém sem amassar o material adjacente. Seguramos em um bloco de madeira dura como apoio bem firme na posição, por trás do lugar do furo, durante a furação.

A furação geralmente é feita usando-se uma furadeira manual ou elétrica. A furadeira é mantida com ambas as mãos para dar maior firmeza; estendemos os dedos indicadores e médio da mão esquerda contra o metal para que ajam como um guia no início do furo, e como freio quando a broca penetra no material.

Antes de começarmos a furar, sempre testamos a broca inserida no mandril, quanto ao alinhamento e fixação, girando a furadeira livremente, e observando a ponta da broca.

Se a ponta oscilar, provavelmente é porque irá rebarbas dentro do mandril, ou então a broca pode estar empenada ou mal fixada no mandril da máquina. Uma broca que oscila não deve ser usada jamais, pois provoca o alargamento dos furos.

A broca é mantida sempre em ângulo reto, em relação ao material a ser furado. Usamos uma furadeira, em ângulo ou extensões, e adaptadores quando o acesso se tornar difícil para uma furadeira comum.

Nunca apoiamos a broca nas laterais do furo durante a furação ou na retirada da broca, pois isso provocará um alongamento no furo.

Durante a furação de chapas de metal, pequenas rebarbas se formam ao redor do furo. Isso é mais comum quando se utiliza uma furadeira manual, uma vez que sua velocidade é lenta e há uma tendência a aplicar maior pressão por revolução.Removemos todas as rebarbas antes de rebitar.

Escareamento e Rebaixamento

O escareamento, quando mal realizado, reduz a resistência da junta, e pode até causar a falha da junta com a degola da cabeça do rebite. Os dois métodos mais comumente usados na construção e reparo de aeronaves, são através de broca e por rebaixamento ou pressão e mameamento.

O método adequado a cada aplicação depende da espessura das chapas a serem rebitadas, da altura e do ângulo da cabeça escareada do rebite, das ferramentas disponíveis e do acesso.

Como regra geral, utilizamos o escareamento por broca quando a espessura do material for maior que a espessura da cabeça do rebite, e usamos o rebaixamento quando isso não ocorrer.

A figura 5-47 ilustra as regras gerais de escareamento. Notamos na figura 5-47A que o material é bem espesso, e que a cabeça do rebite chega apenas até a metade da espessura do material. Na figura 5-47B, a cabeça escareada atravessa toda a espessura da chapa superior.

O escareamento deixará bastante metal para a pega neste caso. Essa condição é permissível mas deve ser evitada

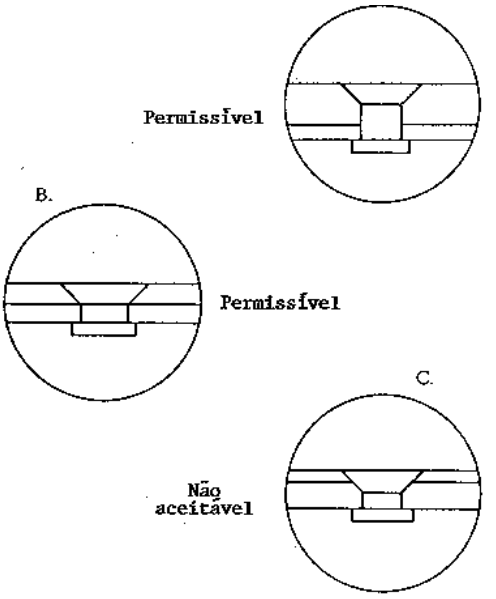


Figura 5-47 Escareamento.

.Na figura 5-47C, a cabeça se estende até a chapa inferior. Isso indica que o material é fino e que a maior parte dele foi removida através do escareamento com broca; neste caso o rebaixamento é preferível. O rebaixamento funcionará bem melhor se o metal não for maior que 0,040 de polegada de espessura.

O escareamento com broca é realizado com uma broca retificada no ângulo desejado. As bordas do furo são desbastadas para que a cabeça do rebite se encaixe de forma justa.

Durante o escareamento com broca, primeiro furamos o buraco original para o rebite no tamanho exato dele, como recomendado na tabela da figura 5-46.

Os limites de extensão da cabeça do rebite, abaixo ou acima da superfície do metal são bem pequenos, 0,006 de polegada na maioria dos casos. Por isso, fazemos o escareamento cuidadosamente, utilizando equipamentos capazes de produzir resultados dentro da tolerância especificada.

A ferramenta para escareamento é mantida com firmeza, em ângulo reto com o material. Sem tombá-la. Qualquer inclinação poderá alongar o escareado e proporcionar um encaixe irregular para a cabeça do rebite. Furos grandes demais, escareamento piloto pequeno demais, trepidações causadas pelo uso incorreto da broca, ou por uma broca cega ou mal alinhada com o mandril da furadeira, são algumas das causas do escareamento alongado.

O escareamento por rebaixamento pode ser realizado utilizando um dos dois métodos, usando punções, ou com rebite e um puxador. Em qualquer dos casos, o metal imediatamente ao redor do furo é pressionado para encaixar-se na cabeça do rebite. A depressão formada, tal como no uso da broca, também é conhecida como "ninho".

O rebite deverá encaixar-se bem junto em seu "ninho" para obter-se a maior resistência. O número de chapas que podem ser rebaixadas simultaneamente é limitado pelo tipo de equipamento usado. O processo de rebaixamento pode ser feito com ferramentas manuais, com punções em um martelete, etc.

Os punções de rebaixamento são produzidos para corresponder a qualquer tamanho e grau de escareamento da cabeça do rebite disponível. Os punções são geralmente numerados, e a correta combinação a ser usada é indicada nas tabelas especificadas pelo fabricante.

Tanto o punção macho como o fêmea são retificados precisamente, e possuem superfícies altamente polidas. O punção macho é cônico como a cabeça do rebite, e possui um pequeno piloto concêntrico que se encaixa no furo do rebite e no punção fêmea. O punção fêmea possui um grau de conicidade correspondente ao escareado em que o punção macho se encaixa.

Durante o rebaixamento de um furo apoiamos o punção fêmea sobre uma superfície sólida, posicionamos a chapa sobre o punção fêmea, inserimos o punção macho no orifício a ser rebaixado. Batemos com um martelo, até que o rebaixamento seja formado.

Em alguns casos, a face do punção macho é convexa para evitar o retorno do metal (springback).

Punções deste tipo são vantajosos quando a chapa a ser rebaixada é curva. Alguns punções possuem a face chata e são principalmente usados em chapas chatas. Os punções de rebaixamento são geralmente feitos de modo a incluírem um ângulo 5º menor que o do rebite. Isso é feito para prevenir o retorno do metal.

No rebaixamento, o furo piloto da fêmea deve ser menor que o diâmetro do rebite a ser usado. Por isso, o furo do rebite deve ser alargado até o diâmetro exato, após o rebaixamento ter sido realizado, de forma que o rebite fique bem encaixado.

Na utilização de um rebite escareado no lugar do punção macho, posicionamos o punção fêmea na posição normal, e usamos uma barra de apoio. Coloque o rebite do tipo requerido no furo é colocado e batido com um martelete pneumático. Só se deve usar este método na falta dos punções normais. Esse método é chamado "cunhagem".

O método alternativo apresenta a desvantagem do furo do rebite ser feito no tamanho correto do rebite, antes da operação de rebaixamento. Uma vez que o metal estica durante o rebaixamento, o furo aumenta, e o rebite precisa ser alargado antes de introduzido para haver um encaixe preciso. Devido às pequenas distorções causadas pela cabeça do rebite na parte escareada, e isso só ocorre neste tipo de rebite, é importante usar o mesmo rebite que foi usado para rebaixamento como macho. Não há substituição por outro rebite, ainda que do mesmo tamanho ou maior.

Rebaixamento Térmico

Esse tipo de rebaixamento consiste de dois processos, o rebaixamento radial e o rebaixamento por cunhagem. A maior diferença entre esses dois processos está na construção do punção fêmea. No rebaixamento radial um punção fêmea maciço é usado. A cunhagem utiliza um punção fêmea com êmbolo deslizante (figura 5-48), o que melhora este processo.

Durante a cunhagem, o metal é forçado contra os contornos dos punções, fazendo com que o rebaixamento assuma a mesma forma da face do punção.

A pressão exercida pelo êmbolo de cunhagem evita a compressão do metal e, assim, assegura uma espessura uniforme das bordas do rebaixamento, e um formato realmente cônico.

A cunhagem oferece diversas vantagens. Ela melhora a configuração do rebaixamento, melhora o perfil aerodinâmico da chapa, elimina possíveis rachaduras radiais ou circunferenciais, assegura uma junta mais forte e segura e permite que punções idênticos sejam aplicados ao revestimento e às partes estruturais.

O material usado é um fator muito importante a ser considerado em qualquer rebaixamento.

Materiais tais como o aço resistente à corrosão, o magnésio e o titânio, apresentam diferentes problemas quanto ao rebaixamento.

A liga de alumínio 2024-T pode ser satisfatoriamente cunhada, tanto a frio como a quente. Contudo, poderão aparecer rachaduras nas vizinhanças do rebaixamento a frio devido a pontos de endurecimento no metal. O rebaixamento a quente elimina tais problemas.

As ligas de alumínio 7075-T6 e 2024-T81 também são cunháveis a quente. As ligas de magnésio devem ser cunhadas a quente, uma vez que, como o 7075-T6, elas possuem pouca maleabilidade. O titânio é outro metal que deve ser rebaixado a quente, por ser muito duro e resistir à moldagem.

A mesma temperatura e o tempo de repouso usados para rebaixar o 7075-T6 são usados para o titânio.

O aço resistente à corrosão é rebaixado a frio, uma vez que a faixa de temperatura da unidade aquecedora não é alta o suficiente para afetar o rebaixamento.

Os punções de rebaixamento com êmbolo de cunhagem são desenhados com diversos recursos embutidos. A face do punção macho é convexa, e a face do punção fêmea é côncava, em um ângulo de 2º no piloto. Isso facilita a remoção do metal após o rebaixamento.

O punção fêmea tem duas partes: (1) o corpo; e (2) o êmbolo de cunhagem, que se estende através do centro do recesso cônico do corpo. Na moldagem de um rebaixamento, o metal é forçado para baixo sobre o punção fêmea, pelo macho. O metal, primeiramente, entra em contato com o êmbolo de cunhagem, e ele suporta o metal a medida que é forçado para baixo no recesso cônico. Quando os dois punções se fecham, até o ponto em que as forças de ambos estejam espremendo o material, o êmbolo de cunhagem força o metal de volta às arestas afiadas dos punções.

No rebaixamento a frio os punções são usados separadamente. No rebaixamento a quente, uma tira ou bloco aquecedor é colocada sobre um ou ambos os punções e conectada à corrente elétrica.

Os punções devem estar sempre limpos e em boas condições. É bom limpá-los sempre com uma esponja de aço. Deve-se ter precauções especiais enquanto os punções estão na máquina.

Caso a máquina seja operada com os punções no lugar, mas sem material entre eles, o macho irá dilatar-se e danificar o êmbolo de cunhagem.

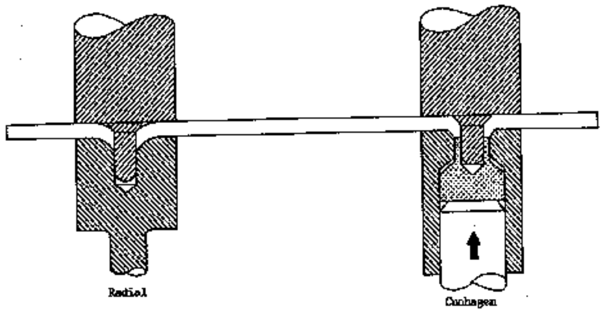


Figura 5-48 Rebaixamento por cunhagem e radial.

Sempre que possível, a cunhagem deve ser feita em um equipamento estacionário, e antes da montagem das peças. Contudo, há muitas ocasiões em que a cunhagem deve ser feita depois que as peças estão montadas em outras estruturas. Em tais casos, elas são feitas através de rebaixadores portáteis.

A maioria dos amassadores pode ser usada tanto no rebaixamento a frio, como a quente, ou combinados com uma caixa de junção para o rebaixamento a quente.

Há alguns locais em que não é possível acomodar os amassadores. Nessas circunstâncias, é necessário utilizar um martelete pneumático e uma barra de apoio para segurar os punções.

A COLOCAÇÃO DE UM REBITE

Os métodos de aplicação de rebites com corpo maciço podem ser classificados em dois tipos, dependendo se o equipamento de rebitagem é portátil ou fixo. Uma vez que o equipamento fixo é raramente utilizado em reparos de fuselagem, somente o equipamento portátil será discutido aqui.

Antes de aplicar qualquer rebite, nos certificamos de que todos os furos estejam perfeitamente alinhados, todas as rebarbas tenham sido removidas, e que todas as partes a serem rebitadas estejam bem unidas.

Geralmente dois mecânicos, um com a pistola e outro com a barra de apoio trabalham juntos na aplicação de rebites. Contudo, em algumas aplicações o rebitador segura a barra de apoio com uma mão e opera o martelete com a outra mão.

Durante a rebitagem em dupla, um sistema de sinais eficiente pode ser desenvolvido para o trabalho em conjunto. O código geralmente consiste em bater a barra de apoio contra o serviço; uma batida pode significar "não ficou bem, bata de novo"; duas batidas podem significar "rebite bom"; três batidas podem significar "rebite ruim, remova e coloque outro"; e assim em diante.

Calço de apoio

A escolha do apoio adequado é um dos fatores mais importante no apoio de rebites. Se a barra não tiver o formato correto, ela deformará a cabeça do rebite; se a barra for muito leve, ela não dará o apoio necessário, e o material poderá entortar; e, se a barra for muito pesada, seu peso junto com a força para amassar o rebite poderão amassá-lo além do necessário.

O peso das barras de apoio variam de algumas onças até 8 ou 10 libras, dependendo da natureza do serviço.

Os pesos recomendados para as barras de apoio usadas nos diversos tamanhos de rebites são apresentados na figura 5-49.

Neste processo, colocamos a placa de fixação diretamente sobre o metal a ser moldado, e a prendemos na posição com parafusos ou grampos "C".

Apertamos os grampos "C" ou parafusos o bastante para manter o material faceado com a fôrma, porém, sem evitar que o metal se desloque para dentro da fôrma. Se o metal não ficar bem faceado com a superfície da fôrma, ele dobrará ou empenará. Se ele não puder deslizar para dentro da fôrma, na parte mais funda da fôrma, o metal ficará muito fino.

Diâmetro do rebite (Em polegadas)	Peso aproximado (Em libras)
3/32	2 to 3
1/8	3 to 4
5/32	3 to 4½
3/16	4 to 5
1/4	5 to 6½

Figura 5-49 Peso recomendado para as barras de apoio.

A face da barra de apoio é sempre mantida em ângulo reto com o corpo do rebite. Caso isto não seja feito, o corpo do rebite entortará logo nas primeiras pancadas do martelete, danificando o material de apoio no lugar, até que o rebite fique completamente assentado.

Se o apoio for removido enquanto o martelete estiver operando, o rebite poderá atravessar o material. Não forçamos o rebite para baixo; deixamos que a barra de apoio vibre em uníssono com o martelete.

Esse processo é chamado de calço coordenado.

O calço coordenado pode ser feito através de pressão e rigidez aplicadas no punho; com a experiência um alto grau de adestramento pode ser obtido.

A falta de vibração adequada, o uso de uma barra de apoio muito leve ou pesada, e a falha em manter a face da barra em ângulo reto ao rebite podem causar rebites defeituosos.

Um rebite torto pode ser corrigido movendo-se rapidamente a barra de apoio ao redor da cabeça do rebite, em uma direção oposta ao entortamento. Essa ação corretiva só pode ser feita enquanto o martelete estiver batendo e o rebite não tiver sido completamente assentado.

Colocação manual

Em alguns casos pode ser necessário assentar um rebite manualmente. Pode-se utilizar dois métodos, dependendo da localização e do acesso do serviço.

Em um método, a cabeça do rebite é introduzida com um conjunto manual e um martelo, e a ponta do corpo é amassada com o auxílio de uma barra de apoio adequada. No outro método, a extremidade do rebite é inserida com um conjunto manual e um martelo, e a cabeça é calçada com um conjunto manual preso por uma morsa ou por uma barra garrafa (uma barra especial com encaixe para o conjunto manual).

Este método é conhecido como rebitagem invertida. É comumente usado em rebitagens manuais, mas não é considerado uma boa prática em rebitagens pneumáticas.

Durante o uso de qualquer dos métodos descritos, o número de pancadas é mantido no mínimo possível. O martelamento excessivo poderá mudar a estrutura cristalina do rebite ou do metal ao seu redor, fazendo com que a junta perca parte da sua resistência.

Devemos manter a barra de apoio, o rebite e o conjunto manual sempre em ângulo de 90º. O mal uso da barra de apoio ou do conjunto resultarão na danificação da cabeça do rebite ou do material, podendo gerar corrosão, enfraquecendo a estrutura da aeronave.

O diâmetro da cabeça amassada deverá ser uma vez e meia o diâmetro original do corpo, e a altura deverá ter a metade do diâmetro do corpo.

Colocação pneumática

O procedimento neste caso é quase idêntico ao processo manual. A preparação da chapa, a seleção dos rebites e a furação são as mesmas.

Na operação manual, contudo, a pressão para o assentamento do rebite é aplicada usando-se um conjunto manual e um martelo.

Na operação pneumática, a pressão é aplicada com um conjunto e um martelete ou pistola pneumática.

Para obter bons resultados numa rebitagem pneumática seguimos estes pontos básicos:

(1) Selecionar o tipo e o tamanho correto do martelete, e selecionar o conjunto correto de acordo com o tamanho do rebite a ser colocado.
Instalar o conjunto firmemente, como mostra a figura 5-50.

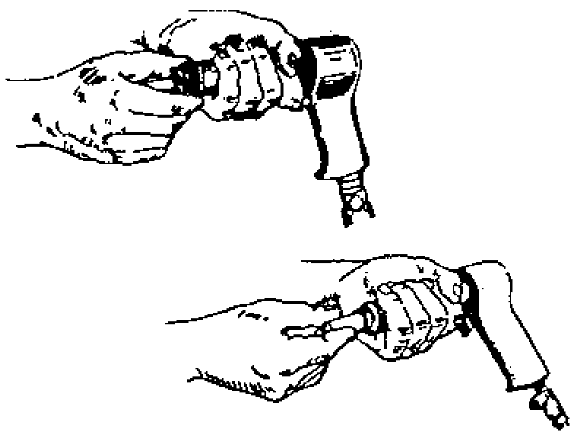


Figura 5-50 Instalando o conjunto do martelete.

(2) Ajustar a velocidade do martelete (vibrações por minuto). Segurar o martelete sempre contra um bloco de madeira antes de apertar o gatilho. Nunca operar o martelete sem uma resistência, pois a vibração poderá partir a mola de retenção lançando o conjunto para longe. Além disso, essa vibração poderá danificar a ponta do martelete.

(3) Manter sempre o conjunto em ângulo reto com o material, para evitar danos à cabeça

do rebite e ao material adjacente como mostra a figura 5-51. Recalcar o rebite com uma batida média do martelete.

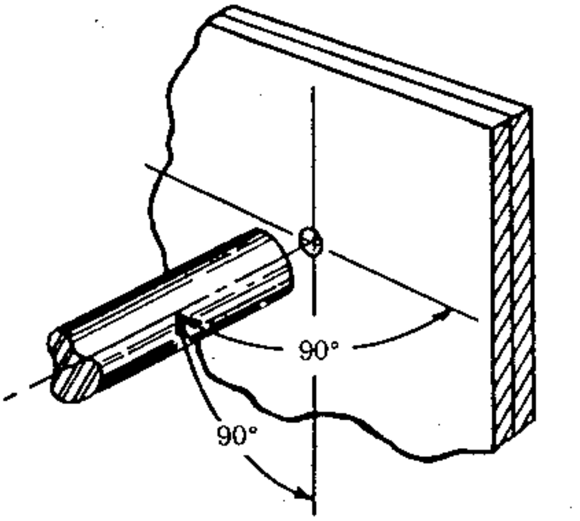


Figura 5-51 Posição do martelete.

(4) Remover a barra de apoio e checar a cabeça amassada do rebite. Ela deverá ter uma vez e meia o diâmetro do corpo em largura e a metade do diâmetro do corpo em altura. Caso o rebite necessite de mais batidas, repetir os procedimentos necessários para terminar o serviço.

Um pequeno pedaço de fita adesiva aplicado ao acoplador da ponta do conjunto, geralmente resolve pequenos problemas de acoplamento com a cabeça do rebite, que podem vir a gerar problemas na formação da cabeça do rebite.

Rebitagem por pressão

O método de pressão produz o tipo mais uniforme e balanceado de amassamento de rebites. Cada rebite é assentado em uma única operação - todos os rebites são amassados com a mesma pressão - todas as cabeças tem o mesmo aspecto e cada corpo de rebite é suficientemente e uniformemente expandido para preencher completamente cada furo.

Os rebitadores de pressão vêm equipados com pares de terminais, cada par desenhado para um serviço particular.

Após a escolha dos terminais e do ajuste da máquina, para uma aplicação em particular, todos os rebites serão assentados uniformemente, provendo um método eficiente de rebitagem.

As prensas portáteis são particularmente adequadas à rebitagem de grandes conjuntos, onde a ferramenta deve deslocar-se em relação ao serviço. As prensas não são muito pesadas e podem facilmente ser operadas por uma pessoa.

A preparação do material é o mesmo utilizado na rebitagem manual ou pneumática. Para obtemos melhores resultados no uso da prensa, observamos algumas regras:

(1) Selecionar e instalar os terminais cuidadosamente de acordo com o tipo de rebite usado.

(2) Ajustar a pressão do cilindro da prensa de acordo com o diâmetro do rebite utilizado. A maioria das prensas possuem uma válvula que regula a pressão do cilindro. Essa válvula controla a quantidade de ar admitida pelo cilindro.

(3) Regular a folga da prensa de acordo com o comprimento do rebite utilizado. Algumas prensas são equipadas com um regulador de folga, que controla o esforço do êmbolo da forquilha em "C", ou com o movimento do mordente móvel de uma forquilha tipo jacaré. Em prensas não equipadas com um regulador de folga, a folga pode ser ajustada inserindo-se calços de metal entre ambos os mordentes, ou usando-se terminais de comprimentos diferentes. Em alguns tipos de prensas, o terminal do mordente fixo é mantido no lugar por um parafuso Allen, que permite a regulagem da folga.

(4) Antes de utilizar a prensa, testar a pressão do cilindro e a folga, quanto à precisão dos ajustes em um pedaço de chapa. Essa chapa deverá ter a mesma espessura do material original, e os rebites deverão ter os mesmos comprimento e diâmetro.

(5) Caso as partes a serem rebitadas sejam pequenas e facilmente manuseáveis, montar a prensa em uma morsa ou em um grampo especial, e segurar a parte a ser rebitada com a mão.

Microrraspador

Algumas vezes é necessário utilizar um microrraspador durante um reparo, envolvendo o uso de rebites de cabeça escareada. Caso a suavidade do material (tal como o revestimento) requeira que se usem apenas rebites escareados dentro de uma tolerância específica, usa-se um microrraspador.

Essa ferramenta possui um cortador batente e duas extremidades, ou estabilizadores, como mostra a figura 5-52.

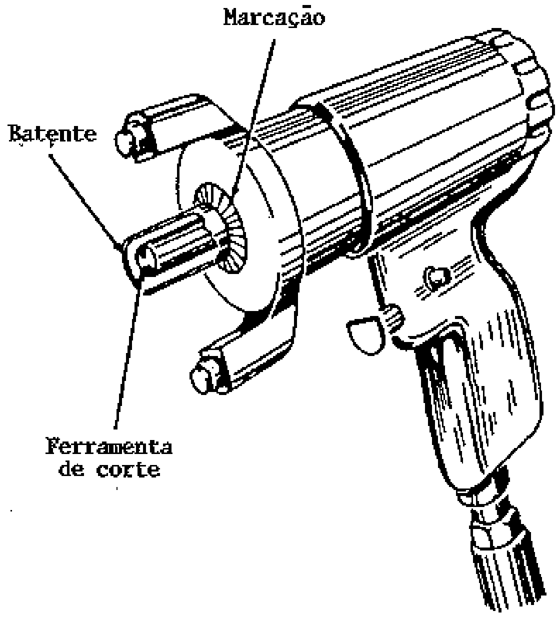


Figura 5-52 Microrraspador.

A peça cortante do microrraspador é localizada dentro do batente. A profundidade do corte pode ser ajustada puxando-se para fora o batente, e girando-o em um dos sentidos (no sentido dos ponteiros de um relógio para cortes mais profundos). As marcas no batente permitem ajustes de 0,001 polegada.

Caso o microrraspador seja ajustado e segurado corretamente, ele cortará a cabeça de um rebite escareado em 0,002 polegada sem tocar no material adjacente. Os ajustes devem sempre ser feitos em restos de metais. Quando corretamente ajustados, o microrraspador fará um pequeno furo redondo, mais ou menos do tamanho da cabeça de um alfinete, sobre um rebite raspado.

FALHAS DE REBITES

De forma geral, o desenho das juntas rebitadas é baseado na teoria de que a resistência total da junta é simplesmente a soma das resistências parciais de todo o grupo de rebites. Sendo assim, fica óbvio que, se um rebite falhar, sua carga é imediatamente suportada pelos outros do grupo; caso eles sejam incapazes de suportar esse esforço extra, ocorre uma falha progressiva da junta.

As concentrações de estresse geralmente provocam a falha de um rebite primeiro; e uma análise cuidadosa desse rebite irá indicar que ele foi sobrecarregado, com a possibilidade de que os rebites vizinhos tenham falhado parcialmente.

Cisalhamento

O cisalhamento é, talvez, a falha mais comum em rebites. Consiste na quebra do corpo do rebite devido a forças atuando ao longo do avião sobre duas chapas adjacentes, causando um deslizamento que pode degolar os rebites. Se a carga exceder o ponto de ruptura do material e permanecer sobrecarregando o rebite, haverá um movimento permanente entre as chapas, e o corpo do rebite pode ficar trabalhado.

Falha de apoio

Se o rebite for excessivamente resistente ao cisalhamento, ocorre uma falha de apoio na chapa, nas bordas do furo do rebite. A aplicação de rebites grandes em chapas finas gera esse tipo de problema.

Neste caso, a chapa apresenta uma compressão ou empenamento local, e o empenamento destrói a rigidez da junta. As vibrações, geradas pela operação do motor ou pelas correntes de ar em vôo, podem fazer com que a parte empenada oscile, e que o material se parta próximo à cabeça do rebite.

Se ocorrer um empenamento na extremidade de uma chapa, provocará um rasgo no revestimento. Em ambos os casos, torna-se necessária a substituição da chapa.

Falha da cabeça

Poderá ocorrer uma falha da cabeça do rebite devido a cargas complexas que ocorrem em uma junta, causando estresses de tensão que são aplicados à cabeça do rebite.

A cabeça pode falhar por cisalhamento na área correspondente ao corpo do rebite, ou, em chapas mais finas, ela pode falhar através de uma ação de alavanca que provoca a falha da cabeça do rebite. Qualquer distorção visível na cabeça de um rebite é motivo para substituição.

Este último tipo de falha da cabeça é especialmente comum em rebites cegos.

Inspeção de rebites

Para obtermos uma elevada eficiência estrutural na construção e manutenção de aeronaves, devemos inspecionar todos os rebites antes que a parte seja utilizada em serviço. Essa inspeção consiste no exame das duas cabeças do rebite e da estrutura adjacente quanto a deformidades.

Uma régua ou medidor de rebites podem ser usados para checar as condições de fixação da cabeça do rebite, para verificar sua conformidade com os requisitos. Deformidades na cabeça original podem ser detectados a olho nú, com um pouco de treinamento. Contudo, em rebites escareados, podemos usar uma régua plana, como mostra a figura 5-53.

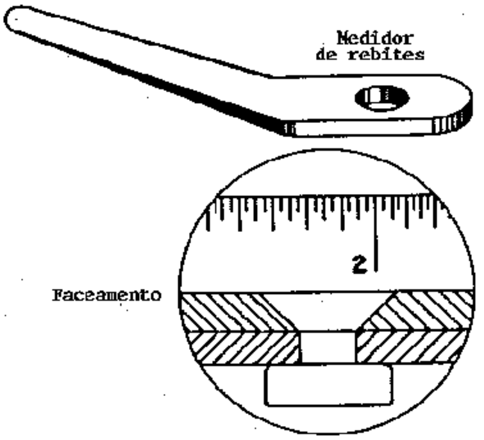


Figura 5-53 Ferramentas para medir rebitagem.

Algumas causas de rebitagem deficiente são: apoio incorreto, escorregamento do conjunto ou um ângulo errado de aplicação, e rebites e/ou furos no tamanho errado.

Causas adicionais de uma rebitagem insatisfatória são: rebites escareados desnivelados com a superfície da chapa; chapa mal fixada durante a rebitagem; presença de rebarbas, rebites muito duros, força de mais ou de menos; e rebites fora do alinhamento.

Ocasionalmente, durante um reparo estrutural de uma aeronave, é bom examinar as partes adjacentes para verificar a condição dos rebites. Fazendo isso, pode ser necessário remover a tinta. A presença de tinta rachada ou trincada ao redor da cabeça de rebites pode indicar rebites trabalhando ou soltos. Devemos procurar por rebites com a cabeça trincada ou sem cabeça. Se as cabeças estiverem viradas ou se os rebites estiverem soltos, eles aparecerão em grupos de rebites consecutivos e provavelmente estarão virados na mesma direção. Se as cabeças que parecerem viradas não estiverem em grupo, nem na mesma direção, provavelmente esse giro ocorreu durante a instalação do rebite.

Inspecionamos os rebites expostos a cargas críticas, mas que não mostrem distorções visíveis, desbastanto a cabeça com uma broca e empurrando o rebite para fora do seu alojamento.

Se, no exame, o rebite parece trabalhar e os furos na chapa parecem estar desalinhados, o rebite falhou por cisalhamento. Neste caso, tentamos descobrir o que está provocando o estresse de cisalhamento e tomamos a providência necessária. Rebites escareados que apresentem sinais de deslizamento dentro da depressão, indicando tanto uma falha de apoio ou falha por cisalhamento, devem ser removidos para inspeção e substituição.

Estriamentos nos corpos de rebites removidos, indicam falha parcial por cisalhamento. Substituímos esses rebites pelo tamanho imediatamente maior.

Ainda, se os furos de rebites apresentarem alongamento, os substituímos pelo tamanho imediatamente superior. Falhas na chapa (tais como rasgos, rachaduras entre rebites, e etc.) geralmente indicam rebites danificados, e um reparo completo na junta pode requerer a substituição de rebites menores por maiores.

A prática geral de substituição de rebites por um tamanho superior (1/32 da polegada maior em diâmetro) é necessária para obtermos a resistência adequada na junta da chapa e do rebite quando o furo alongado for substituído por um rebite do mesmo tamanho. Sua habilidade de suportar parte da carga de cisalhamento é reduzida, resultando no enfraquecimento da junta.

REMOÇÃO DE REBITES

Na remoção de um rebite para substituição, temos todo o cuidado para que o furo do rebite mantenha seu tamanho e forma original, de forma que não seja necessário usar um rebite maior. Se o rebite não for adequadamente removido, a resistência da junta ficará comprometida, tornando a substituição do rebite ainda mais difícil.

Durante a remoção agimos na cabeça fabricada e não na amassada. Ela é mais simétrica em relação ao corpo do rebite, e haverá menor chance de danificar o furo do rebite ou o material adjacente.

Para remover os rebites, usamos ferramentas manuais, uma furadeira elétrica ou uma combinação de ambas. O melhor método é desbastar com uma broca a cabeça do rebite e bater o resto do rebite com um punção.

Primeiro, limamos a cabeça para que ela fique plana, e então a marcamos com um punção para furá-la. Em chapa fina, calcamos o rebite por trás durante o puncionamento para evitar o amassamento da chapa. O rebaixamento nos rebites 2117-T geralmente elimina a necessidade de limagem e puncionamento da cabeça do rebite.

Escolhemos uma broca, uma medida menor que o corpo do rebite, e desbastamos a cabeça deste. Quando usarmos uma furadeira elétrica, apoiamos a broca sobre o rebite e giramos o mandril diversas voltas, normalmente antes de ligar a furadeira. Esse procedimento ajuda a cortar um ponto de partida e elimina a chance de deslizamento da broca riscando a chapa. Furamos o rebite até a profundidade de sua cabeça, em ângulo de 90º. Não há necessidade de furar muito fundo pois o corpo do rebite pode girar com a broca e causar danos.

A cabeça do rebite se partirá e subirá para a broca, o que é um bom sinal para afastar esta. Se a cabeça do rebite não soltar, insirimos um punção fino no furo, e torcemos um pouco para ambos os lados até que a cabeça solte.

Retiramos o corpo do rebite com um punção de diâmetro menor que o normal. Em metais finos ou em estruturas sem suporte, apoiamos a chapa em uma barra de apoio, enquanto retiramos o rebite. Se o rebite estiver muito difícil de sair, mesmo depois de retirada a cabeça, o desbastamos aproximadamente dois terços do corpo, e depois batemos com um punção.

O procedimento para a remoção de rebites escareados é o mesmo já descrito, com exceção da limagem que não é necessária. Devemos ter muito cuidado para não alargar o furo. A cabeça do rebite deve ser desbastada até a metade da espessura da chapa externa.

REBITES ESPECIAIS

Há muitos lugares em uma aeronave onde o acesso a ambos os lados de uma estrutura rebitada ou parte estrutural é impossível, ou onde o espaço limitado não permite o uso de uma barra de apoio.

Além disso, na fixação de muitas partes não estruturais, tais como acabamentos de interior, pisos, polainas de degêlo e etc., a grande resistência de rebites maciços não é necessária.

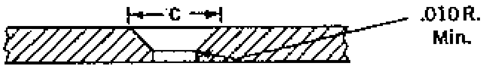
Em tais aplicações, foram desenhados rebites especiais que podem ser assentados apenas pela frente.

Eles, às vezes, são mais leves que os rebites maciços e, ainda assim, são bastante fortes para o uso desejado. Esses rebites são fabricados por muitas empresas e possuem características únicas que requerem ferramentas de instalação especiais e procedimentos de instalação e remoção, também especiais. Por serem utilizados em locais onde uma das cabeças não pode ser vista (geralmente a amassada), eles também são conhecidos como rebites cegos.

Os vários tipos de rebites expandidos mecanicamente, sua fabricação, composição, usos, seleção e identificação, foram discutidos no Capítulo 6, Materiais de Aviação e Processos, no livro de Generalidades. As técnicas de instalação serão abrangidas nesta seção.

CHERRYLOCK			
Diâm. rebite	Broca	Mínimo	Máximo
3/32	#40	.097	.100
1/8	#30	.129	.132
5/32	#20	.160	.164
3/16	#10	.192	.196
1/4	F	.256	.261
Cherrylock com bulbo			
1/8	#27	.143	.146
5/32	#16	.176	.180
3/16	#5	.205	.209

Dimensões de escareamento



	Cabeça 100° MS 20426		Cabeça 100° NAS1097		Cabeça 90° Uni-sink	
Diâm. rebite	C Max.	C Min.	C Max.	C Min.	C Max.	C Min
3/32	.182	.176	—	—	—	—
1/8	.228	.222	.195	.189	.173	.167
5/32	.289	.283	.246	.240	.216	.210
3/16	.356	.350	.302	.296	.258	.252
1/4	.479	.473	.395	.389	—	—

Figura 5-54 Dados para instalação de rebites "Cherrylock".

Ferramentas para instalação

As ferramentas usadas na instalação de rebites auto travantes dependem do fabricante do rebite a ser usado.

Cada fabricante desenhou ferramentas especiais, que devem ser sempre usadas para assegurar resultados satisfatórios com seu produto.

Há, tanto ferramentas manuais como pneumáticas disponíveis. Após a seleção ou determinação do rebite a ser usado em uma instalação, devemos determinar o tamanho de broca adequado.

Geralmente os fabricantes recomendam os seguintes tamanhos de brocas de acabamento para os diâmetros mais comuns (figura 5-54).

Tomamos cuidado ao furar o metal. Seguramos a furadeira em ângulo reto com a chapa para não alongar o furo.

O rebite cego não se expande tanto quanto um rebite maciço. Se o furo for muito largo ou alongado, o rebite não encherá adequadamente o furo realizado.

Podemos usar furadeiras comuns manuais, elétricas ou pneumáticas para fazer os furos. Alguns fabricantes recomendam uma pré-furação, outros não.

O equipamento usado para puxar a haste do rebite, dependerá do fabricante do rebite. Há máquinas tanto manuais como operadas a motor para esse propósito.

A nomenclatura das diversas ferramentas e conjuntos disponíveis dependerá de cada fabricante.

A utilização dos equipamentos é basicamente a mesma. Tanto faz que o equipamento seja chamado ferramenta manual ou pneumática, pistola manual ou pneumática (figura 5-55) pois todas são utilizadas com um único objetivo, a instalação correta de um rebite.

A escolha das ferramentas de instalação é influenciada por diversos fatores: a quantidade dos rebites a serem instalados, a disponibilidade de ar comprimido, a facilidade de acesso, o tamanho e tipo de rebite a ser instalado.

Além da máquina de rebitar, é necessário escolher o puxador adequado para completar a instalação.

A escolha do puxador adequado é de importância primordial, uma vez que ele compensa as variações de estilo e diâmetro de cabeça dos rebites.

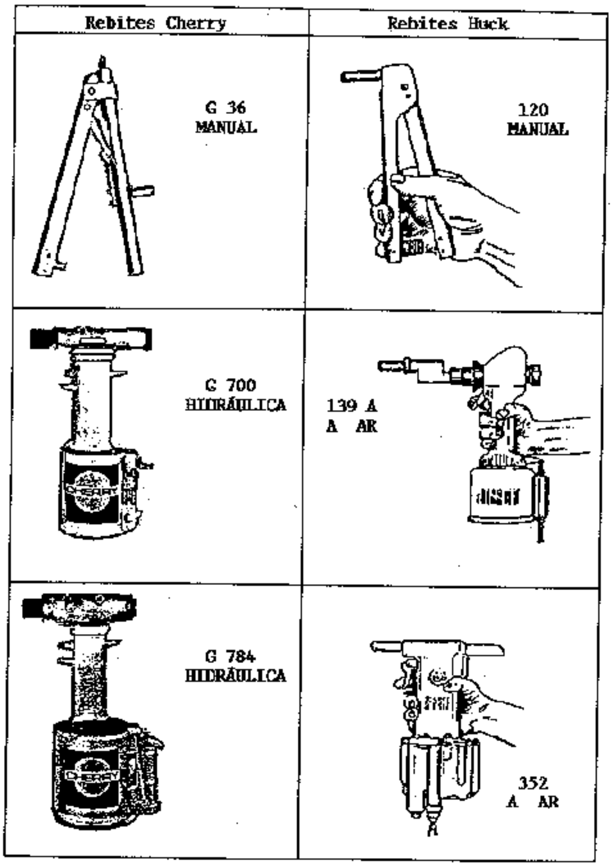


Figura 5-55 Ferramentas para instalação de rebites auto-travantes (trava por fricção).

Pelo fato da nossa escolha depender dos rebites a serem instalados, consultamos a literatura do fabricante aplicável.

REBITES AUTO TRAVANTES (TRAVA POR FRICÇÃO)

Os rebites autotravantes são fabricados em dois estilos mais comuns: (1) Uma cabeça protuberante semelhante ao AN470 ou cabeça universal, e (2) uma cabeça escareada em 100º.

Há outros estilos disponíveis em alguns fabricantes.

A haste do rebite autotravante pode possuir um nó ou botão em sua parte superior, ou ele pode ter uma parte serrilhada como mostrado na figura 5-56.

A seqüência de passos a serem seguidos na instalação de rebites auto travantes é basicamente, a mesma usada para rebites maciços, porém, os métodos e equipamentos variam. Os seguintes passos são típicos para qualquer instalação:

(1) Selecionar o rebite a ser instalado - determinado pela espessura do material a ser rebitado, pela resistência desejada no conjunto, e pela localização da instalação (cabeça protuberante ou escareada).

(2) Fazer o(s) furo(s) - determinar o tamanho da broca a ser usada, não alongar o furo do rebite, remover as rebarbas e usar um batente, se necessário.

(3) Instalar o rebite - certificar-se de que a cabeça do rebite esteja bem apoiada, posicionar a ferramenta selecionada sobre a haste do rebite, puxá-la até que a haste arrebente, aplicar aproximadamente 15 libras de pressão à extremidade da haste, e limá-la na cabeça do rebite. Se a forma aerodinâmica for um fator importante, a haste poderá ser raspada com um raspador de rebites adequado.

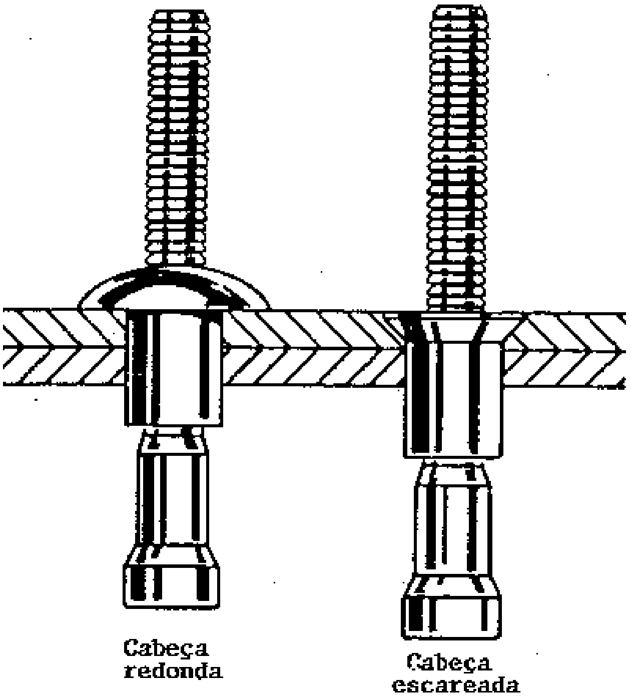


Figura 5-56 Rebites de auto-cravação (travados por atrito).

Inspeção

A inspeção de rebites autotravantes é muito limitada. Geralmente a única inspeção que pode ser feita é na cabeça do rebite.

Ele deve estar bem encaixado no metal. A haste do rebite deve ser aparada próximo à superfície de sua (do rebite) cabeça, seja ela protuberante ou escareada.

Se pudemos ver a cabeça amassada por dentro do rebite, o inspecionamos quanto aos requisitos ilustrados na figura 5-57.

Quando a cabeça do rebite é considerada insatisfatória, removemos o rebite e instalamos outro em seu lugar.

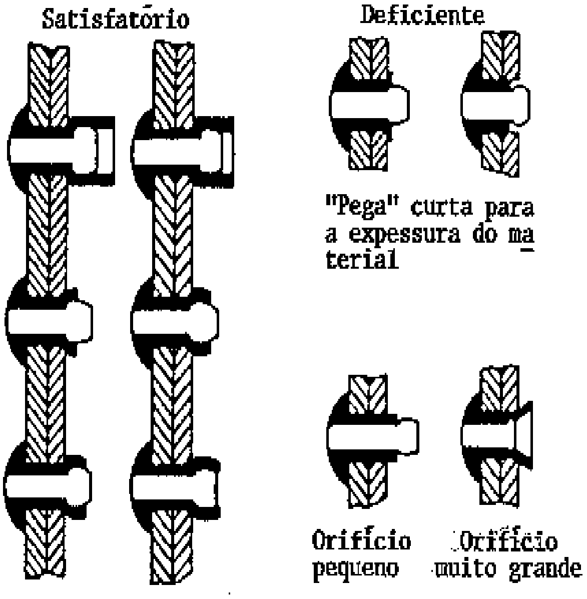


Figura 5-57 Inspeção de rebites de auto-cravação (travados por atrito).

Remoção

Os rebites autotravantes são removidos da mesma maneira que os rebites maciços, exceto ao passo preliminar de se extrair a haste (figura 5-58). Os seguintes passos devem ser usados na seqüência adequada:

1) Extrair a haste do rebite com um punção toca-pinos.

2) Desbastar a cabeça do rebite com uma broca do mesmo tamanho que o corpo do rebite.

3) Retirar a cabeça do rebite com um punção.

4) Empurrar o resto do corpo do rebite com um punção. Se o rebite não sair, desbastá-lo com uma broca, tomando o cuidado de não aumentar o furo no material.

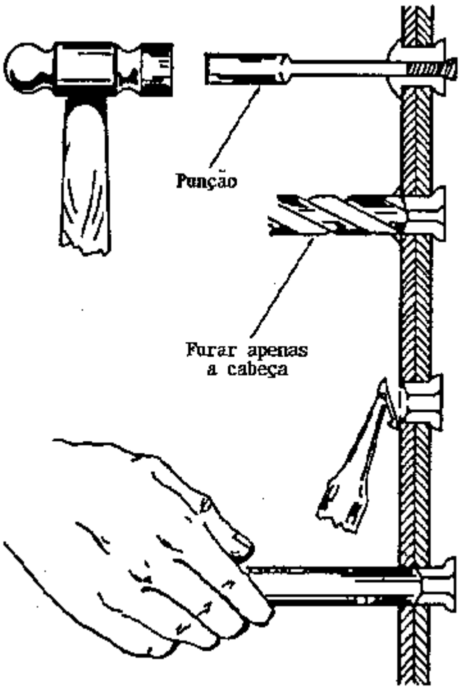


Figura 5-58 Remoção de rebites de autocravação (travados por atrito).

REBITES AUTO TRAVANTES (TRAVA MECÂNICA)

Esses rebites são semelhantes aos de trava por fricção, exceto quanto à maneira pela qual se fixam no material.

Esse tipo de rebite possui um colar de travamento mecânico positivo, resistente a vibrações que poderiam causar a falha de rebites de trava por fricção (figura 5-59).

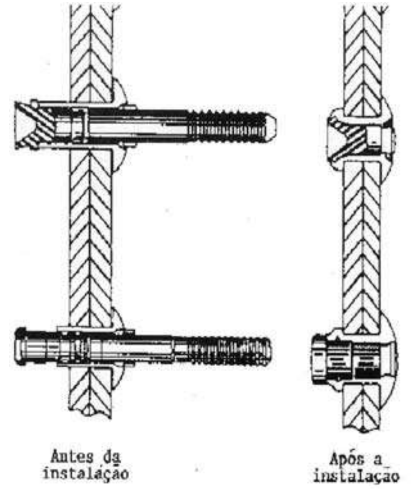


Figura 5-59 Rebites auto travantes (trava mecânica).

O rebite de trava mecânica sempre arrebenta sua haste alinhado com a superfície da cabeça e geralmente não requer uma limagem ou raspagem posterior, quando adequadamente instalados. Os rebites autotravantes por trava mecânica possuem as mesmas qualidades de resistência dos rebites maciços e, na maioria dos casos, podem substituir rebite a rebite.

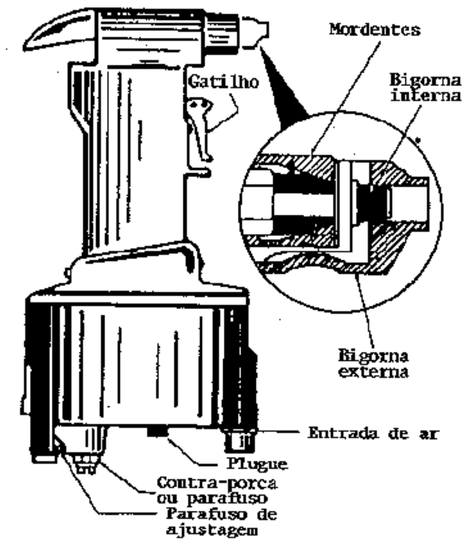


Figura 5-60 Ferramenta para rebites Huck, modelo CP350.

Rebite "Huck"

Os rebites autotravantes por trava mecânica requerem ferramentas especiais. É melhor usar ferramentas feitas pelo fabricante que produziu o rebite.

O rebite Huck CKL é instalado usando-se a ferramenta para rebite cego CP350. A ponta da ferramenta inclui: (1) Um conjunto de mordentes que se encaixam ao serrilhado da haste e puxam-na através do corpo do rebite para assentá-lo; (2) Uma bigorna externa que se apoia contra a parte externa da cabeça do rebite durante a instalação; e (3) uma bigorna interna que avança automaticamente para colocar o colar do travamento na posição depois de formar a cabeça cega (figura 5-60).

Uma mudança do diâmetro do rebite requer a mudança dos mordentes da bigorna externa e do mancal de força interno, e um ajuste da pressão de operação.

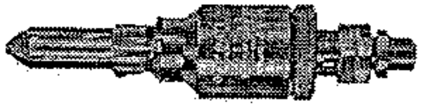
Os procedimentos de ajuste são especificados pelo fabricante.

Rebites "Cherrylock"

Os rebites Cherrylock são instalados através de ferramenta hidráulica ou mecânica. O sistema hidráulico possui um desenho moderno, e quando disponível deve ser usado em vez do sistema mecânico.

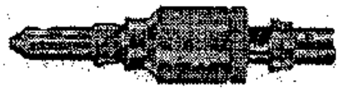
Ferramenta mecânica para Cherrylock

A maioria dos rebitadores para Cherry, tanto manuais como a motor, podem ser usados para instalar rebites Cherrylock quando equipados com a cabeça puxadora adequadamente.As cabeças puxadoras mecânicas paraCherrylock são geralmente de dois tipos: a série H615 (figura 5-61) e a série H640 (figura 5-62). Elas só diferem nas suas fixações ao rebitador. A série H615 é para as ferramentas menores atarraxádas e a série H640 é para as ferramentas maiores de encaixe. Ambas as cabeças puxadoras instalarão rebites Cherrylock trefilados ou com bulbo.



DIAM. DO REBITE	Nº DA CABEÇA PUXADORA
1/8"	H615-4C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H615-4S UNI-SINK
5/32"	H615-5C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H615-5S UNI-SINK
3/16"	H615-6C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H615-6S UNI-SINK

Figura 5-61 Cabeça puxadora série H615.



DIAM. DO REBITE	Nº DA CABEÇA PUXADORA
1/8"	H640-4C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H640-4S UNI-SINK
5/32"	H640-5C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H640-5S UNI-SINK
3/16"	H640-6C { UNIVERSAL
	ESCAREADA
	H640-6S UNI-SINK
1/4"	H640-8C { UNIVERSAL
	ESCAREADA

Figura 5-62 Cabeça puxadora série H640.

Uma cabeça puxadora em separado é necessária para instalar cada diâmetro de rebite Cherrylock. É recomendável o uso de cabeças em separado para rebites de cabeça universal e escareada, porém as cabeças puxadoras escareadas podem ser usadas em ambos os estilos.

Ferramenta hidráulica para Cherrylock

Este sistema possui projeto moderno moderno, no qual a seqüência de operações necessárias à instalação dos rebites é regulada hidraulicamente, dentro da ferramenta, ao invés de um sistema mecânico para puxar a haste. A única ferramenta hidráulica Cherrylock que puxa a haste do rebite é a H681 (figura 5-63).

DIÂM. DO REBITE	Nº DA CABEÇA PUXADORA	DIMENSÕES A	DIMENSÕES B
3/32"	H681-3C { UNIVERSAL	.188	.346
	ESCAREADA	.163	.331
1/8"	H681-4C { UNIVERSAL	.250	.359
	ESCAREADA	.208	.341
	H681-B166-4 UNI-SINK	.250	.359
5/32"	H681-5C { UNIVERSAL	.313	.377
	ESCAREADA	.269	.352
	H681-B166-5 UNI-SINK	.313	.377
3/16"	H681-6C { UNIVERSAL	.375	.419
	ESCAREADA	.335	.385
	H681-B166-6 UNI-SINK	.375	.419
1/4"	H681-8C { UNIVERSAL	.500	.452
	ESCAREADA	.458	.398

Figura 5-63 Cabeça puxadora série H681.

É necessário um puxador de haste H681 em separado para cada diâmetro de rebite Cherrylock. Há puxadores em separado recomendados para o rebite de cabeça universal e escareada, porém os utilizados para o rebite escareado pode ser usado em ambos.

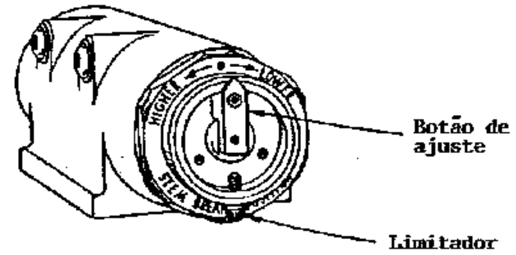


Figura 5-64 Ajustador do puxador de cabeça de rebite H681.

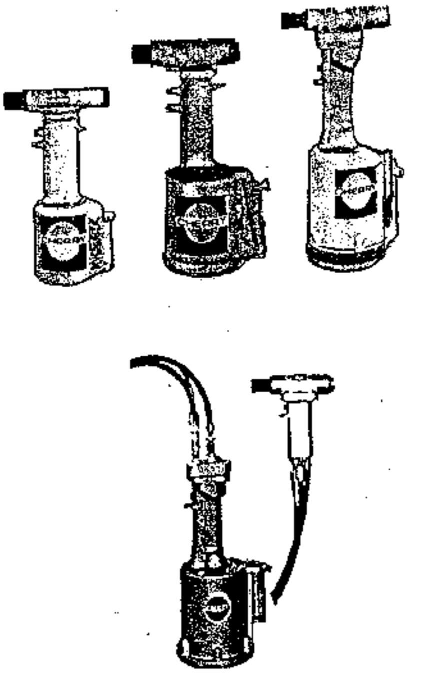


Figura 5-65 Ferramentas puxadoras "Hydroshift".

Os rebitadores hidráulicos são ajustados na fábrica para romper a haste do rebite na altura da cabeça original, e ajustar o colar adequadamente. O ajuste frio pode ser feito pelo operador. Esse ajuste determina o nível de quebra da haste em relação à superfície superior da cabeça original (figura 5-64 e 5-65).

Procedimentos de instalação

Os procedimentos de instalação de rebites autotravantes (trava mecânica) são básicamente os mesmos utilizados para a instalação de rebites de trava por fricção. As precauções a serem observadas são:

1) Certificar-se que a faixa de pega correta tenha sido selecionada.

2) Usar sempre o conjunto de extremidade correto ou a ferramenta de puxar adequada ao diâmetro do rebite selecionado (Para o rebite CKL, ajustar a pressão correta de ar da ferramenta).

3) Na introdução do rebite na ferramenta e no material, fazer uma suave pressão contra a cabeça do rebite.

4) Verificar se o rebite está completamente assentado antes de erguer a ferramenta da cabeça do rebite (A haste deve romper-se.)

5) Checar cada rebite após completar a seqüência quanto à resistência da haste. (A haste do rebite deve ser rompida nivelada com a cabeça do rebite.)

Inspeção

A inspeção visual do assentamento do pino na cabeça original é o meio mais confiável e simples de inspecionar rebites com trava mecânica.

Se a faixa de pega adequada foi utilizada, e o colar trava e a extremidade rompida da haste estão aproximadamente nivelados com a cabeça original, o rebite terá sido corretamente assentado e travado.

Uma faixa de pega insuficiente é indicada pela quebra da haste abaixo da superfície da cabeça.

Uma pega excessiva é indicada pela ruptura da haste acima da superfície da cabeça. Em ambos os casos o colar trava não deve estar adequadamente assentado, causando uma trava insatisfatória.

Procedimentos de remoção

O rebite com trava mecânica é facilmente removível, seguindo os procedimentos da figura 5-66.

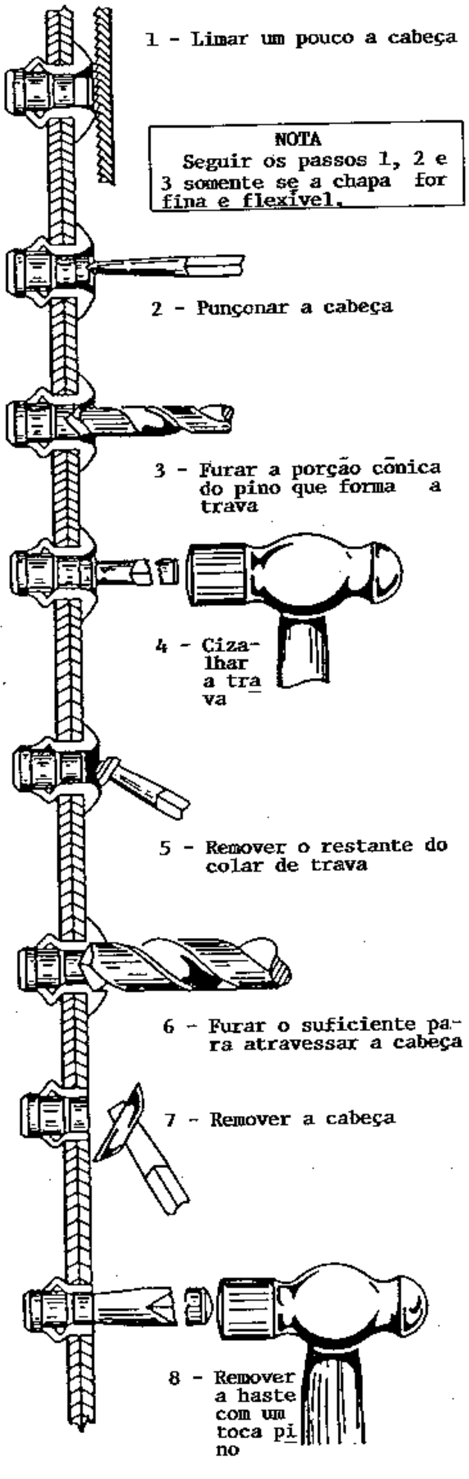

1 - Limar um pouco a cabeça
NOTA
Seguir os passos 1, 2 e 3 somente se a chapa for fina e flexível.
2 - Punçonar a cabeça
3 - Furar a porção cônica do pino que forma a trava
4 - Cizalhar a trava
5 - Remover o restante do colar de trava
6 - Furar o suficiente para atravessar a cabeça
7 - Remover a cabeça
8 - Remover a haste com um toca pino

Figura 5-66 Remoção dos rebites.

REBITES "PULL-THRU"

Este tipo de rebite cego, expandido mecanicamente, é usado como tachinha para fixar conjuntos ou tubos ocos, e como ilhó. Ele difere dos dois rebites discutidos anteriormente, pois a haste é totalmente extraída do rebite durante a instalação. Os métodos e procedimentos para instalação, inspeção e remoção não são discutidos aqui devido ao uso limitado deste tipo de rebite na área de célula. A figura 5-67 ilustra um típico rebite "Pull-thru" antes e após a instalação.

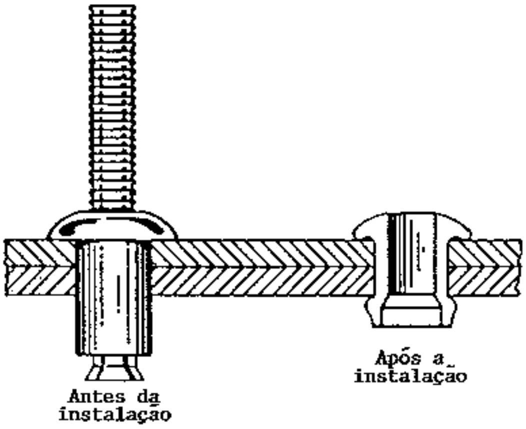


Figura 5-67 Rebite "Pull-thru".

"RIVNUT"

Rivnut é a marca do rebite cego oco de liga de alumínio 6053 rebaixado e roscado na parte interna. Os Rivnuts são geralmente colocados com uma ferramenta especial que assenta o rebite pelo lado cego do material (figura 5-68).

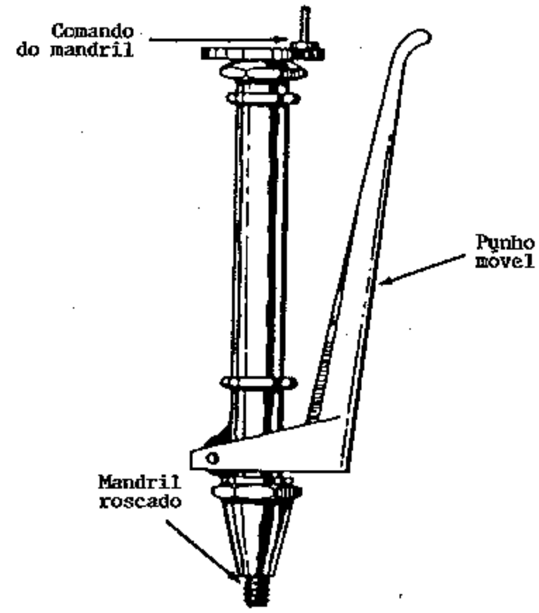


Figura 5-68 Ferramenta de rebitagem de "Rivnut".

O Rivnut é rosqueado no mandril da ferramenta e inserido no furo. A ferramenta é mantida sempre em ângulo reto com o material; a manícula é apertada e o mandril é girado no sentido horário após cada esforço.

Continuamos apertando a manícula e girando a manivela do mandril até sentir uma forte resistência, indicando que o rebite foi assentado.

Todos os Rivnuts, exceto os de cabeça fina (0,048 polegada), tipo escareado, estão disponíveis com ou sem pequenas projeções presas à cabeça para evitar que o Rivnut gire. Os Rivnuts com projeções são usados como porcas, enquanto os sem projeções são utilizados em reparos por rebites cegos, onde não há a imposição de cargas de torque. Um cortador é necessário durante a instalação de Rivnuts com projeção (figura 5-69).

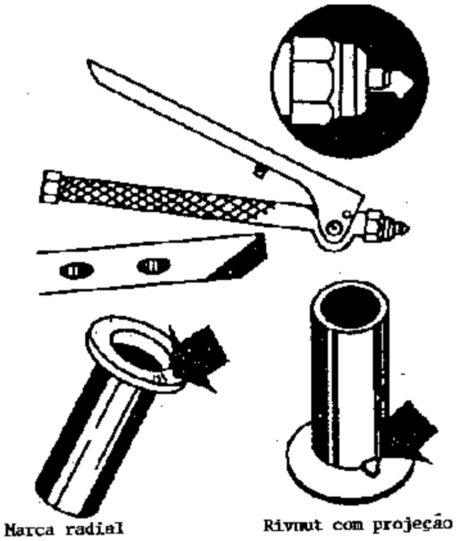


Figura 5-69 Rivnut com projeção e ferramenta cortadora.

As ferramentas usadas na instalação de Rivnuts incluem ferramentas manuais, pneumáticas e o cortador. Todas as ferramentas de instalação possuem um mandril roscado no qual o Rivnut é rosqueado até que a sua cabeça faça batente na cabeça da ferramenta.

As ferramentas manuais são feitas em 3 tipos: (1) Reta, (2) 45º, e (3) 90º. As ferramentas pneumáticas são de 2 tipos: (1) alavanca e (2) punho afastado. Com a ferramenta pneumática, o rosqueamento, o recalcamento e o afastamento ou desrosqueamento são feitos pela pressão de ar através da manipulação de controles nas pontas dos dedos. O cortador corta apenas as projeções do rebite.

Em alguns casos, o cortador não pode ser usado devido ao material ser muito fino. Se o caso for este, utilizamos uma lima canelada pequena para fazer o encaixe da projeção.

Os fatores importantes a serem considerados na seleção de Rivnuts são o tamanho da pega, o estilo da cabeça, a condição da extremidade do Rivnut e a existência ou ausência de projeção.

O tamanho da pega é o fator mais importante. Esse valor pode ser determinado através do seu número. Por exemplo, um 6-45 tem uma pega máxima de 0,45 polegada. O procedimento a seguir, na determinação da faixa de pega, deve ser observado. A espessura total das chapas mostradas na figura 5-70 é o 0,0052 polegadas. Verificando na tabela de Rivnuts da figura 5-70, nós vemos que 6-75 é o comprimento de pega a ser escolhido, uma vez que a pega máxima do tamanho precedente (6-45) é de apenas 0,045 polegadas e seria muito curta. A pega do Rivnut 6-75 varia de 0,045 até 0,075 polegadas.

O objetivo na instalação deste tipo de rebite é produzir um abaulamento ideal pelo lado cego do serviço, sem danificar a rosca interna do Rivnut. Em outras palavras, nos certificamos de que o abaulamento ocorre entre o primeiro fio de rosca do rebite e a borda inferior do material rebitado. O espaço entre o abaulamento ideal e o fio de rosca superior, onde a pega acontece, é chamado faixa de pega.

Na seleção do tipo de cabeça, aplicamos as mesmas regras usadas na colocação de rebites maciços. Selecionamos Rivnuts com projeção sempre que forem inseridos parafusos em seu orifício, e usamos Rivnuts tampados somente em lugares especiais, tais como compartimentos selados de flutuadores ou compartimentos pressurizados.

A confecção dos furos para os Rivnuts requer a mesma precisão utilizada para os rebites maciços. O corpo do Rivnut deve estar justo no furo. Para obter melhores resultados em uma instalação de rebite com cabeça chata, fazemos primeiro um furo piloto menor que o diâmetro do corpo do Rivnut, e depois o desbastamos até o tamanho correto.

Se forem usados Rivnuts com projeção, cortamos o encaixe para as projeções depois de desbastar o furo. Durante o corte, seguramos o cortador, de modo a fazer um ângulo de 90º com o serviço. Além disso, cortamos o entalhe na lateral do furo, longe da chapa, especialmente quando o Rivnut for usado em uma fileira externa. Operamos o cortador inserindo-o no furo e apertando as alavancas.

O uso de Rivnuts embutidos é limitado. Para um metal cuja espessura seja maior que o comprimento mínimo de pega do primeiro rebite de uma série, utilizamos um escareador; para um metal mais fino que o comprimento mínimo de pega do primeiro rebite, utilizamos o processo de rebaixamento. Não usamos o Rivnut escareado, a menos que o metal seja espesso o bastante para sofrer um escareamento, ou a menos que o verso da chapa seja acessível para um rebaixamento.

Para um Rivnut escareado, as chapas a serem unidas podem ser escareadas com máquina. Este método é preferido, porque a superfície de apoio em um furo rebaixado em uma chapa de espessura média ocupará normalmente toda a superfície de pega do Rivnut, limitando assim sua faixa de pega à de uma porca embutida.

Na instalação de Rivnuts, entre as coisas a serem checadas está o mandril roscado da ferramenta, para ver se está livre de rebarbas e lascas de metal oriundas da última utilização. Depois disto, atarraxamos o Rivnut no mandril até que sua cabeça encoste na bigorna. Inserimos o Rivnut no furo (com a projeção posicionada na ranhura, (se for o caso) e seguramos a ferramenta em ângulo reto com o serviço. Pressionamos a cabeça do Rivnut firmemente contra a chapa, enquanto vagarosamente apertamos as alavancas da ferramenta até que o Rivnut comece a querer subir. Então, soltamos as alavancas, e depois aparafusamos o prisioneiro no Rivnut. Isso evita que a rosca do Rivnut seja danificada antes do assentamento final do rebite.

Apertamos novamente as alavancas até que o amassamento do Rivnut esteja completo. Removamos agora o prisioneiro da ferramenta do Rivnut girando a manivela do mandril no sentido anti-horário.

O movimento da ferramenta guia o Rivnut em direção à bigorna, causa o amassamento da porção escareada do Rivnut no lado inacessível do serviço. Esse amassamento é comparável à cabeça amassada de um rebite comum. O grau de amassamento requerido para assentar o Rivnut é melhor determinado através da prática. Evitamos espanar a rosca do Rivnut.

A instalação de um Rivnut estará incompleta até a inserção de um dos plugs desenhados para esse propósito ou de um parafuso para fins de fixação. Um Rivnut não apresenta toda sua resistência enquanto estiver oco.

Há 3 tipos de pinos roscados que podem ser usados: (1) o parafuso escareado de 100º, (2) o parafuso sem cabeça, e (3) o parafuso fino com cabeça oval. O parafuso escareado em 100º e o sem cabeça possuem encaixes Phillips ou Reed and Prince.

O parafuso de cabeça oval tanto poderá possuir um encaixe de fenda, ou um Phillips ou um Reed and Prince. Todos os pinos roscados são feitos em aço de alta resistência SAE e com banho de cádmio.

As mesmas ferramentas são usadas para a colocação de Rivnuts estriados, porém o prisioneiro de tração da ferramenta deve ser ajustado para acomodar o corpo mais longo.

"DILL LOK-SKRUS" E "LOK-RIVETS"

Dill Lok-Skrus e Lok-Rivets são marcas registradas de rebites com rosca interna (duas peças). Eles são usados na fixação cega de acessório tais como carenagens, carenagens de inspeção, portas de acesso, molduras de partes, janelas e similares. Lok-Skrus e Lok-Rivets são semelhantes ao Rivnut em aparência e aplicação. Contudo, os Lok-Skrus e os Lok-Rivets vêm em 3 partes e requerem mais espaço no lado cego que o Rivnut para acomodar o seu corpo.

São necessárias ferramentas especiais manuais e pneumáticas para a instalação de Lok-Skrus. Uma lâmina, intercambiável do corpo encaixa-se no punho da lâmina e é mantida no lugar por um parafuso de ajuste. A lâmina do corpo tem uma parte chata que encaixa-se em uma fenda no fim do corpo do Lok-Skru. A ferramenta, para assentá-los, possui projeções que se encaixam em ranhuras na cabeça do Lok-Skru. As lâminas e ferramentas são intercambiáveis para uso em vários tamanhos e estilos de Lok-Skrus.

O procedimento de furação para Lok-Skrus é idêntico ao utilizado em rebites de corpo maciço. Para instalar o Lok-Skru, inserimos a ferramenta de forma que a lâmina se estenda através da fenda do corpo, e a chave assente firmemente na fenda da cabeça. Inserimos o prendedor no furo. Encaixamos também a catraca, e ajustamos o sentido correto de aperto. Seguramos o punho da catraca e giramos o punho da lâmina do corpo para a esquerda, até que o corpo seja imprensado contra a chapa pelo lado oposto. Pressionamos a ferramenta firmemente contra o Lok-Skru para manter a lâmina da ferramenta e a chave na fenda.

Paramos de girar o punho do corpo quando o corpo do Lok-Skru fizer batente contra a chapa.

Finalmente, apertamos com mais um quarto de volta ou menos, no punho da catraca, embutindo a cabeça na chapa. Nesse momento, seguramos o punho da lâmina parado enquanto gira o punho da catraca. Testamos o aperto com uma chave de fenda de 8 pol comum apoiada na extremidade. As fixações são feitas usando-se um parafuso de fixação e uma chave de fenda comum.

REBITES "DEUTSCH"

O rebite Deutsch é um rebite cego de alta resistência com resistência, ao cisalhamento mínimo de 75.000 p.s.i., e pode ser instalado por uma só pessoa. Esse rebite compõe-se de duas partes, uma luva de aço inoxidável e um pino guia de aço endurecido. O pino e a luva são revestidos com um lubrificante e um inibidor de corrosão.

Um rebite Deutsch pode ser assentado com um martelo comum ou com uma pistola pneumática e um conjunto de cabeça chata. Assentamos o rebite no orifício pré-furado, e então inserimos o pino na luva. Se o rebite Deutsch for assentado em um furo apertado, um punção de apoio oco deve ser usado para assentar o rebite contra o material. O punção deve liberar o pino guia e apoiar-se na cabeça do rebite para evitar a expansão prematura da luva e da cabeça.

A introdução faz com que o pino exerça pressão contra a luva e force os lados desta para fora. Esse estiramento forma uma nova cabeça na extremidade do rebite e gera uma ação de fixação no prendedor.

O raio no topo da cabeça do rebite trava o pino à medida que forem dadas as últimas pancadas.

A cabeça do rebite Deutsch jamais deve ser raspada ou fresada. A fresagem (ou raspagem) destrói a ação de transpassar a segunda chapa de metal; contudo, este tipo de instalação não é recomendada, a menos que a segunda chapa seja muito fraca.

Uma das principais restrições ao uso de rebites Deutsch, é que não se usa nenhum tipo de barra de apoio para absorver o esforço das pancadas. A estrutura onde é feita a instalação deverá ser bastante sólida e pesada para suportar os esforços de instalação.

Se um rebite Deutsch que se estenda através do material tiver que ser removido, usamos os mesmos procedimentos utilizados na remoção de um rebite maciço. A cabeça pode ser desbastada com uma broca, e o pino pode ser retirado com um punção toca-pino ligeiramente mais fino que o diâmetro dele. Para retirar a luva do material, usamos um punção toca-pino ligeiramente menor que o diâmetro da luva.

Se o rebite não se estender através do material, desbastamos o pino com uma broca até a metade de sua profundidade. Depois, inserimos um parafuso através de um espaçador e o apertamos o na luva. Continuamos a apertar o parafuso até que a luva se solte.

REBITES "HI-SHEAR"

Os rebites Hi-Shear são essencialmente parafusos sem rosca. O pino possui uma cabeça em uma extremidade e é ranhurado ao redor da outra.

Um colar de metal é encaixado sob pressão na extremidade ranhurada, formando um encaixe muito firme.

O tamanho do rebite é determinado pelo "Part Number" ou por tentativa. O PN fornece o diâmetro e o comprimento da pega do rebite. A explicação acerca desse PN é dada no Capítulo 6, do livro de Matérias Básicas.

Para determinar o comprimento de pega correto por tentativa, inserimos um rebite de diâmetro correto no orifício. A parte reta do corpo não deve exceder mais que 1/16 pol através do material.

Inserimos o rebite de diâmetro correto no orifício, e colocamos o colar sobre a extremidade ranhurada do rebite. Checamos a posição do colar.

O colar deve ser posicionado de forma que a borda cisalhante da ranhura do pino esteja logo abaixo do topo do colar.

É aconselhável adicionarmos uma arruela de aço de 0,032 polegada (aproximadamente) entre o colar e o material, assim, posicionamos o colar no lugar desejado.

A arruela pode ser posicionada pelo lado da cabeça do rebite, quando for usado um rebite de cabeça chata.

Rebites Hi-Shear são instalados usando-se barras de apoio padrão e marteletes pneumáticos.

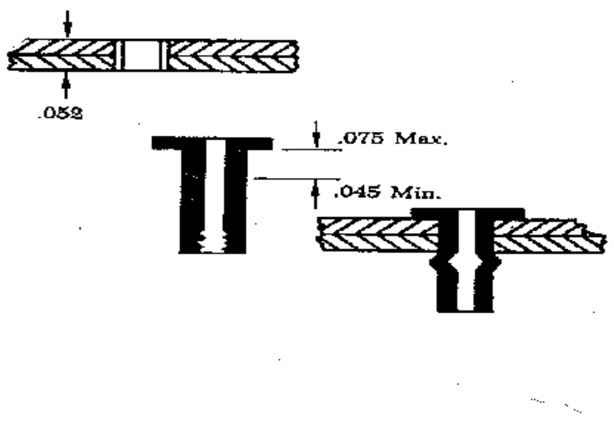
Eles requerem o uso de uma ferramenta especial que incorpora a introdução do colar, o aparador e uma saída, por onde o excesso do colar é expelido.

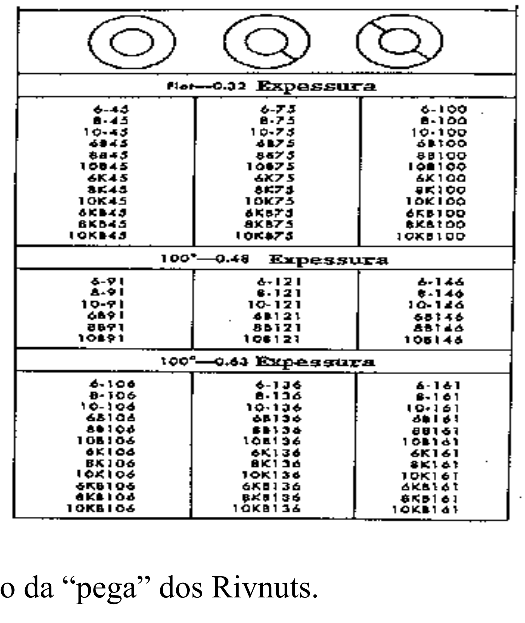
É necessário um tamanho de conjunto para cada diâmetro de corpo.

Preparamos os furos para os rebites com o mesmo cuidado que os fazemos para rebites de tolerância mínima ou parafusos.

Às vezes é necessário bater a área sob a cabeça do pino, de modo que a cabeça do rebite possa encaixar firmemente contra o material.

A área batida deve ser 1/16 polegada maior em diâmetro que a cabeça do rebite.





Flat—0.32 Expessura		
6-45 8-45 10-45 6B45 8B45 10B45 6K45 8K45 10K45 6KB45 8KB45 10KB45	6-75 8-75 10-75 6B75 8B75 10B75 6K75 8K75 10K75 6KB75 8KB75 10KB75	6-100 8-100 10-100 6B100 8B100 10B100 6K100 8K100 10K100 6KB100 8KB100 10KB100
100°—0.48 Expessura		
6-91 8-91 10-91 6B91 8B91 10B91	6-121 8-121 10-121 6B121 8B121 10B121	6-146 8-146 10-146 6B146 8B146 10B146
100°—0.63 Expessura		
6-106 8-106 10-106 6B106 8B106 10B106 6K106 8K106 10K106 6KB106 8KB106 10KB106	6-136 8-136 10-136 6B136 8B136 10B136 6K136 8K136 10K136 6KB136 8KB136 10KB136	6-161 8-161 10-161 6B161 8B161 10B161 6K161 8K161 10K161 6KB161 8KB161 10KB161

Figura 5-70 Determinação do tamanho da "pega" dos Rivnuts.

Os pinos rebites podem ser inseridos por ambos os lados. Os procedimentos para inserir esses rebites pela extremidade do colar são:

1) Inserir o rebite no furo.

2) Colocar a barra de apoio contra a cabeça do rebite.

3) Encaixar o colar sobre a extremidade protuberante do rebite.

4) Encaixar o conjunto e o martelete selecionados anteriormente sobre o colar; e alinhar o martelete perpendicular ao material.

5) Apertar o gatilho, aplicando pressão sobre o colar. Isso causará a introdução do colar na ranhura da extremidade dorebite.

6) Continuar a introdução até que o colar esteja adequadamente moldado e o excesso seja aparado. (Ver figura 5-71).

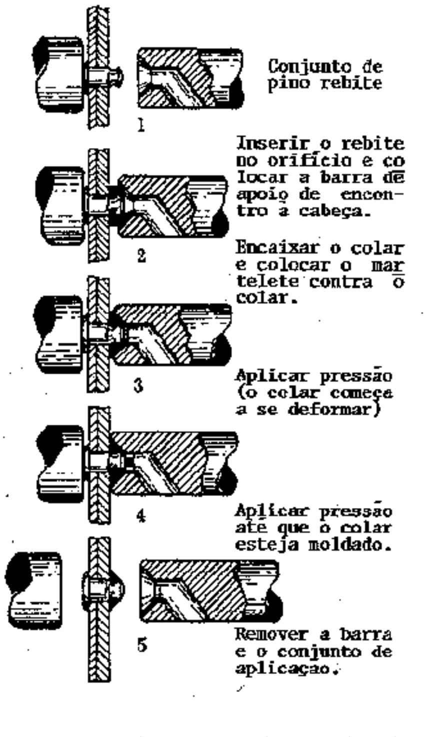

Conjunto de pino rebite
1
Inserir o rebite no orifício e colocar a barra de apoio de encontro à cabeça.
2
Encaixar o colar e colocar o martelete contra o colar.
3
Aplicar pressão (o colar começa a se deformar)
4
Aplicar pressão até que o colar esteja moldado.
5
Remover a barra e o conjunto de aplicaçao.

Figura 5-71 Usando um conjunto de pino rebite.

Os procedimentos para a inserção de pinos rebites a partir da extremidade com cabeça, são estes:

(1) Inserir o rebite no orifício.

(2) Encaixar o colar na extremidade ranhurada.

(3) Encaixar o conjunto correto em uma barra de apoio, e fixar o conjunto contra o colar do rebite.

(4) Aplicar pressão contra a cabeça do rebite, com um conjunto para rebite plano e um martelete pneumático.

(5) Continuar a aplicar pressão até que o colar esteja moldado na ranhura, e o excesso de material seja aparado.

Inspeção

Os pinos rebites devem ser inspecionados por ambos os lados do material. A cabeça do rebite não deve ser danificada e deve encaixar-se firmemente contra o material. A figura 5-72 ilustra rebites aceitáveis e não aceitáveis.

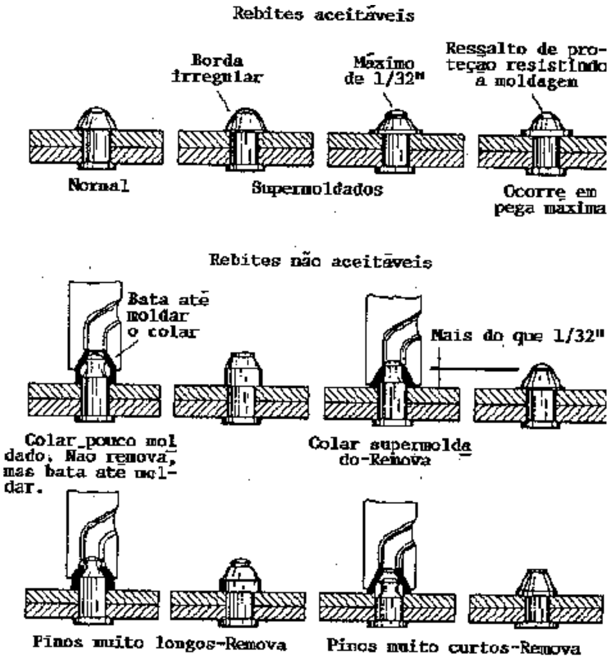

Rebites aceitáveis
Borda irregular
Máximo de 1/32"
Ressalto de proteção resistindo a moldagem
Normal
Supermoldados
Ocorre em pega máxima
Rebites não aceitáveis
Bata até moldar o colar
Mais do que 1/32"
Colar pouco moldado, Não remova, mas bata até moldar.
Colar supermoldado-Remova
Pinos muito longos-Remova
Pinos muito curtos-Remova

Figura 5-72 Inspeção de pinos rebites.

Remoção de pinos rebites

O método convencional de remoção de rebites através de furação com broca, pode ser utilizado em ambas as extremidades do pino rebite (figura 5-73).

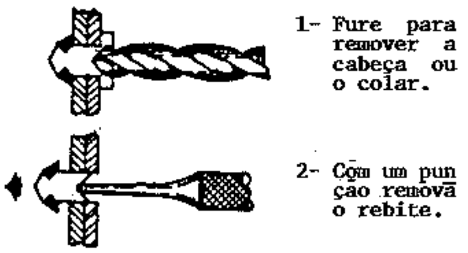
O puncionamento do miolo do rebite é recomendado antes de usar a broca. Em alguns casos, os métodos alternados podem ser adequados em condições particulares.

É preciso esmerilhar a ponta de um pequeno punção toca-pinos para obtermos uma largura de 1/8 pol. Essa ferramenta é posicionada perpendicularmente ao colar, e um martelo é usado para romper o colar, em um dos lados. Repitimos a operação no lado oposto. Então, com a lâmina de um punção, retiramos o colar do rebite. Batemos o rebite para fora do buraco.

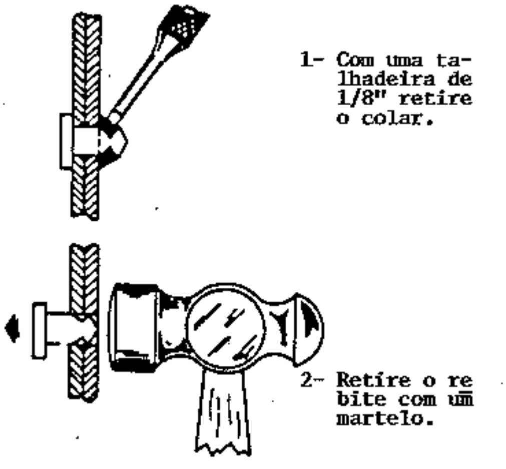
Usamos um punção oco especial tendo uma ou mais lâminas colocadas para romper o colar. Separamos o colar da ranhura, e batemos o rebite para fora.

Esmerilhamos uma troques, de forma que suas lâminas cortem o colar em duas partes, ou a usamos em ângulo reto em relação ao rebite, e cortamos o pequeno pescoço deste.

Uma fresa oca para romper o colar pode ser usada em uma furadeira manual para permitir que o rebite seja batido para fora.


1- Fure para remover a cabeça ou o colar.
2- Com um punção remova o rebite.

A - Removendo pela cabeça.


1- Com uma talhadeira de 1/8" retire o colar.
2- Retire o rebite com um martelo.

B - Removendo pelo colar.

Figura 5-73 Remoção de pinos rebites.

TIPOS ESPECÍFICOS DE REPAROS

Antes de discutirmos qualquer tipo específico de reparo que possa ser feito em uma aeronave, devemos lembrar que os métodos, procedimentos e materiais mencionados nos próximos parágrafos são apenas típicos e não devem ser utilizados com um gabarito para o reparo.

Durante o reparo de um componente ou parte danificada, consultamos sempre a seção aplicável do Manual de Reparos Estruturais, aplicável à aeronave em questão. Normalmente haverá ilustrações de reparos semelhantes dos tipos de materiais, rebites, e o espaçamento entre rebites, e também, os métodos e procedimentos a serem utilizados.

Qualquer informação adicional para a execução do reparo estará detalhada neste manual.

Se a informação necessária não for encontrada no Manual de Reparo Estrutural, tentaremos encontrar um reparo semelhante instalado na aeronave, pelo fabricante.

Reparo de superfícies lisas.

Pequenos reparos, no revestimento externo de uma aeronave, podem ser feitos aplicando-se um remendo pelo lado interno da chapa afetada. Um tampão de enchimento deve ser instalado no buraco feito pela remoção da área danificada na chapa. Ele irá tampar os furos, e prover a superfície aerodinâmica necessária às aeronaves modernas.

O tamanho e o formato do remendo é, em geral, determinado pelo número de rebites requerido no reparo.

Se não for especificado de outra forma, calcularemos o número de rebites usando a fórmula dele.

Confeccionamos o remendo com o mesmo tipo de material do revestimento original, da mesma espessura ou ligeiramente maior.

Remendo octogonal alongado

Sempre que possível, usaremos um reparo octogonal alongado para reparar o revestimento.

Este tipo de reparo proporciona uma boa concentração de rebites dentro da área crítica de estresse, eliminando concentrações perigosas, e sendo muito simples de desenhar e planejar.

Esse reparo pode variar em comprimento de acordo com sua condição.

Sigamos os passos do planejamento mostrados na figura 5-74. Primeiramente, desenhamos as bordas da parte removida.

Depois, usando o espaçamento de 3 ou 4 vezes o diâmetro dos rebites a serem usados, desenhamos linhas paralelas à linha do estresse.

Posiciona mos as linhas perpendiculares duas vezes e meia o diâmetro dos rebites, a partir das laterais do reparo e distanciamos as outras linhas com espaçamento de 3/4 do intervalo entre rebites.

Marcamos os pontos para rebites em linhas alternadas perpendiculares às linhas de estresse para gerar um avanço entre as fileiras e estabelecer a distância entre os rebites (na mesma fileira) de aproximadamente 6 a 8 vezes o diâmetro.

Depois de localizar o número correto de rebites em cada face do reparo, adicionaremos mais alguns, se necessário, de forma que a distribuição seja uniforme.

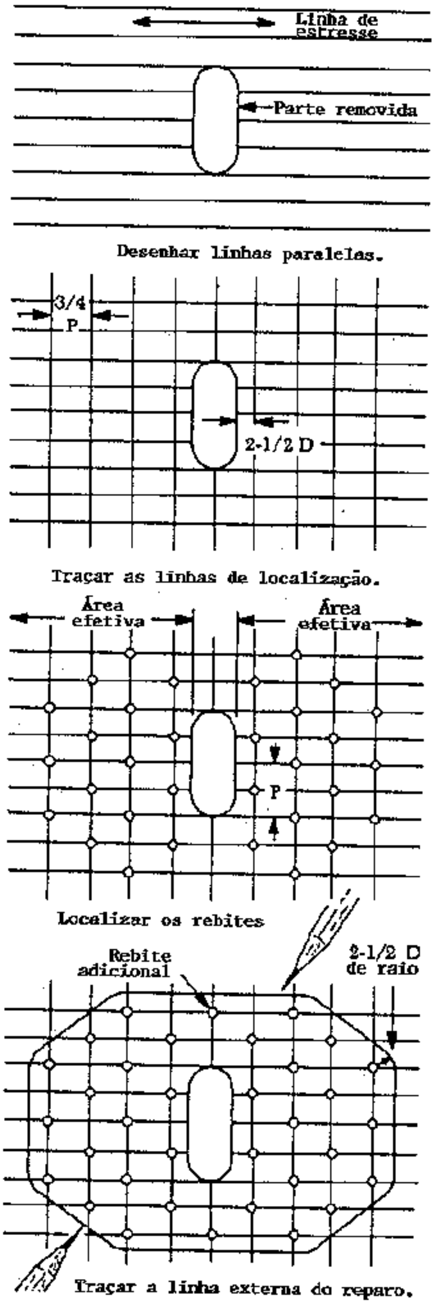

Linha de estresse
Parte removida
Desenhar linhas paralelas.
3/4 P
2-1/2 D
Traçar as linhas de localização.
Área efetiva
Área efetiva
P
Localizar os rebites
Rebite adicional
2-1/2 D de raio
Traçar a linha externa do reparo.

Figura 5-74 Remendo alongado.

Remendo redondo

Utilizamos o remendo redondo em reparos de pequenos furos em superfícies aerodinâmicas. A distribuição uniforme dos rebites, ao redor da sua circunferência, faz deste reparo o ideal para lugares onde a direção do estresse é desconhecida, ou onde se sabe que ela muda freqüentemente.

Se for usado um reparo com duas fileiras de rebites (figura 5-75), desenhamos, primeiramente, as bordas da área removida em um papel.

Desenhamos duas circunferências, uma com raio igual ao raio da área removida mais a distância da borda, e a outra com um raio 3/4 maior que a primeira.

Determinamos o número de rebites a serem usados e distanciamos 2/3 desse valor ao longo da fileira externa. Usando dois pontos para rebites adjacentes quaisquer, como centros, desenhamos arcos de interseção; depois desenhamos uma linha, a partir do ponto de interseção dos arcos até o centro do reparo.

O mesmo é feito com cada par de pontos para rebites. Isso gerará um número de linhas igual à metade do número de rebites na fileira externa.

Colocaremos rebites onde essas linhas cruzarem com a circunferência interna. Depois, transferimos o desenho para o material do reparo, adicionando um pouco de margem nas bordas de pelo menos duas vezes e meia o diâmetro dos rebites.

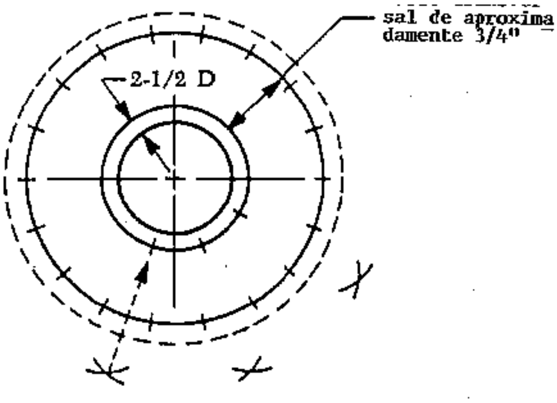

sal de aproxima damente 3/4"
2-1/2 D

Figura 5-75 Desenho de um reparo com duas fileiras de rebites.

Usaremos um reparo redondo de 3 fileiras (figura 5-76); caso o número de rebites seja grande o bastante para causar uma distância entre eles (passo), menor que o número para um reparo de duas fileiras.

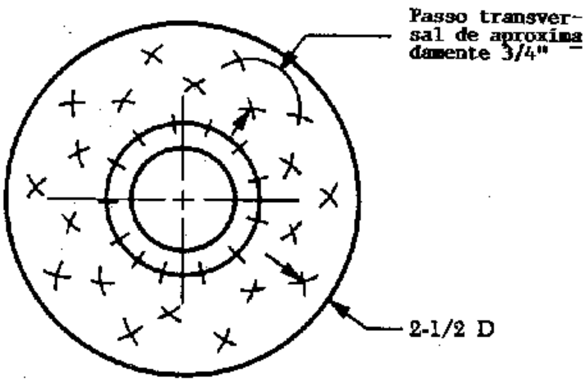


Figura 5-76 Desenho de um reparo com três fileiras de rebites.

Desenhamos as margens da área em um papel, e depois um círculo de raio igual ao da área removida mais a distância da dobra. Distribuímos igualmente 1/3 dos rebites requeridos nessa fileira.

Usando cada uma dessas posições de rebite como centro, desenhamos arcos com raio de 3/4 pol. Nos pontos de interseção, desenhamos a segunda fileira de rebites. A terceira fileira de rebites é desenhada de maneira semelhante. Deixamos uma margem de 2,5 vezes o diâmetro dos rebites, além da fileira externa e transferimos o desenho para o material do reparo. Depois de desenhar e cortar o reparo, removemos as rebarbas das bordas, chanfrando-as de todos os remendos externos em ângulo de 45º, e torcendo um pouco para dentro, de forma que se encaixem bem contra a superfície (figura 5-77).

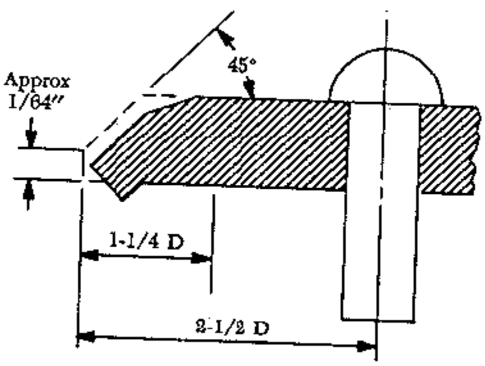


Figura 5-77 Bordas chanfradas e viradas.

Reparo de painéis.

Na construção de aeronaves, um painel é uma única chapa de metal do revestimento. Uma seção de painel é parte entre as cavernas e as vigas de reforço. Onde uma seção de revestimento estiver muito danificada, que seja impossível instalar um reparo padrão, deveremos instalar um reparo especial. O tipo de reparo requerido dependerá do reparo ser externo, interno ou nas bordas do painel.

O dano que, depois de aparado, possuir menos de 8,5 vezes o diâmetro dos rebites, usados pelo fabricante de material entre os membros estruturais, requererá um remendo que se estenda sobre os membros, mais uma fileira extra de rebites ao longo da lateral dos membros.

Para um dano que, depois de removido, tenha 8,5 vezes o diâmetro dos rebites ou mais de material, estenderemos o remendo, de forma a incluir a fileira de rebites do fabricante e mais uma adicional dentro dos membros.

Danos que se estendam até a borda de um painel, requerem somente uma fileira de rebites, a menos que o fabricante tenha usado mais de uma fileira. Os procedimentos de reparo para as outras bordas do dano seguem os métodos previamente explicados.

Os procedimentos de confecção de todos os 3 tipos de reparos de painel são semelhantes. Removemos a parte danificada dentro das limitações estabelecidas no parágrafo anterior.

Para aliviar o estresse nas pontas do orifício, as arredondemos com um raio mínimo de 1/2 polegada. Desenhamos a nova fileira de rebites, com um passo transverso de aproximadamente 5 vezes o diâmetro dos rebites, e avançamos os rebites em relação àqueles assentados pelo fabricante.

Cortamos o reparo do material da mesma espessura do original ou ligeiramente maior, deixando uma margem de 2,5 vezes o diâmetro dos rebites. Nas pontas, desenhamos arcos que possuam raio igual à distância da borda.

As bordas do reparo são chanfradas em ângulos de 45º, e o reparo é moldado de modo a encaixar-se na estrutura original.

Entortamos as bordas um pouco para baixo, de forma que as bordas fiquem bem encostadas.

Colocamos o reparo em sua posição, e fazemos um dos furos para rebite, prendendo o reparo no local, provisoriamente. Localizamos a posição do segundo furo, preparando-o e inserindo o segundo prendedor. Depois, pela face interna e através dos furos originais, fazemos os furos restantes. Removemos as rebarbas dos furos e aplicamos um protetor contra corrosão, nas superfícies que ficarão em contato antes de rebitar o reparo no lugar.

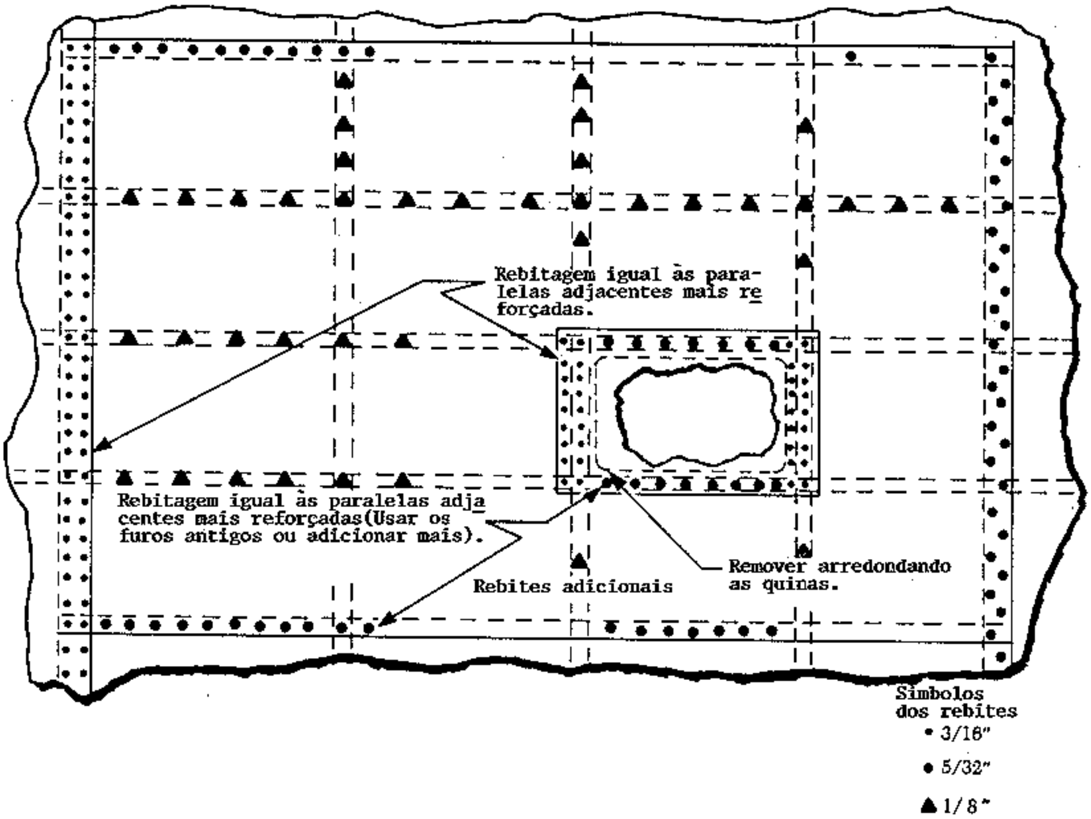

Rebitagem igual às paralelas adjacentes mais reforçadas.
Rebitagem igual às paralelas adjacentes mais reforçadas(Usar os furos antigos ou adicionar mais).
Rebites adicionais
Remover arredondando as quinas.
Símbolos dos rebites
• 3/16"
• 5/32"
▲ 1/8"

Figura 5-78 Remendo em painel de revestimento.

Reparo de vigas de reforço (Stringers)

As vigas de reforço da fuselagem estendem-se do nariz do avião até a cauda, e as vigas de reforço das asas estendem-se da fuselagem para as pontas das asas. As vigas de reforço das superfícies de controle geralmente se estendem pelo comprimento da superfície de controle. O revestimento da fuselagem, asa ou superfície de controle é rebitado às vigas de reforço.

As vigas de reforço podem ser danificadas por vibrações, corrosão ou colisão. Os danos são classificados como negligenciáveis, reparável por remendo e necessitando substituição do membro. Geralmente o dano envolve o revestimento e, em alguns casos, as cavernas ou falsas nervuras. Tais danos requerem uma combinação de reparos, envolvendo cada um dos membros danificados.

Por serem contruídas em diversas formas, as vigas de reforço possuem procedimentos de reparo diferentes. O reparo pode requerer o uso de materiais pré-moldados ou extrudados, ou pode requerer materiais moldados pelo mecânico de chapas. Alguns reparos podem necessitar ambos os tipos de materiais de reparo.

Durante o reparo de uma viga de reforço, primeiramente determinamos a extensão dos danos e, então, então removemos os rebites da área adjacente. Depois, a área danificada é removida com uma serra para material, uma broca ou lima.

Na maioria dos casos, o reparo de uma viga de reforço requererá o uso de um ângulo de inserção e remendo. Durante a localização do ângulo de remendo de uma viga, nos certificaremos usando o Manual de Reparo Estrutural da aeronave. Algumas vigas são reparadas colocando-se o ângulo de reparo pelo interior, enquanto outras são reparadas pelo lado externo.

Utiliza-se comumente extrusões e materiais pré-moldados no reparo de ângulos e insenções ou enchimentos. Caso os ângulos de reparo e os enchimentos devam ser moldados, a partir de uma chapa de metal, usaremos uma viradeira. Pode ser necessário calcular a tolerância de dobra, e linhas de visada, no cálculo dos desenhos e dobras para essas partes moldadas. Para reparos em vigas curvas, fazemos as partes de reparo de forma que elas se encaixem no contorno original.

No cálculo do número de rebites a serem usados no reparo, primeiramente determinamos a largura da chapa. Em vigas num ângulo tipo Bulbo, a largura será igual à seção transversal, mais três vezes a espessura do metal, mais a seção transversal para as vigas moldadas e ângulos.

Substituimos o valor obtido usando o procedimento acima, na fórmula de rebites, e calculamos o número de rebites requeridos. A distância entre rebites deverá ser a mesma que a usada pelo fabricante para fixar o revestimento à viga. No caso dessa distância exceder o valor máximo de 10 vezes o diâmetro dos rebites, colocaremos alguns rebites adicionais entre os originais. Esse passo não pode ser menos que 4 vezes o valor do diâmetro dos rebites.

Durante o projeto desse espaçamento deixamos uma margem de 2,5 vezes o diâmetro dos rebites de cada lado do reparo, até que todos os requisitos estejam marcados. Pelo menos 5 rebites devem ser inseridos em cada extremidade da seção reparada. Se o dano da viga requerer o uso de uma inserção ou enchimento de um comprimento, grande o bastante para justificar mais de 10 rebites, devemos usar dois ângulos de reparo.

Se o dano da viga ocorrer próximo a uma caverna, cortaremos a viga de reforço danificada de forma que apenas o enchimento vá ultrapassar a abertura na caverna. A caverna será enfraquecida se a abertura for aumentada, para acomodar tanto a viga como o ângulo de reparo. Dois ângulos de reparo devem ser usados para fazer um tal reparo.

Uma vez que o revestimento está preso às vigas, é quase sempre impossível fazer os furos para os remendos com uma furadeira pneumática comum. Esses furos podem ser feitos com uma furadeira angular. Na rebitagem de uma viga, pode ser necessário usar um conjunto diferente, e várias formas de barras de apoio.

Reparo de falsas nervuras ou de cavernas

As cavernas, são os membros da fuselagem que lhe dão a forma, e mantêm o formato da estrutura. As cavernas ou as nervuras são chamadas de anéis de moldagem e outros nomes. Elas são projetadas para suportar cargas de estresse concentrado.

Há vários tipos de cavernas. O tipo mais comum é um canal curvo feito de chapa de metal com reforçadores. Outras possuem uma estrutura feita de chapa com ângulos extrudados, rebitados no lugar como reforçadores e flanges. A maioria desses membros são feitos de liga de alumínio. Falsas nervuras de aço resistente à corrosão são usadas em áreas expostas a altas temperaturas.

Os danos em cavernas são classificados da mesma forma que os outros danos. As especificações para cada tipo de dano são estabelecidas pelo fabricante, e, informações específicas são dadas no manual de manutenção ou no Manual de Reparo Estrutural da aeronave. As cavernas são identificadas com números de estação, que ajudam bastante na localização das informações acerca de um reparo.

Os reparos nesses membros são geralmente classificados em 2 categorias: (1) Dano igual ou menor que 1/3 da seção transversal; ou (2) dano maior que 1/3 da seção transversal. No primeiro caso, uma chapa de remendo, um ângulo de reforço, ou ambos podem ser usados. Primeiramente, removemos os danos e usamos a fórmula de rebites para determinar o número de rebites necessários para estabelecer o tamanho da chapa de reparo. Quanto ao tamanho da seção, utilizamos a profundidade da área mais o comprimento do flange.

Se mais que 1/3 da seção transversal for danificada, removeremos a seção e faremos um remendo (figura 5-79).

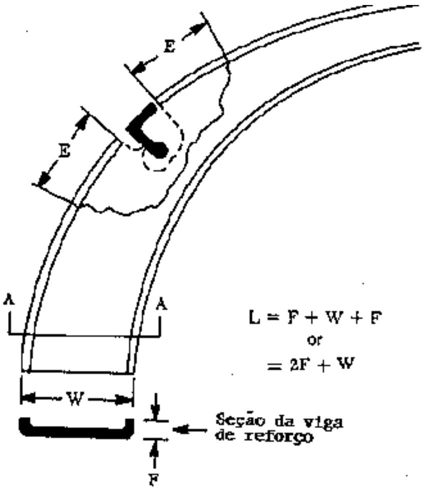


Figura 5-79 Determinando o tamanho da avaria.

Durante a remoção da seção danificada, temos o cuidado de não danificar os equipamentos ao redor, tais como fios elétricos, tubulações, instrumentos e etc. Usamos uma lima, uma tesoura ou uma broca para remover grandes danos. Para remover toda uma seção, uma serra, broca ou tesoura.

Medimos o tamanho do perfil como mostra a figura 5-79, e determinamos o número de rebites requeridos, substituindo esse valor na fórmula de rebites. Usamos o dobro do valor de cisalhamento do rebite nos cálculos. O resultado representa o **número** de rebites a ser usado em cada extremidade da chapa de reparo.

A maioria dos reparos em cavernas são feitos em chapa de metal, caso não se disponham de peças sobressalentes. Durante a fabricação a partir de uma chapa, devemos lembrar que o material substituto deverá prover resistência à tensão, compressão, cisalhamento e apoio, igual ao material original. Nunca utilizamos um material mais fino ou com menor seção transversal que o material original. Reparos curvos feitos de chapa plana devem estar na condição "O" antes da moldagem, e devem sofrer tratamento térmico antes de instalados.

Reparo de longarinas de fuselagem.

Geralmente as longarinas são membros pesados que servem aproximadamente para a mesma função que as vigas de reforço. Conseqüentemente, o reparo de longarina é semelhante ao reparo de vigas de reforço.

Devido à longarina ser um membro pesado, e possuir maior resistência que a viga de reforço, serão necessários rebites pesados no reparo.

Algumas vezes parafusos são usados para instalar um reparo de longarina; porém, devido à maior precisão necessária, eles não são tão adequados quanto os rebites. Além disso, a instalação de parafusos dispende maior tempo.

Se a longarina consistir de uma seção moldada e uma seção de ângulo extrudado, considere cada seção separadamente. Faça o reparo da longarina da mesma forma que um reparo de viga. Contudo, mantenha o espaço entre rebites de 4 a 6 vezes o diâmetro. Se forem usados parafusos, os furos devem ser de forma que os parafusos se encaixem perfeitamente.

Reparos de longarinas de asa

A longarina é o principal membro de suporte da asa. Outros componentes também podem ter membros de suporte chamados de longarinas, que servem à mesma função exercida na asa. Devemos pensar nas longarinas como o miolo ou a base da seção na qual elas se encontram, ainda que elas não estejam exatamente no centro. A longarina é geralmente o primeiro membro a ser instalado durante a construção de uma seção, e todos os outros membros são fixados direta ou indiretamente a ela.

Devido à carga que suporta, a longarina deve ser reparada com muito cuidado para assegurar que a resistência original da estrutura não foi comprometida. Ela é construída de tal forma que geralmente são necessários dois tipos de reparos, o reparo da alma e o reparo da nervura da longarina.

Para um reparo na alma de uma longarina, primeiramente removemos os danos; e depois medimos a largura total da seção da armação. Calculamos o número de rebites a serem instalados em cada lado da chapa de reparo, substituindo este valor pelo tamanho do perfil na fórmula de rebites.

Preparamos uma seção a ser inserida, do mesmo tipo de material e com a mesma espessura usada na armação original. Fazemos um esboço em papel da colocação dos rebites no reparo, usando o mesmo espaçamento da fixação da alma à nervura da longarina. As chapas de reforço são cortadas de chapas que possuem o mesmo peso da alma, ou um pouco mais grossas, e o desenho é transferido do papel para os reparos.

Aplicamos um tratamento anticorrosivo às superfícies e rebitamos os reparos no lugar. Os rebites usados na fixação do reparo, nas nervuras da longarina são adicionados aos que foram calculados para a fixação de chapas de reforço. Substitímos todos os reforçadores da armação removidos durante o reparo. Uma vista-explodida de um reparo no topo da armação de uma longarina é mostrada na figura 5-80.

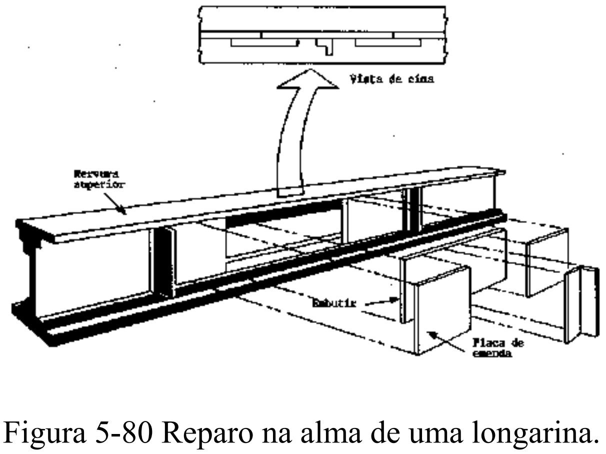


Figura 5-80 Reparo na alma de uma longarina.

Durante a realização de um reparo embutido na alma de uma longarina, não é necessária a utilização de nenhuma chapa de reforço.

Ao invés disso, moldamos a seção de reparo da alma de forma que ela sobreponha à alma original o bastante para acomodar o número necessário de rebites. Fazemos um encaixe na nervura que será rebitada. O cálculo de rebites para esse reparo é semelhante ao descrito no reparo do topo.

Muitos tipos de nervuras de longarina são usadas na fabricação de aeronaves, e cada uma requer um tipo diferente de reparo. No cálculo do número de rebites requeridos no reparo da nervura de uma longarina em "T" extrudada, tomamos a largura da base do "T" mais o comprimento da perna e o comprimento do perfil de arqueamento, e usamos valores de cisalhamento dobrados.

Posicionamos 1/4 do número de rebites requeridos em cada fileira de rebites original, na base da seção em "T". Eles são posicionados entre os rebites originais, os rebites restantes ficam ao longo da perna do "T" em duas fileiras. Consideramos todos os rebites originais dentro da área do reparo como sendo parte dos que são requeridos.

Fazemos a peça a ser embutida de um pedaço semelhante de seção em "T" extrudado, ou de dois pedaços de chapa plana; em ambos os casos eles devem possuir a mesma espessura da nervura da longarina. A figura 5-81 mostra uma vista explodida de um reparo da nervura de uma longarina em "T".

Os rebites usados na perna da nervura podem tanto possuir cabeça chata, redonda ou lenticular; porém, os rebites usados na base devem ser do mesmo tipo usado no revestimento.

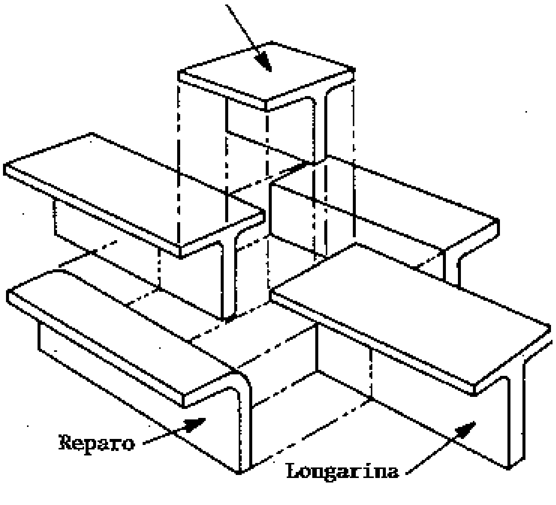


Figura 5-81 Reparo de uma longarina em “T”.

O reparo de nervuras de longarinas fresadas é limitado aos danos ocorridos nos flanges. Os danos além da área dos flanges requerem a substituição de toda a nervura. Para fazer um reparo típico de flange, substituímos a profundidade da área removida pelo comprimento do perfil de arqueamento na fórmula de rebites, e calculamos o número de rebites requerido.

Moldamos uma chapa de reparo no tamanho requerido e a furamos de acordo com a posição original dos rebites. Cortamos um enxerto que se encaixe à área removida e rebitamos o reparo no local. Se a área removida for maior que 4 polegadas do comprimento, usamos uma chapa de reforço em ângulo para garantir um reforço adicional.

Reparo de nervuras e armações

O reparo de armações pode ser geralmente classsificado em dois tipos: (1) Os feitos em armações consideradas críticas, tais como as das nervuras da asa; e (2) as consideradas menos críticas, tais como as de profundores, lemes, flapes e etc. As armações devem ser reparadas de tal forma que a resistência original do membro seja restaurada.

Na construção de um membro usando uma armação (figura 5-82), vemos que a armação é geralmente uma chapa fina de liga de alumínio que forma a profundidade principal do membro. A armação é ligada por grossas extrusões de liga de alumínio chamadas de nervuras. Essas estrusões suportam as cargas de flexão e também provêem uma superfície para a fixação do revestimento. A armação pode ser reforçada por frisos estampados, ângulos, ou seções extrudadas, rebitadas a intervalos regulares ao longo da armação.

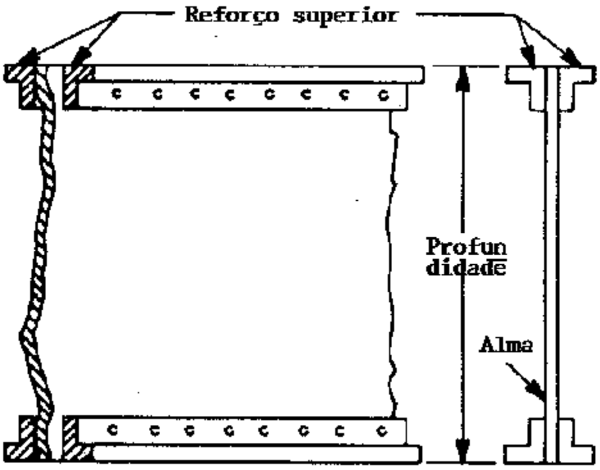


Figura 5-82 Construção do membro de uma armação.

Os frisos, ou rebordos estampados (figura 5-83), são parte da própria armação, e são estampados durante sua fabricação. Os reforçadores ajudam a suportar as cargas de compressão exercidas sobre as armações criticamente estressadas.

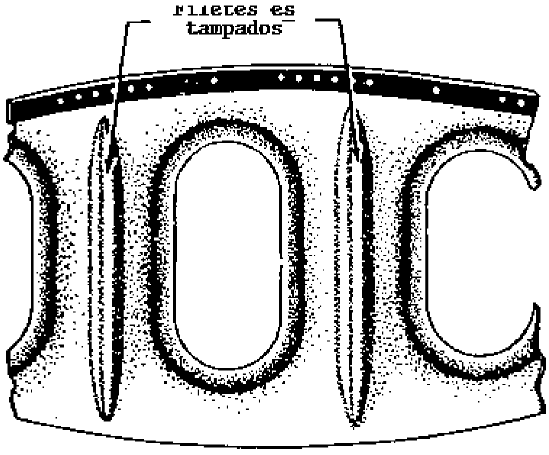


Figura 5-83 Filetes estampados em uma seção de longarina.

Geralmente as nervuras são feitas estampando-se toda a peça a partir de uma chapa de metal. Isto é, a nervura não possui ainda o listão, ou banda. Porém possui um flange ao redor de toda a peça, mais os furos de alívio. As nervuras podem ser moldadas com rebordos estampados como reforçadores, ou podem possuir perfis extrudados, rebitados a armação como reforço.

A maioria dos danos envolve dois ou mais membros; porém, pode ocorrer de apenas um membro estar danificado e requerer reparo. Geralmente, se a armação estiver danificada, deve-se apenas remover a área danificada e instalar uma chapa de reparo.

A chapa de reparo deverá ter um tamanho suficiente para dar espaço a pelo menos duas fileiras de rebites ao redor do perímetro do dano; isso inclui uma distância adequada nas bordas, passo entre rebites e passo transverso dos rebites. A chapa de reparo deve ser de material que possua a mesma composição e espessura do membro original. Se for necessária alguma moldagem na confecção da chapa de reparo, tal como o encaixe no contorno de um furo de alívio, usa-se material na condição "O" e depois aplica-se tratamento térmico após a moldagem.

Danos a nervuras e armações que requeiram um reparo maior que uma simples chapa de reparo, provavelmente requererá um remendo composto ou ângulos, e uma interseção. O reparo desse dano, moldando-se as parte necessárias, pode tomar muito tempo; por isso, se houver peças danificadas entre os que foram recuperados, e que possuam as áreas necessárias intactas, as usamos.

Por exemplo, se uma nervura idêntica pode ser achada entre os destroços, e ela possui armação rachada, porém a área em questão está intacta, removemos a área danificada; depois, cortamos a peça de reparo da nervura obtida dos destroços. Não devemos esquecer de deixar espaço para a instalação correta dos rebites. A utilização de peças recuperadas eliminará um bocado de trabalho, e mais o tratamento térmico necessário.

Reparo de bordo de ataque

O bordo de ataque é a seção dianteira da asa, do estabilizador e de outros aerofólios. O propósito do bordo de ataque é dar forma aerodinâmica à seção frontal das asas ou superfícies de controle, de forma a não prejudicar o fluxo de ar. O espaço dentro do bordo de ataque é muitas vezes usado para armazenar combustível. Esse espaço pode também alojar equipamentos extras como luzes de pouso, tubulações ou sistemas de antigelo e degelo.

A construção do bordo de ataque varia com o tipo de aeronave. Geralmente, ela consistirá de listões de nervura, de nervuras de nariz, reforçadores e revestimento. Os listões são as principais extrusões que reforçam o bordo de ataque e fornecem uma base para as nervuras de nariz e o revestimento. Eles também fixam o bordo de ataque à longarina dianteira.

As nervuras de nariz são estampadas em uma folha de liga de alumínio. Essas nervuras têm forma de "U" e podem possuir reforçadores em sua armação. A despeito de seu desenho, seu propósito é dar contorno ao bordo de ataque.

Os reforçadores são usados para reforçar o bordo de ataque e dar base para a fixação do revestimento. Na fixação do revestimento, usa-se apenas rebites escareados; ou que não disturbem o fluxo de ar.

Bordos de ataque construídos com sistemas de antigelo térmico consistem de duas camadas de revestimento, separadas por uma fina camada de ar. O revestimento interno, às vezes corrugado para maior resistência, é perfurado para conduzir o ar quente até o revestimento externo para o antigelo.

Os danos ao bordo de ataque são também classificados da mesma maneira que os outros danos. Os danos podem ser causados pelo contato com outros objetos, a saber, pedras, pássaros em vôo e granizo. Contudo, a maior causa de danos é o descuido durante o manuseio da aeronave no solo.

Um bordo de ataque danificado irá geralmente envolver diversas partes estruturais. Os danos provocados por colisões em vôo geralmente envolvem o revestimento, nervuras, reforçadores, e possivelmente o listão. Danos envolvendo todos esses membros necessitarão da instalação de uma janela de acesso para possibilitar o reparo.

Primeiramente, a área danificada deverá ser removida e devem ser estabelecidos procedimentos de reparo. O reparo precisará de inserções e remendos. Caso o dano seja muito sério, ele poderá requerer o reparo do listão e do reforçador, uma nova nervura de nariz e um novo painel de revestimento. Durante o reparo de um bordo de ataque, seguimos os procedimentos prescritos no manual de reparos, apropriado a este tipo de reparo.

Reparo de bordo de fuga

O bordo de fuga é a parte traseira do aerofólio, encontrado nas asas, ailerons, lemes, profundores e estabilizadores. Ele geralmente é uma tira metálica que faz o formato afilado, unindo as extremidades de uma seção de nervura e unindo o revestimento superior e inferior. Os bordos de fuga não são estruturais, mas são considerados altamente estressados em todos os casos.

Os danos a um bordo de fuga podem ser limitados a um ponto, ou estenderem-se ao longo de seu comprimento entre duas ou mais seções de nervura. Além dos danos resultantes de colisão e manuseio descuidado, ocorrem também pontos de corrosão. Os bordos de fuga são mais sujeitos à corrosão devido à tendência da umidade a acumular-se neles.

Inspeciona-se bem a área danificada antes de iniciar os reparos, e determina-se a extensão dos danos, o tipo de reparo requerido e a forma como o reparo deve ser feito. Na realização de reparos de bordo de fuga, devemo-nos lembrar que a área reparada deve possuir o mesmo contorno, e deve ser feita do mesmo material e têmpera da seção original. O reparo deve ser feito para manter as características de desenho do aerofólio.

Os danos ocorridos na seção do bordo de fuga entre as nervuras podem ser reparados, como mostra a figura 5-84. A área danificada é removida e fazemos um enchimento de madeira dura, fibra ou liga de alumínio fundido, que se encaixa dentro do bordo de fuga. Depois, fazemos uma peça para enxerto do mesmo material que o da seção danificada, e a moldamos para que se encaixe no resto do bordo de fuga. Juntamos as partes, como mostrado, e as rebitamos no lugar, usando rebites escareados para obter um contorno suave.

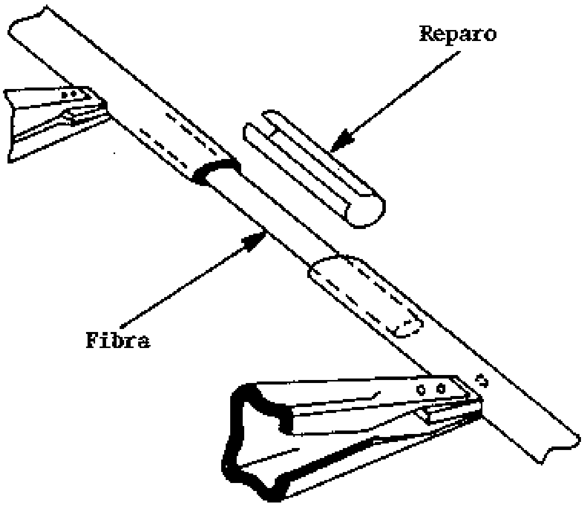


Figura 5-84 Reparo no bordo de fuga entre nervuras.

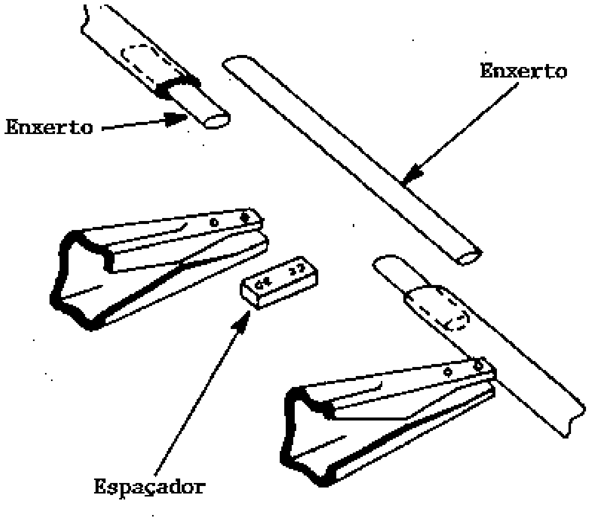


Figura 5-85 Reparo no bordo de fuga próximo à nervura.

Para reparar danos ocorridos próximo, ou em uma nervura, primeiramente removemos material suficiente do bordo de fuga para que um reparo completo caiba entre as nervuras. Isso geralmente requer dois remendos unidos por um enxerto de material, semelhante ao do bordo de fuga ou de chapa moldada. O procedimento de reparo é semelhante ao utilizado em danos entre nervuras. A figura 5-85 mostra este tipo, de reparo.

SELAGEM ESTRUTURAL

Várias áreas da estrutura da célula são compartimentos selados onde combustíveis ou ar devem ser confinados. Algumas dessas áreas contêm tanques de combustível; outras consistem de compartimentos pressurizados, tais como a cabine. Sendo impossível selar essas áreas completamente, apenas com juntas rebitadas, faz-se necessário o uso de um selante. Os selantes são também usados para adicionar suavidade aerodinâmica às superfícies expostas, tais como uniões e juntas nas asas e fuselagem.

Normalmente são usados 3 tipos de selos. Os selos de borracha são usados em todos os pontos onde é necessário um rompimento freqüente da selagem, tal como nas saídas de emergência e portas de entrada. Os selantes são usados em pontos onde a selagem é raramente rompida, exceto para manutenção estrutural ou substituição de peças, tal como em dobras rebitadas e juntas de topo. São necessários selos especiais para a passagem de cabos, tubos, ligações mecânicas, ou fios, pelas áreas pressurizadas ou seladas.

Os fios e tubos são passados através de paredes pressurizadas, utilizando-se acoplamentos para as tubulações e plugs de borracha para os fios. Essas fixações são seladas à parede e os fios e tubos são presos a elas por ambos os lados.

Todos os selos dos componentes móveis, tais como controles de vôo, estão sujeitos a desgastes e requerem cuidados especiais quando da sua instalação. Além disso, eles devem ser checados regularmente.

Defeitos em selantes

O estanqueamento de uma área, ou seção, é checado antes e depois de executar um reparo. A pressurização no solo é feita enchendo-se a seção com ar, oriundo de uma fonte externa, através de conexões para teste de pressão.

Com as seções pressurizadas, localizamos os vazamentos pelo lado externo da aeronave, aplicando uma solução borbulhante sem sabão em todas as juntas e uniões na área suspeita. As bolhas indicarão a área do vazamento. Um vazamento específico é, então, isolado no interior da aeronave, passando um estetoscópio ou dispositivo semelhante ao longo das juntas na área de vazamento. O vazamento pode ser detectado pela mudança no ruído quando o instrumento passa sobre ele. Depois do teste, removemos a solução borbulhante do exterior da aeronave, aplicando água limpa para evitar a formação de corrosão.

Aqui estão algumas medidas de precaução a serem seguidas durante os procedimentos de teste discutidos. Com pessoas no interior da aeronave, a área nunca deve ser pressurizada com uma pressão maior que àquela previamente estabelecida durante testes com a seção vazia. Nenhuma pessoa resfriada e que tenha tido resfriado recentemente, ou cujas fossas nasais estejam obstruídas de alguma forma, deverá estar presente ao controle do equipamento de pressurização durante todo o teste.

A pressurização nem sempre é necessária para determinar uma área selada com defeito. Os selantes devem ser reparados quando:

1) O selante está descascando.
2) As juntas estão expostas através do cordão de selante.
3) O cordão de selante ou o enchimento de furo estiver exposto através do revestimento.
4) O selante foi danificado pela remoção e reinstalação de prendedores, portas de acesso ou outras partes seladas.
5) Houver rachaduras ou abrasões no selante.

Reparo de selantes

Todas as superfícies a serem seladas devem ser limpas para assegurar a máxima adesão entre o selante e a superfície. Partículas soltas no exterior podem ser removidas por um aspirador a vácuo.

Raspamos todo o selante velho da área a ser raspada com um bloco pontudo de plástico, fenol, ou madeira dura, para evitar arranhões, e aplicamos um decapante e um limpador.

O limpador não pode secar sobre a superfície metálica, deve ser enxugado com flanelas secas.

Não removemos o limpador (xampu) com flanelas sujas, uma vez que a superfície do metal deve estar livre de toda sujeira, graxa, pó e etc. A superfície pode ser checada, quanto à limpeza, derramando-se água sobre ela depois de ter sido enxugada. Se a superfície ainda contiver óleo, a água formará pequenas gotas.

Não devemos esquecer de proteger os selantes e as partes de acrílico contra o decapante. Se for usada iluminação artificial durante o reparo, ela deve ser à prova de explosão.

Usamos roupas que nos protejam contra o decapante e o limpador para que eles não entrem em contato com a pele. Providenciamos uma ventilação adequada na área de trabalho. O pessoal envolvido deverá usar um respirador durante o serviço em uma área enclausurada.

Pode ser necessário substituir os selos de borracha periodicamente para assegurar o fechamento correto da porta. Os selos desse tipo devem ser substituídos sempre que houver qualquer grau de dano. Tal selo não é reparável, porque precisa ser contínuo ao redor da abertura.

Para remover o selo antigo, removemos todos os retentores do selo na moldura, e então arrancamos o selo antigo. Usamos nafta alifática e flanelas limpas para limpar a estrutura sobre a qual o novo selo será colado. A limpeza deve ser feita imediatamente antes da instalação do selo. Depois, usando um pincel limpo, aplicamos uma camada uniforme de cola para borracha sobre as partes de metal e as superfícies do selo a serem coladas.

Deixamos a cola secar até ficar pegajosa, então juntamos o selo ao metal, pressionando firmemente ao longo de todos os pontos de contato. Instalamos os retentores do selo, e deixamos a cola curar durante 24 horas antes do uso.

Pode-se usar tolueno para limpar os pincéis e outros equipamentos usados na aplicação da cola. Se a cola precisar de um solvente, usa-se nafta alifática.

Os selos ou seções pressurizadas devem ser capazes de suportar uma certa quantidade de pressão. Por isso, danos aos selos no compartimento ou na seção devem ser reparados com esta pergunta em mente: Ela vai suportar a pressão requerida ? A selagem deve ser realizada pelo lado pressurizado da superfície.

É aconselhável nos certificarmos de que todas as áreas estejam seladas antes de completarmos as operações de montagem que tornariam a área inacessível.

Os selantes só devem ser aplicados quando as superfícies de contato estiverem perfeitamente limpas. O selante deve ser aplicado em um movimento contínuo para a frente, no lado da junta que sofre a pressão. É importante começar a espalhar o selante 3 polegadas antes da área do reparo e continuar 3 polegadas além dessa área. E, se possível aplicá-lo com uma pistola de pressão. Geralmente são requeridas duas camadas de selante. Se isso for necessário, deixamos que a primeira camada cure antes de aplicar a segunda. Deixamos o selante curar até se tornar como borracha antes de unir as superfícies.

O tempo de cura varia com a temperatura. Altas temperaturas reduzem o tempo de cura, e baixas temperaturas prolongam-no. Uma fonte artificial de calor pode ser usada para encurtar o tempo de cura, porém deve-se ter o cuidado para não danificar o selante com uma temperatura muito alta. Uma circulação de ar quente, sem exceder 120º F, ou lâmpadas infra-vermelhas a 18 polegadas ou mais do selante são fontes satisfatórias de calor. Se forem usadas lâmpadas de infra-vermelhas, deverá haver ventilação adequada para arrastar os solventes evaporados.

Os selantes são geralmente usados em juntas, mas também podem ser usados para preencher furos e espaços até 1/16 pol de largura.

Fita impregnada com cromato de zinco é às vezes, utilizada entre juntas. A fita de selagem é, também usada como tapa furos e em frestas de 1/16 a 1/2 pol de largura. A fita é aplicada sobre a abertura, pelo lado com pressão, e um filme de selante é aplicado sobre a fita. Furos e frestas maiores que 3/16 pol de largura são geralmente enchidos com madeira, tampas de metal ou plugs de metal pelo lado com pressão; depois, a fita impregnada e o selante são aplicados sobre o reparo.

Devemos nos certificar de que toda a moldagem, montagem e furação estejam completas antes de aplicar a fita.

Depois de limpar a superfície a ser reparada, desenrolamos a fita; mantendo a branca interna longe da superfície do metal. Não retiramos a fita protetora até a hora da colagem. Não devem ficar rugas na fita, e as partes devem ser reunidas com o mínimo movimento lateral possível.

A aplicação de massa selante é semelhante à de selante. Uma espátula ou um bloco pontudo de plástico, fenol ou madeira é, às vezes, usado para forçar e enfiar o selante nas frestas ou emendas. Limpamos a fresta ou junta com ar comprimido, antes de aplicar a massa pelo lado pressurizado.

Rebites e parafusos nem sempre vedam adequadamente quando usados nestas áreas críticas ou seções.

Quando ocorre vazamento de pressão ao redor desses prendedores, eles devem ser removidos e substituídos. Os furos devem ser enchidos com selante, e novos prendedores devem ser instalados.

Removemos o excesso de selante logo que possível para evitar as dificuldades encontradas após seu endurecimento.

COLMÉIA METÁLICA COLADA (HONEYCOMB)

A introdução de membros compostos com colmeia colada (construção em sanduíche), no projeto de estruturas e na construção, veio como um avanço na busca por um tipo de estrutura mais eficiente.

Uma vez que as estruturas de colmeia colada são fabricadas e realizam sua função de uma maneira diferente da estrutura convencional mais familiar e previamente utilizada, novas formas e métodos de reparo tiveram que ser desenvolvidos no que diz respeito às vantagens, limitações e peculiaridades físicas.

Características de construção

A construção em sanduíche é governada pelo uso desejado do painel ou estrutura. Ela pode ser definida como uma construção laminar que consiste de uma combinação de materiais diferentes, unidos e fixados em relação a si próprios, de forma que as propriedades de cada um possa ser usada para obter vantagens estruturais específicas para todo o conjunto.

Conjuntos construídos em sanduíche podem ser encontrados em uma grande variedade de tamanhos e formas nas aeronaves modernas. Eles podem consistir de uma seção inteira ou de uma série de painéis combinados em um conjunto.

E também, são usados em áreas tais como paredes, superfícies de controle, painéis de fuselagem, painéis de asa, revestimentos de empenagem, radomes ou estruturas em ziguezague.

A figura 5-86 ilustra uma seção de colmeia colada. A colmeia é colada em pé, separando duas folhas de face que são coladas ao miolo através de um adesivo ou resina. Este tipo de construção possui uma excelente relação resistência/peso em comparação com estruturas convencionais.

Além disso, ela suporta melhor as vibrações sônicas, possui um custo relativamente baixo quando comparado com o custo de fixadores e de instalação de estruturas convencionais, reduz o número de partes necessárias e reduz muito os problemas de selagem, enquanto melhora o perfil aerodinâmico.

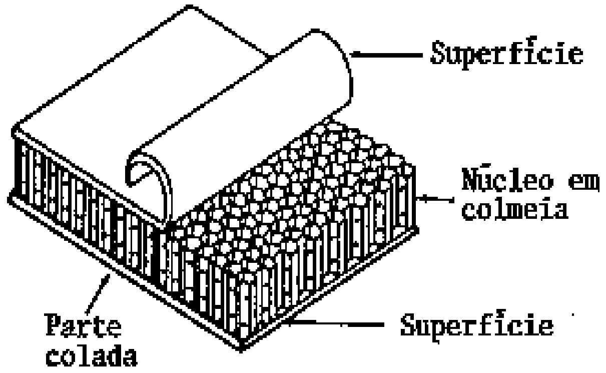


Figura 5-86 Seção de colméia colada.

As aplicações especiais da colmeia de metal colado podem utilizar aço inoxidável, titânio, magnésio, compensado, papel impregnado de resina, vidro, nylon ou tecido de algodão em várias combinações.

DANOS

Causas de danos

A maioria dos danos em conjuntos de colmeia colada resultam de cargas em vôo ou manuseio impróprio no solo. As estruturas em colmeia também podem ser danificadas por vibrações sônicas.

Tais danos são, geralmente, delaminação ou separação da face e do miolo ao longo da linha de cola. (A linha de cola é a linha fina do adesivo entre o miolo e a face que mantém os dois juntos.) Ocasionalmente o miolo pode quebrar-se.

Inspeção de danos

A inspeção de danos é mais crítica nas estruturas de colmeia do que nas convencionais. Uma estrutura de colmeia pode sofrer danos extensivos sem qualquer indicação visual. A vibração sônica, o vazamento de líquido, a condensação interna, ou um erro na fabricação ou reparo pode provocar ou resultar em variadas quantidades de delaminação.

O teste do som metálico é o modo mais simples de inspecionar quanto a delaminação. Quando uma moeda é atirada suavemente contra uma estrutura sólida, deve-se ouvir um som metálico límpido.

Se houver uma delaminação, ouvir-se-á um baque surdo. Um martelo de alumínio de 1 onça é uma excelente ferramenta para esse tipo de inspeção.

Ocasionalmente, a delaminação do revestimento formará uma bolha afastada do miolo, tornando possível a detenção por pressão de dedo ou visualmente. Puncionamentos, amolgamentos, arranhões, rachaduras e outros danos semelhantes podem ser inspecionados por métodos convencionais. Os arranhões devem merecer uma atenção especial, uma vez que, em um material tão fino, como o usado na colmeia metálica, um arranhão pode ser realmente uma rachadura.

Uma solução de soda cáustica pode ser usada para testar arranhões em painéis com superfície de alumínio. Se a área arranhada ficar preta após a aplicação de um pouco da solução, isso significa que o arranhão perfurou a superfície de clad. As soluções de soda cáustica são altamente corrosivas e devem ser manuseadas com extremo cuidado. Neutraliza-se bem a área após a aplicação da solução. Dois instrumentos adicionais usados na inspeção de danos de painéis colados são o analizador de painéis e o boroscópio.

Avaliação dos danos

Após as inspeções em estruturas de colmeia metálica colada terem sido realizadas, qualquer dano encontrado deve ser avaliado para determinar o tipo de reparo necessário, a fim de retornar a célula ao serviço.

Os danos em estruturas de colmeia de alumínio podem variar de amolgamentos menores ou arranhões à destruição total de um painel. As tabelas de avaliação de danos para estruturas de colmeia podem ser encontradas na seção aplicável do manual de reparo estrutural da aeronave específica.

As tabelas especificam os tipos de danos, limites, danos que requerem reparos, e figuras que ilustram reparos semelhantes para cada tipo de dano.

Uma vez determinado o tipo de reparo, os procedimentos enumerados no Manual de Reparo Estrutural devem ser seguidos à risca.

REPAROS

Recomendações quanto ao tipo de reparo a ser feito, e os métodos e procedimentos a serem usados, variam entre os diferentes fabricantes de aeronaves.

Ferramentas, materiais, equipamentos e reparos típicos que possam ser feitos em estruturas de colmeia metálica colada serão discutidos nos parágrafos a seguir.

Ferramentas e equipamentos

Reparos efetivos em conjuntos de colmeia dependem, em grande parte, do conhecimento e da habilidade do mecânico de estruturas em usar e manter adequadamente ferramentas e equipamentos usados na realização de tais reparos.

O desenho e alta qualidade, aplicados a essas ferramentas e equipamentos, os fazemos únicos no reparo de conjuntos de colmeia. Por isso, é essencial que as técnicas e procedimentos estabelecidos para cada ferramenta e cada parte do equipamento sejam conhecidos e aplicados.

Tanto danos pessoais como prejuízos adicionais na área a ser reparada podem, assim, ser evitados.

Fresadora

A primeira ferramenta usada para preparar uma área de colmeia danificada é a fresadora manual a ar comprimido, com velocidades de 10.000 a 20.000 r.p.m.

A ronuer é usada em conjunto com um suporte, uma fresa e um gabarito como mostrado na figura 5-87.

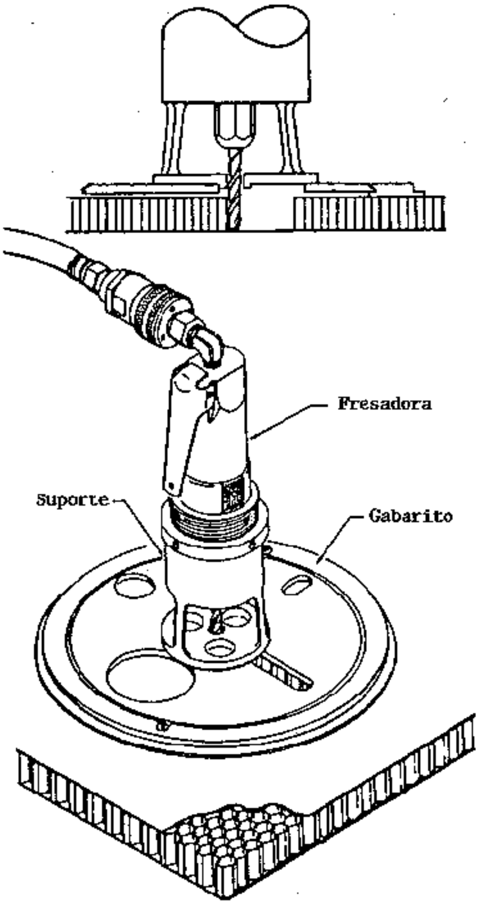


Figura 5-87 Fresadora, conjunto suporte e gabarito.

O suporte é parafusado na ronuer. A profundidade desejada pode ser ajustada através de um mecanismo de trava que mantém o ajuste de profundidade. Uma volta completa do suporte corresponde a uma profundidade de 0,083 polegadas.

Fresas de 1/4 pol corte de metal, são usadas na ronuer para remover as áreas danificadas.

As fresas devem ser mantidas bem afiadas, limpas e protegidas contra dentes, quebras ou outros danos.

Os gabaritos são usados como guias na remoção de áreas de colmeia danificada com a ronuer. Eles podem ser desenhados e fabricados de acordo com os tamanhos, formatos ou contornos do reparo.

Como exemplo, o multi-gabarito (figura 5-88) pode ser usado como um guia no corte de furos de 1/2 pol a 6 pol de diâmetro.

Para furos maiores, pode-se fabricar um gabarito de liga de alumínio de 0,125 pol de espessura, enquanto furos menores podem ser feitos sem o uso de um gabarito. Os multi-gabaritos devem ser mantidos limpos e lubrificados para evitar corrosão e para manter uma operação suave durante seu uso.

O gabarito pode ser aplicado a uma superfície plana, usando os seguintes procedimentos:

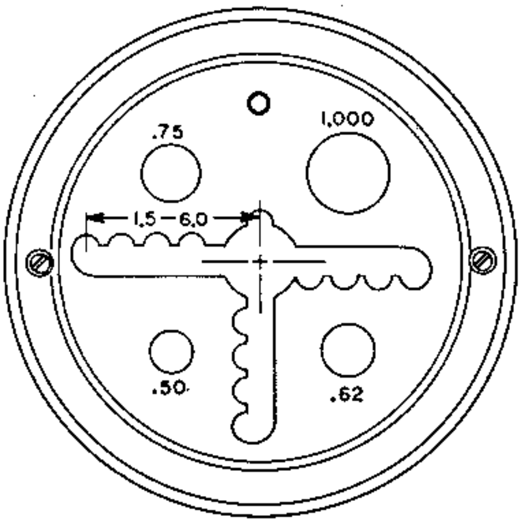


Figura 5-88 Gabarito múltiplo.

1) Aplicar uma fita dupla às bordas do gabarito.

2) Colocar o gabarito, centralizando o furo guia desejado diretamente sobre a área danificada.

3) Pressionar o gabarito firmemente sobre a fita dupla, certificando-se de que ele está bem fixo no lugar; isso evitará qualquer desalinhamento do gabarito durante a furação.

Um gabarito de furação pode ser usado em uma superfície afilada, usando os seguintes procedimentos:

1) Fabricar duas cunhas de madeira de pelo menos 6 polegadas de comprimento e com aproximadamente a mesma inclinação do painel afilado. (ver figura 5-89)

2) Aplicar uma tira de fita adesiva dupla a cada lado das cunhas de madeira.

3) Colocar uma cunha de madeira, sobre cada lado da área danificada, em uma posição onde o gabarito possa ser apoiado durante a furação.

4) Pressionar as cunhas firmemente no lugar.

5) Colocar outro pedaço de fita adesiva dupla na parte superior de cada calço de madeira.

6) Colocar e alinhar o gabarito sobre os calços, evitando assim algum desalinhamento durante a operação.

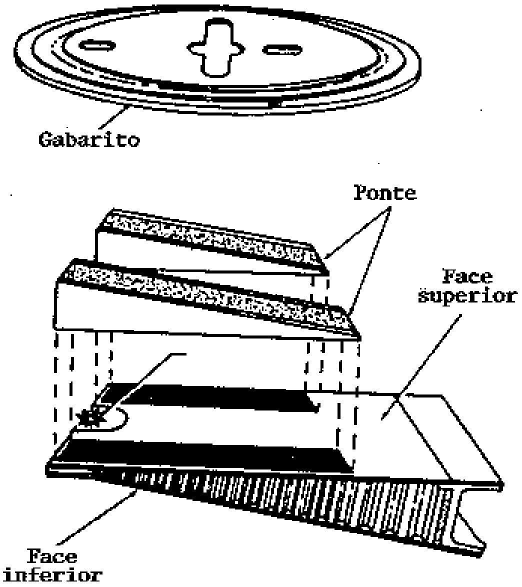


Figura 5-89 Aplicação de cunhas de madeira.

Remoção de áreas danificadas

Quando a extensão do dano e o tipo do reparo forem determinados, o tamanho adequado do furo do gabarito deve ser posicionado ao redor da área danificada, de tal forma que toda a área danificada possa ser removida. A fita adesiva dupla é usada para manter o gabarito preso à área danificada, prevenindo assim o desligamento e o desalinhamento do gabarito.

A fresa da router deve ser ajustada à profundidade requerida para remover a área danificada. Durante a remoção, a router deve ser segurada firmemente com ambas as mãos para evitar que ela salte ou deslize.

Quando a router não estiver sendo usada, ela deve ser desconectada da mangueira de ar comprimido e, guardada adequadamente, até que seja novamente usada.

Os procedimentos a seguir, para a remoção de áreas de colmeia danificada, são tipicamente usados pelos vários fabricantes de estruturas.

Segue-se sempre as técnicas de reparo, especificadas pelo fabricante da aeronave:

1) Determinar a extensão dos danos.

2) Preparar o ajuste à router, o suporte e a fresa para a remoção da área danificada.

3) Escolher um gabarito e posicioná-lo sobre a área a ser reparada de acordo com os procedimentos descritos na discussão sobre gabaritos.

4) Acoplar a mangueira do ar comprimido.

5) Fazer a a remoção do material da seguinte maneira.

   a) Usando máscara ou óculos de proteção;
   b) Colocando a mangueira de ar comprimido sobre os ombros;
   c) Segurando a fresadora em ângulo de 45º com a superfície, e posicionando uma borda do suporte sobre a borda do gabarito;
   d) Começando a remoção pressionando a alavanca de controle;
   e) Cuidadosamente, e firme, abaixando a ponta da fresa sobre o material, tão próximo quanto possível, do centro da área danificada a ser removida;
   f) Colocando a fresadora perpendicular à superfície;
   g) Segurando a fresadora firmemente, girando-a em espiral no sentido horário, até o limite externo do furo do gabarito, removendo todo o material danificado;
   h) Soltando a alavanca de controle, deixando a fresadora parar, e removendo-a do furo;
   i) Desconectando a mangueira de ar comprimido;
   j) Checando a área removida. Se for necessário, remover uma área adicional, ajustando a profundidade da fresa e repetindo a operação.

6) Depois de completar a operação de remoção, desconectar e limpar o equipamento.

Durante as operações de remoção, as células de miolo de alumínio de uma área de colmeia danificada tendem a dobrar ou amassar. Por isso, devem ser abertas com uma pinça e uma faquinha, antes de qualquer tentativa de reparo.

Algumas vezes, o miolo pode ser aparado com uma faquinha no tamanho do furo de reparo.

Moldes de pressão

Os moldes de pressão são usados para aplicar pressão em reparos na superfície inferior, de painéis de colmeia, para manter os materiais de reparo e as resinas no lugar. A pressão sobre a área do reparo é mantida até que o material de reparo cure.

Grampos "C", moldes manufaturados, ou fixados a vácuo podem ser usados para aplicar a pressão necessária aos reparos de colmeia coladas.

As superfícies, ao redor da área do reparo, devem estar absolutamente limpas e livres de materiais estranhos, para assegurar um bom vácuo quando forem usados equipamentos a vácuo ou sucção. A aplicação de água ou glicerina sobre à superfície irá ajudar a obter um bom vácuo.

Uma limpeza normal, cuidados e a prevenção da corrosão manterão os equipamentos acima em boas condições de trabalho.

Lâmpadas de aquecimento de infra-vermelho

Essas são usadas para reduzir o tempo de cura dos reparos de colmeia, colada de aproximadamente 12 para 1 hora.

Uma única lâmpada curará adequadamente um reparo de até 6 polegadas de diâmetro, porém um reparo maior pode requerer uma bateria de lâmpadas para assegurar uma cura uniforme da área de reparo.

As lâmpadas devem ser centralizadas diretamente sobre o reparo a uma distância de aproximadamente 30 pol.

Esse arranjo é ideal para obter a temperatura de cura recomendada em 130º F, desde que a temperatura das áreas adjacentes esteja em 70º F.

Uma temperatura ambiente, maior ou menor, requererá um novo ajuste das lâmpadas.

Deve-se tomar cuidado com trabalhos em temperaturas extremamente baixas, uma vez que um diferencial de temperatura de 150º F ou mais causará o empenamento do revestimento adjacente, devido à expansão térmica.

Tal como em qualquer lâmpada comum, as lâmpadas infra-vermelhas não requerem manutenção; os suportes, fiação e interruptores, contudo, devem ser manuseados com cuidado e mantidos adequadamente.

Precauções contra incêndio

O potencial de perigo de incêndio geralmente existe na área de reparos colados, devido ao baixo ponto de ignição dos materiais de reparo, tais como solventes, tintas e resinas. Por isso, deve-se observar todos os procedimentos contra incêndio. Certos equipamentos de segurança, tais como latões de utilidades, latões para lixo inflamável e lâmpadas a vapor e à prova de explosão devem ser usados.

Com potencial de perigo de fogo em uma área de reparo de colmeias é necessário assegurar-se que um extintor adequado esteja à mão, ou esteja colocado em lugar próximo e pronto para uso, se necessário. Os agentes extintores, para todos os materiais usados em reparos colados de colmeias, são o pó químico seco ou o dióxido de carbono; sendo assim, os extintores de CO_2 comuns devem estar prontos para uso nessas áreas.

Ferramentas manuais e equipamentos.

Em adição às ferramentas e equipamentos descritos nos parágrafos anteriores, as ferramentas comuns e os equipamentos de oficina são usados no reparo de estruturas de colmeia colada.

As ferramentas e equipamentos incluem um conjunto de ferramentas para mecânico de células, um anteparo de proteção para o rosto, tesouras, tesourões, furadeira de coluna, lixas de cinta horizontais e verticais, serra para corte de metal e furadeiras manuais pneumáticas.

A manutenção e utilização geral dessas ferramentas e equipamentos devem ser do conhecimento de qualquer mecânico de célula.

MATERIAS DE REPARO

Solventes de limpeza

Antes de fazer qualquer reparo em uma estrutura de colmeias coladas, deve-se limpar uma área estendendo-se algumas polegada ao redor do dano, removendo-se toda a pintura e revestimento superficial.

A melhor maneira de fazer isso é usando um removedor de tinta ou MEC (Methil-Etil-Cetona). Em alguns casos, o Alconox, um poderoso solvente e detergente, pode ser usado para uma limpeza final, e remover quaisquer resíduos ou óleos remanescentes após a aplicação do removedor ou do MEC.

Os removedores são aplicados com um pincel de tamanho adequado. Quando a tinta ou revestimento protetor se soltarem, elas são retiradas com uma flanela limpa ou com um raspador não abrasivo. O removedor não pode penetrar na área danificada, ou ser usado próximo a uma junta colada, porque sua ação química dissolverá o adesivo. Essas áreas devem ser cobertas e a limpeza final deve ser feita com MEC ou uma tela de brunir. O MEC e o Alconox podem ser aplicados com uma esponja limpa.

Depois da área danificada ter sido completamente removida, as superfícies adjacentes devem ser novamente limpas. Isso é feito usando-se o MEC e esponjas de gaze. O MEC é aplicado à área com uma esponja e, imediatamente removido com outra, antes de secar na superfície. Esse processo de limpeza deve ser feito até que a superfície fique bem limpa e livre de qualquer corpo estranho.

Para verificar se uma área está bem limpa, testamos com água. Esse teste é uma simples aplicação de um fino filme de água destilada sobre a área limpa. Qualquer interrupção do filme de água aplicado indicará que a área não está bem limpa, e o processo de limpeza deverá ser repetido.

Deve-se observar atentamente os procedimentos de segurança que ocorrem durante o trabalho com os solventes acima, especialmente quando o trabalho é realizado sobre a cabeça ou em área confinadas. Para a proteção pessoal deve-se usar sempre luvas de borracha, protetores para o rosto, ventilação adequada e respiradores. Um extintor de CO_2 deverá estar sempre à mão e pronto para uso se necessário.

Bases (Primers)

A tinta base é aplicada à superfície limpa, primeiramente para assegurar uma boa adesão dos reparos de colmeia. A base é aplicada com uma esponja de gaze limpa ou um pincel adequado. Recomenda-se que a tinta seja aplicada rapidamente, pois começa a aderir em apenas 10 a 15 segundos, e será estragada se qualquer pincelada for dada após esse período. A base irá curar em aproximadamenre 1 hora à temperatura ambiente; contudo, esse tempo pode ser reduzido através da aplicação de calor controlado.

Adesivos e resinas

Dois tipos de adesivos, atualmente utilizados no reparo de estruturas de colmeia colada em algumas aeronaves, são conhecidos como tipo 38 ou “Potting”. O adesivo tipo 38 é aplicado em reparos de fibra de vidro, e o tipo “Potting”, como o nome diz, é utilizado para encher buracos. Além disso, o tipo 38 pode ser usado como alternativa para o “Potting” adicionando-se micro esferas (fenóis microscópicos). Os adesivos ou “Pottings” são preparados de acordo com uma fórmula proporcional à quantidade preparada. Essa mistura deve ser dosada por peso.

Uma mistura precisa dos ingredientes do adesivo por dosagens é considerada um dos passos mais importantes no reparo de estruturas de colmeia. As proporções corretas dos epoxis, resinas e microesferas a serem misturados por porção, tanto por peso como por volume, são fornecidas na seção aplicável do manual de reparo estrutural para a aeronave específica.

Material do miolo

Os materiais usados no miolo de colmeias de fibra de vidro (tamanho 3/16 da polegada) são geralmente usados para substituir os miolos de alumínio danificados das estruturas de colmeias metálicas.

O miolo de alumínio nem sempre é satisfatório para o reparo, devido à sua estrutura frágil e delgada. Nessa condição, é impraticável cortar o miolo de alumínio com a precisão necessária ao reparo. Os miolos de fibra de alumínio estão disponíveis em várias espessuras e, são facilmente cortados no tamanho exato, usando-se ferramentas comuns de oficina.

Fibras de vidro

A fibra de vidro usada em reparos por sobreposição em estruturas de colmeia é feita de vidro. O vidro é transformado em fibras, que por sua vez, são entrelaçadas em um tecido de vidro com uma grande variedade de tramas.

O tecido de fibra de vidro deve ser manuseado com cuidado, estocado adequadamente, e deve estar perfeitamente limpo (livre de qualquer sujeira, umidade, óleo ou outro contaminante que possa causar uma adesão imperfeita dos adesivos com os quais ele é impregnado).

Protuberâncias e dobras agudas podem provocar o rompimento das fibras da trama, resultando num enfraquecimento local no reparo. A exposição ou o contato com o pó do tecido de vidro pode causar coceiras e irritações no corpo.

Proteções contra erosão e corrosão

Duas proteções são aplicadas aos reparos de colmeias para evitar erosão e corrosão. A primeira são duas demãos de cromato de zinco, preferivelmente pulverizadas sobre a área reparada. A segunda são duas demãos de Corrogard (EC 843) com pigmentos de alumínio, ou produto equivalente, pulverizado ou pincelado com um intervalo de secagem de 30 minutos entre cada demão. Ambas são inflamáveis e, por isso, as precauções quanto a incêndios devem ser observadas.

REPAROS COM “POTTING”

As seguintes técnicas, métodos e procedimentos estão relacionados com os reparos com potting, e são tipicamente usadas na maioria das estruturas de colmeia. Em todos os reparos, consulta-se a seção aplicável do Manual de Reparo Estrutural. Os procedimentos do fabricante devem ser sempre seguidos.

Os danos até 1 polegada de diâmetro podem ser reparados através da técnica de enchimento de buracos, usando materiais aprovados. O método de reparo é comumente conhecido como "reparo potted". É o método de reparo mais rápido e fácil de uma área danificada em uma estrutura de colmeia. Contudo, segue-se as técnicas, métodos ou procedimentos estabelecidos para reparos com potting, para evitar qualquer dano futuro que possa resultar em um reparo mais difícil.

Reparos com potting podem ser aplicados, tanto em danos, em apenas um das faces e no miolo; como também aos que atingem ambas as faces e o miolo. (Ver figura 5-90).

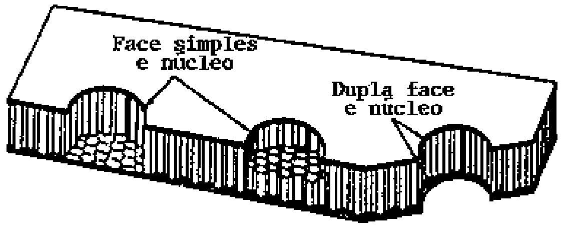


Figura 5-90 Áreas típicas de reparo com composto “Potted”.

Remoção de danos

Normalmente não é necessária nenhuma preparação da superfície na realização de um reparo de furo.

Áreas sujas ou oleosas onde serão fixados multi-gabaritos ou moldes de pressão, através de fitas adesivas devem ser limpas com qualquer solvente recomendado ou aprovado tal como o MEC.

Danos de 1/4 de polegada ou menos, em diâmetro, podem ser satisfatoriamente removidos com uma broca.

O multi-gabarito e uma router de alta velocidade (de 10.000 a 20.000 r.p.m.) devem ser empregados na remoção de áreas danificadas para reparos com pottin, de até 1 polegada de diâmetro.

A quantidade de material removido por qualquer dos métodos deve ser mantida em um mínimo para manter ao máximo a resistência original do painel ou estrutura, como possível.

Usa-se sempre um protetor facial, ou óculos de proteção, durante o uso da fresadora para remover os materiais danificados.

Técnicas de reparo

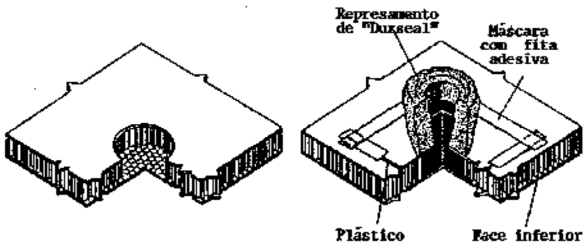
Após a remoção completa de uma área danificada, e sua limpeza, prepara-se o composto de Potting para o reparo.

Partes de folha de plástico são preparadas objetivando o uma superfície suave para o potting, para gerar parte do reservatório ao enchimento do furo, e para manter o composto no lugar até que ele esteja completamente curado. Os pedaços de folha de plástico a serem usados para qualquer dos propósitos acima devem ter pelo menos 1/2 polegada em diâmetro, maiores que o furo a ser reparado.

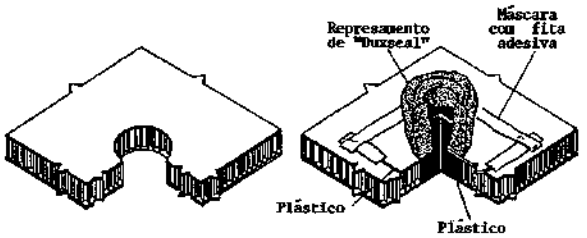
Um pedaço de plástico fino (aproximadamente 1/16 de polegada) é aplicado à superfície inferior do reparo de face dupla (figura 5-91). Isso é feito, não apenas para dar uma aparência suave à superfície reparada, mas principalmente para manter o Potting no lugar até a cura.

O mesmo se aplica a um reparo de face simples, que deve ser feito em uma posição sobre a cabeça.

Folhas de plástico variando de 1/4 de polegada a 3/16 de polegada de espessura são usadas na superfície superior do reparo do furo durante o enchimento.



Danos de face simples e núcleo



Danos de ambas as faces e núcleo

Figura 5-91 Reparos com composto “Potted”.

Um furo de 1/4 de polegada é feito diretamente no centro para permitir uma aplicação fácil do potting na cavidade. O furo também é escareado, permitindo uma expansão do composto e assegurando, assim, que a cavidade foi completamente preenchida.

Esse pedaço de plástico faz parte do represamento "Duxseal". Depois do posicionamento correto dos pedaços de plástico sobre a área do reparo, o Duxseal (ou equivalente) é montado ao redor do furo (Ver figura 5-91). Essa represa é parcialmente enchida com o Potting para assegurar um reparo adequadamente preenchido. A represa também age como um reservatório.

Depois disso, uma mistura suficiente de Potting para o reparo é preparada. A cavidade é enchida com Potting, e as bolhas são removidas com um palito de dentes ou algo semelhante. As bolhas de ar são removidas para assegurar que a cavidade foi solidamente preenchida.

Quando o Potting dentro da cavidade estiver totalmente curado, os pedaços de plástico podem ser removidos. Geralmente esses pedaços de plástico podem ser retirados manualmente; porém, se necessário, ele pode ser arrancado com qualquer ferramenta manual. Quando a parte superior do plástico for removida, ela deixará uma protuberância. Essa protuberância pode ser limada, raspada ou fresada, até nivelar o reparo com a superfície da chapa.

A condição do reparo pode ser verificada pelo teste do som metálico. Moldes de pressão podem ser usados na superfície inferior como necessário. O reparo é acabado pela aplicação das proteções recomendadas contra erosão ou corrosão, e um revestimento final, com as mesmas especificações do revestimento originalmente utilizado.

REPAROS COM SOBREPOSIÇÃO DE TECIDO DE VIDRO

Atualmente, dois métodos aceitáveis de reparo estão sendo aplicados ao revestimento danificado e ao núcleo, ou miolo, dessas estruturas de colmeia de algumas aeronaves. Um deles é o uso do Potting e, o outro, é a sobreposição por tecido de vidro laminado utilizada em danos da face ou do miolo que excedem os limites de reparo especificados para o Potting.

As diferenças entre os dois métodos de reparo consistem nas técnicas de remoção e preparação da área danificada para o reparo, preparo e aplicação do material de reparo, acabamento e inspeção final do reparo terminado, e o uso e manutenção das ferramentas e equipamentos.

Limpeza

Antes de reparar um painel ou seção de colmeia, remover-se bem toda a tinta e proteção de uma área estendendo-se algumas polegadas além dos limites do dano.Basicamente, é necessário fixar os gabaritos ou calços à área do reparo com uma fita adesiva dupla.

Depois, remove-se bem qualquer material estranho da área para assegurar uma adesão perfeita dos materiais de sobreposição.

Uma limpeza efetiva é muito importante para o sucesso de qualquer reparo.

Uma área contaminada com tinta, graxa, óleo, cera, óxidos ou semelhantes, não proverá uma boa adesão. Isso não pode ser rapidamente enfatizado, uma vez que a qualidade do reparo nunca será superior à qualidade da limpeza que o precede.

Mesmo uma impressão digital atrapalhará a colagem, devido à oleosidade da pele.

Materiais tais como solvente, abrasivos, detergentes alcalinos e agentes químicos podem ser usados para uma limpeza efetiva. Um dos métodos mais fáceis e efetivos conhecidos é a aplicação de Metil-Etil-Cetona (MEC) com uma esponja, e sua limpeza imediata com outra. Esse procedimento deve ser continuado até obter-se uma superfície lustrosa.

Na remoção da tinta, é necessária muito cuidado, uma vez que os removedores de tinta dissolvem os adesivos se puderem penetrar nas áreas danificadas de uma junta.

Remoção de danos

Uma fresadora de alta velocidade em conjunto com um suporte, uma fresa e um gabarito devem ser usados na remoção da área danificada. (Informações a respeito de uso e manutenção da router já foram discutidas nos capítulos anteriores.)

As técnicas de remoção de revestimento e miolo de estruturas de colmeia podem diferir de um reparo para o outro. Sua escolha depende grandemente das características de construção dos painéis de colmeia colada, que são primariamente, de desenho chato, afilado ou combinado (chato e afilado). Além disso, a localização da área danificada deve ser considerada; ou seja, se o dano ocorreu na face superior ou inferior da chapa. Outro fator que deve ser considerado é que o miolo de colmeia é sempre instalado perpendicular à superfície inferior.

As técnicas de preparo e remoção, da área danificada em uma superfície afilada ou superior de um painel, são um pouco diferentes das aplicáveis em superfícies chatas ou inferiores.

Antes da remoção de uma área danificada de uma superfície superior ou afilada, o gabarito deve ser apoiado sobre a área do reparo. Isso é feito de forma que o gabarito fique perpendicular às células da colmeia e paralelo à face inferior. Esse apoio é feito por meio de dois calços de madeira, de pelo menos 6 polegadas de comprimento, aproximadamente 2 polegadas de largura e afilado no mesmo grau que o painel. O método de fixação do calço à área danificada é mostrado na figura 5-89.

Adesivos

Os adesivos para reparo sobreposto consistem de uma mistura do tipo 38. Micro esferas são acrescidas às resinas e ao agente de cura. Tudo isso é passado na cavidade do reparo e no miolo de reparo a ser inserido. As micro-esferas podem também ser usadas para controlar a consistência do adesivo de "Potting".

O tipo e localização do reparo determinarão o método de aplicação do adesivo. Por exemplo, um reparo em uma superfície superior usará pouca quantidade de micro-esferas (e o adesivo deve ser despejado na cavidade), enquanto o mesmo reparo em uma superfície inferior usará uma quantidade maior de micro-esferas e terá que ser forçado para dentro da cavidade com uma espátula ou faquinha. Qualquer que seja o método usado, o aditivo deve ser passado uniformemente, sem formar bolhas de ar.

O adesivo tipo 38 adere à temperatura ambiente. Se for necessário uma adesão mais rápida, a área do reparo deve ser pré-aquecida a 130º F e, as peças para reparo, os adesivos aplicados, e toda a área reparada devem ser aquecidos a mesma temperatura por uma hora para completar a adesão.

Depois de completado o reparo, o testamos quanto a qualquer separação ou falha, usando o teste do som metálico.

Miolo de colmeia (Plugue)

Os miolos de colmeia são cortados ligeiramente maiores que a espessura desejada de um pedaço de colmeia de fibra de vidro (Célula de 3/16 da polegada). Eles são lixados até a forma e espessura corretos até a tolerância de ± 0,010 polegadas do tamanho requerido.

Antes de inserir ou montar o miolo na área do reparo, todas as suas faces de contato miolo e da área do reparo devem ser besuntadas com adesivo.

Depois do miolo ter sido instalado na área de reparo, o excedente de "Potting" deve ser removido com um raspador plástico, e a superfície adjacente minuciosamente limpa com um solvente para limpeza.

A área do reparo deve curar 30 minutos a 1 hora. Isso é feito para assegurar que o miolo está firme no lugar antes que qualquer outro passo seja realizado.

Sobreposição de tecido de vidro laminado.

A sobreposição consiste de duas camadas de tecido de vidro número 181 (3 camadas de nº 128) impregnadas com adesivo tipo 38, com duas folhas de filme de poleietileno intercaladas entre ambas.

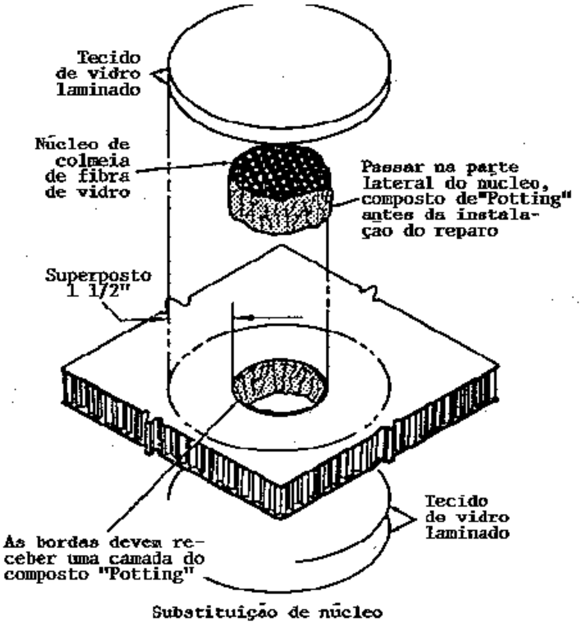
As camadas de tecido de vidro e as folhas de poleietileno são cortadas em tamanho maior que a área danificada (aproximadamente 4 polegadas). Isto é feito para comodar o corte do material sobreposto no tamanho correto, deixando-se uma sobreposição mínima de pelo menos 1/2 polegada além das bordas da área removida.

Antes da aplicação de sobreposição de tecido laminado de vidro sobre o reparo, as superfícies de contato devem ser bem limpas até que não haja vestígios de materiais estranhos. Depois de uma limpeza minuciosa e da secagem, um filme firme e contínuo de base EC-776R (ou igual) é aplicado às superfícies da área. A base adesiva pode secar à temperatura ambiente ou pode ser acelerada por aquecimento a uma temperatura recomendada.

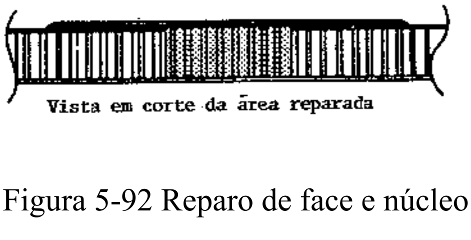
Revestimentos protetores para prevenir erosão e corrosão devem ser aplicados de acordo com os procedimentos adotados no manual de reparos estruturais do fabricante da aeronave. O reparo de uma superfície de controle deve ser checado para estar dentro dos limites de balanceamento ou para requerer um rebalanceamento da superfície.

PROCEDIMENTOS DE REPARO DE UM REVESTIMENTO E DO MIOLO.

Dois métodos típicos de reparos de danos em materiais de revestimento e miolo de colmeias de aeronaves são:



Substituição de núcleo



Vista em corte da área reparada

Figura 5-92 Reparo de face e núcleo.

1) Reparo de face simples com danos estendendo-se através do material do miolo até a linha de cola, no revestimento oposto; e
2) Reparo da área de transição.

Quando o dano à estrutura de colmeia é inspecionado e avaliado como dano a um dos revestimentos e ao miolo (figura 5-92), os procedimentos discutidos nos próximos parágrafos podem ser usados.

Esses procedimentos são típicos, mas podem não se aplicar a todas as aeronaves. Consulta o manual de reparos do fabricante da aeronave em questão, e siga as instruções aplicáveis ao tipo de reparo.

Remoção da área danificada

Uma fresadora e o gabarito aplicável devem ser usados para remover o material danificado.

A profundidade da ponta da fresadora é determinada aumentando-se gradualmente a profundidade do corte até remover toda a área danificada.

Se o miolo estiver apenas parcialmente danificado, o desbastamos até a camada inferior de adesivo.

Preparo da substituição do miolo

A parte substituta deve ser fabricada de colmeia de fibra de vidro. Se a espessura correta não estiver disponível, a peça pode ser desbastada com uma lixa até o tamanho correto. O plug de reparo deverá ficar bem nivelado, com uma tolerância de ± 0,010 polegada.

Potting.

Prepara-se o Potting como a seguir:

1) Selecionar a mistura desejada para o reparo. Usa-se uma mistura viscosa em reparos sobre-cabeça ou para a fixação do miolo. A mistura média ou fina é usada em superfícies superiores.

2) Adicionar micro-esferas à resina e misturar de 3 a 5 minutos.

3) Adicionar o endurecedor à mistura anterior. Mexer por 3 a 5 minutos.

4) Aplicar o potting às bordas do miolo e ao redor das bordas da área danificada na estrutura.

Introdução do miolo (plugue)

Coloca-se o miolo na área danificada como segue:

1) Inserir o miolo na área do reparo.

2) Remover a cola em excesso com um raspador plástico, e limpar a área do reparo minuciosamente.

3) Deixar a cola secar no mínimo por 1/2 a 1 hora à temperatura ambiente, (72ºF) para garantir que o miolo está firme no lugar.

Aplicação de Laminados de Tecido de Vidro.

1) A preparação e a aplicação das seções laminadas de tecido de fibra de vidro necessárias para completar o reparo, devem ser feitas como a seguir.

2) Secar a superfície com o tecido absorvente umedecido em MEC, até que nenhum vestígio de material estranho seja encontrado. Não deixar o MEC secar, removê-lo com uma flanela limpa.

3) Aplicar a base adesiva EC-776R (ou igual) com um pincel de 1 polegada limpo na superfície de contato e deixar secar. O tempo de secagem é de aproximadamente 1 hora em temperatura ambiente de 72ºF. A secagem pode ser acelerada pela aplicação de calor, não excedendo 150ºF. A base deve ser aplicada em um filme fino e contínuo. Não dissolver a base. A base deverá estar seca para uma adesão dos laminados de tecido de vidro.

4) Preparar uma área de trabalho limpa, livre de toda a matéria estranha. Isto geralmente é feito colocando-se uma folha de papel limpo sobre a bancada.

5) Escolher e cortar duas folhas de polietileno aproximadamente 5 polegadas maiores que o tamanho da área danificada.

6) Preparar dois discos de gabarito de chapa de metal fina no tamanho correto das sobreposições laminadas, ou 3 polegadas maior que o dano.

7) Preparar uma mistura de adesivo tipo 38 de acordo com os procedimentos previamente discutidos no texto.

8) Colocar uma folha de polietileno sobre as folha de papel na bancada. As pontas dessas folhas devem ser coladas com fita adesiva à bancada.

9) Despejar um pouco de adesivo tipo 38 sobre a folha de polietileno. Com um raspador plástico, espalhar o adesivo unifomermente sobre o polietileno.

10) Colocar uma camada de tecido de fibra de vidro sobre a área coberta pelo adesivo.

11) Colocar uma quantidade adequada de adesivo tipo 38 sobre a primeira camada de tecido de fibra de vidro para cobrir e penetrar toda a área. Espalhar o adesivo uniformemente sobre a área com um raspador plástico.

12) Aplicar a segunda camada de tecido de vidro da mesma maneira que a primeira.

13) Aplicar uma quantidade suficiente de adesivo tipo 38 sobre a segunda camada, como na primeira.

14) Colocar a folha central e a segunda folha de filme de polietileno sobre as camadas de fibra de vidro impregnadas de adesivo.

15) Com um raspador plástico, remover todas as bolhas de ar em direção às bordas das lâminas, ou camadas. Virar as camadas como necessário na retirada das bolhas.

16) Com uma tesoura, cortar o sanduíche de laminado com polietileno, 1/2 pol a 3/4 pol maior que o tamanho previsto para o reparo.

17) Colocar o sanduíche de laminado/polietileno entre os dois gabaritos que foram previamente fabricados para o reparo.

18) Com uma tesoura, cortar o reparo no tamanho dos gabaritos.

19) Retirar os gabaritos e guardá-los.

20) Remover uma camada de filme de polietileno do sanduíche laminado. Jogar fora.

21) Colocar o reparo laminado do lado com o adesivo para baixo sobre a área ser reparada.

22) Retirar a outra folha de filme de polietileno do topo do reparo laminado. Jogar fora.

23) Cortar outra folha de filme de polegadaietileno, de 3/4 pol a 1 pol maior que o reparo laminado.

24) Posicionar e centralizar essa folha de filme de polietileno sobre o reparo laminado sobreposto.

25) Com um raspador plástico liso, remover qualquer excesso de resina ou bolhas de ar que possam estar presentes dentro do reparo laminado. Esse passo é de extrema importância para a qualidade geral do reparo. Por isso, ele deve ser feito com o maior cuidado e paciência.

26) Limpar a área adjacente ao reparo com metil-etil-cetona. Não deixar que o solvente penetre na junção do reparo.

27) Deixar o reparo curar por pelo menos 12 horas em temperatura ambiente (72ºF), antes de remover a última folha de filme de polietileno.

Reparo em áreas de transição

Alguns painéis colados de colmeia são construídos com um dobrador, separando o revestimento superior do inferior, seccionado em áreas de miolo de colmeia. (Ver figura 5-93). A borda entre essa "ilha" de colmeia e a área laminada é chamada de "área de transição". Os reparos de áreas de transição são particularmente importantes por causa da transferência local de esforços.

A preparação dos materiais e, a montagem e cura dos miolos de reparo, são basicamente as mesmas aplicadas ao revestimento e ao miolo de estruturas em colmeia. Contudo, devido à forma e o contorno da área de transição, especialmente nas bordas das ilhas, deve-se ter especial atenção no corte do miolo da colmeia dessas áreas.

Nesse reparo, quatro camadas de tecido de fibra de vidro impregnado, número 181, são as mais recomendadas para o reparo. A preferência pelo nº 181 é devido à sua flexibilidade e fácil aplicação, particularmente na confecção de reparos para um dos cantos de uma ilha, onde um contorno duplo é encontrado.

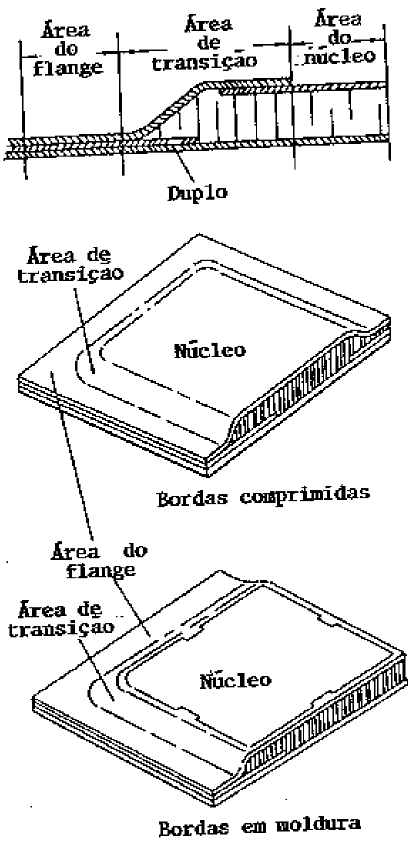


Figura 5-93 Construção típica de painel de colméia colado.

Procedimentos de reparo

Os passos a serem seguidos no reparo de uma área de transição são os seguintes:

1) Esboçar o reparo em formato circular (não excedendo em mais de 2 pol o diâmetro) que abranja toda a área danificada.

2) Usando uma router, remover a área danificada até o revestimento inferior. A profundidade do corte da router é determinada pelo aumento gradual da profundidade do corte até alcançar a camada de adesivo.

3) -Fazer um miolo de colmeia de fibra para substituir o miolo removido. O contorno e a espessura corretos da área de transição podem ser obtidos com lixamento manual ou serragem manual. O plugue de miolo deve ser modelado a fim de encaixar-se perfeitamente, ou com tolerância de ± 0,010 polegada.

4) Preparar o adesivo para o "potting".

5) Besuntar as bordas do plugue de colmeia de fibra com o adesivo. (Ver figura 5-94)

6) Instalar o plugue na área a ser reparada.

7) Preparar o adesivo para o tecido de vidro.

8) Preparar quatro laminados de tecido de vidro - o primeiro com tamanho suficiente para cobrir adequadamente a área danificada sem sobreposição das bordas - os outros 0,25 pol em todos os lados. Os laminados não devem se sobrepor aos prendedores. Se os laminados se estenderem sobre os prendedores (rebites) ou seus furos, corta-se ao redor dos mesmos como mostrado na figura 5-94.

9) Aplicar os quatro laminados à área de reparo como mostrado na vista em corte do reparo, na figura 5-94.

10) Deixar o reparo curar adequadamente.

11) Aplicar a base antierosão/corrosão como especificado.

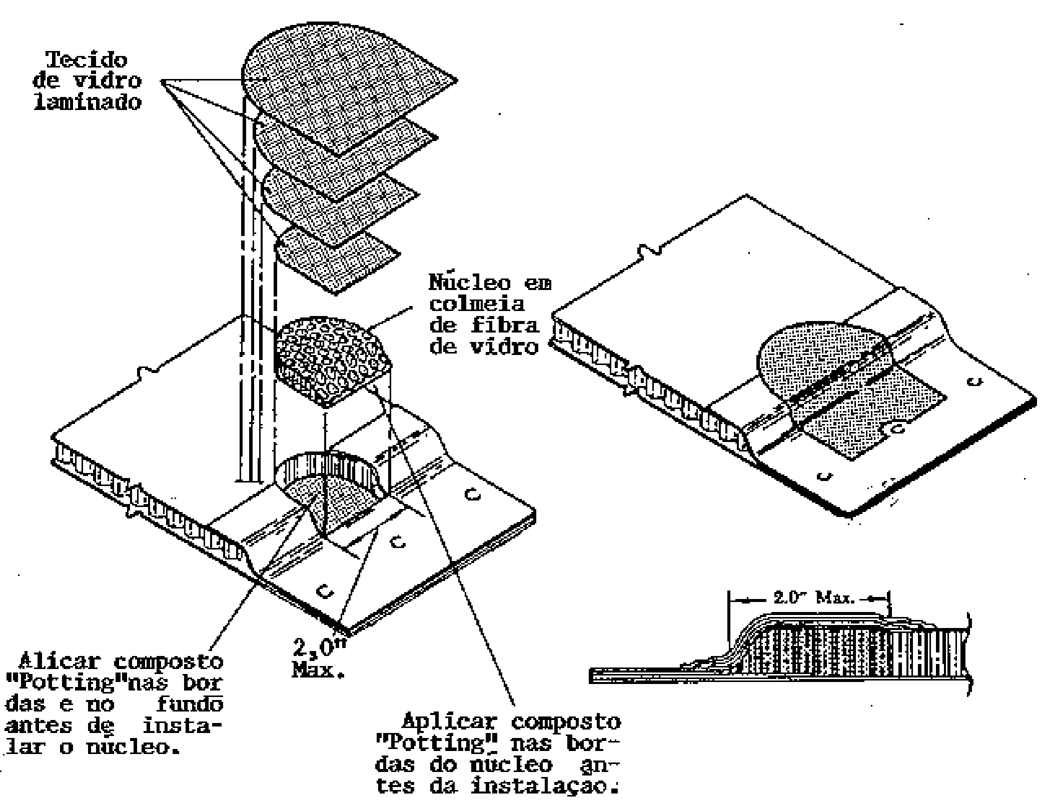

Tecido de vidro laminado
Núcleo em colmeia de fibra de vidro
Alicar composto "Potting"nas bor das e no fundo antes de instalar o núcleo.
2,0" Max.
Aplicar composto "Potting" nas bordas do núcleo antes da instalação.
2.0" Max.

Figura 5-94 Reparo na área de transição.

PLÁSTICO

De acordo com sua origem química, os plásticos classificam-se em 4 grupos gerais: (1) resinas naturais, (2) resinas sintéticas, (3) proteínas, e (4) celuloses. As resinas naturais incluem materiais como goma-laca (shellac), breu, âmbar, asfalto e resina. Esse materiais requerem um enchimento para sua moldagem.

As resinas sintéticas são à base de petróleo, glicerol, nafta, cianamido de cálcio, benzeno, uréia, etileno, fenol e formaldeído. Os produtos feitos à base de resinas sintéticas incluem os acrílicos, o nylon, o vinil, o estireno, o polietileno, o formaldeído de uréia e outros.

Os plásticos à base de proteína são fabricados sobre a variedade de produtos da agricultura, como o amendoim, castanhas, leite, grãos de café e soja.

Os plásticos de celulose são a categoria mais antiga, e incluem o celuloíde.

Outros plásticos que se enquadram nessa classe são o acetato, o nitrato, a etil-celulose, o butirato e o propionato.

Quase todos os plásticos modernos são moldados. Contudo, hoje, uma grande porcentagem dos plásticos que conhecemos e usamos são fundidos, trabalhados à máquina, laminados, aplanados, ou moldados por outros métodos.

PLÁSTICOS TRANSPARENTES

Dois tipos de plásticos transparentes usados em janelas, capotas e coberturas transparentes são termoplásticos ou materiais termocuráveis. Os termoplásticos são originalmente duros, mas tornam-se macios quando expostos ao calor. Quando maleável, o plástico pode ser moldado; e, à medida que resfria, reterá a forma moldada. Quando novamente aquecido e resfriado sem restrições, o plástico volta a sua forma original. Esse processo pode ser repetido muitas vezes sem danificar o material, a menos que as faixas de calor especificadas sejam excedidas.

Os plásticos termocuráveis são moldados e resfriados, e mantidos no formato desejado. O reaquecimento não fará com que o material fique novamente maleável e utilizável. Uma vez moldados, eles retêm a forma e não podem ser remoldados e retrabalhados.

Cada um desses tipos de plásticos transparentes está disponível tanto na forma monolítica como na forma laminada. As folhas de plástico monolítico são produzidas em chapas sólidas e uniformes. As folhas de plástico laminado são feitas com folhas de face transparente coladas a uma camada interna de material, geralmente polivinil-butirol.

Considerações óticas

As qualidades óticas do material transparente, usado em carlingas e capotas de aeronaves devem ser tão boas quanto as de vidro. A habilidade de visualizar outras aeronaves em vôo, e a percepção de profundidade necessária ao pouso, requerem um meio que possa rapidamente ser moldado em formas aerodinâmicas e, ainda assim, não criar distorções de nenhum tipo. Tal meio deve ter uma manutenção e reparo simples.

Além de sua facilidade de fabricação e manutenção, os plásticos possuem outras características que os tornam melhores que o vidro para o uso em compartimentos transparentes. Os plásticos quebram-se em grandes pedaços de bordas rombudas, possuem baixa absorção de água e não se quebram facilmente devido à vibração. Mas por outro lado, apesar de não serem condutores de eletricidade, tornam-se altamente eletrostáticos quando polidos.

Os plásticos não possuem a dureza superficial do vidro, sendo mais facilmente arranháveis. Uma vez que os arranhões obstruem a visão, deve-se ter cuidado na manutenção da aeronave. Procedimentos específicos para evitar danos em peças de plástico transparente são discutidos nesse capítulo.

Regras gerais a serem seguidas:

1) Manusear os materiais de plástico transparente somente com luvas de algodão limpas.

2) Nunca usar solventes como naftas, gasolina etc.

3) Seguir rigorosamente as instruções aplicáveis de fabricação, reparo, instalação e manutenção.

4) Evitar operações que possam arranhar ou distorcer a superfície do plástico. Ter o cuidado para não arranhar o plástico com anéis ou outros objetos pontudos.

Identificação.

A identificação dos plásticos transparentes, usados em aeronaves, pode ser determinada pelo número da especificação MIL estampado na peça. Os números MIL mais comuns, e os tipos de materiais, são vistos na figura 5-95.

Se as peças não estiverem marcadas, as informações nos parágrafos a seguir ajudarão a identificar os materiais.

Gabinetes de plástico transparente, e de placas de vidro, podem ser distinguidos batendo-se com um pequeno instrumento que não risque.

O plástico produzirá um som suave, enquanto o vidro soará como um metal.

Poucos plásticos transparentes são incolores quando vistos nas bordas; alguns são praticamente incolores, enquanto outros apresentam uma pequena coloração amarelada ou azulada, ou azul-esverdeada.

Especificações	Tipo de Material	Cor da Borda
Termoplásticos		
MIL-P-6886	Acrílico Comum	Praticamente claro
MIL-P-5425	Resistente ao Calor	Praticamente claro
MIL-P-8184	Resistente a Rachadura	Ligeiramente Amarelo
Termocura		
MIL-P-8257	Poliester	Azul-Verde
Laminado		
MIL-P-7524	laminado MIL-P-5425	Praticamente claro
MIL-P-25374	laminado MIL-P-8184	Ligeiramente Amarelo
Base	Nome	Características
Acrilato	Plexiglas	Ausência de cor
	Lucite	Maior Transparência
	Perpex (Inglês)	Mais reforçado
Acetato de Celulose	Fibestos	Ligeiramente Amarelo
	Lumarith	Maior Flexibilidade
	Plastacele	Maior Transparência
	Nixonite	Mais macio

Figura 5-95 Características dos Plásticos.

Os plásticos de acetato de celulose possuem uma coloração amarelada quando olhados pelas bordas, e são mais macios que os plásticos acrílicos.

Tanto os plásticos acrílicos como os de acetato de celulose possuem cheiro característico, especialmente quando aquecidos ou queimados.

Queimando-se uma pequena amostra é um método muito confiável de identificação. O odor do acrílico é agradável, mas o do acetato é repugnante. O acrílico queimado produz uma chama inconstante com fumaça negra.

Esses plásticos também podem ser identificados pela aplicação de acetona ou cloreto de zinco. Esfrega-se uma área do plástico com uma solução de acetona, onde não afete a visibilidade.

Depois assopra-se a área. Se o plástico for acrílico, ele ficará branco; se ele for acetato, ficara mais macio, mas não mudará de cor. Uma gota de cloreto de zinco sobre um plástico de acetato fará com que ele fique leitoso, porém não afetará o acrílico.

ARMAZENAGEM E PROTEÇÃO

Os plásticos transparentes ficarão mais macios e deformar-se-ão quando suficientemente aquecidos. Por isso, as áreas de armazenamento sujeitas a altas temperaturas devem ser evitadas. As folhas de plástico devem ficar longe de aquecedores, radiadores, e canos de vapor ou de água quente. A armazenagem deve ser feita em local fresco e seco, longe de vapores de solventes (tais como os que podem existir perto de latas de tinta aerosol, e áreas de armazenamento de tintas). As folhas de plástico transparente, cobertas com papel, não devem ser expostas às intempéries. Os raios diretos do sol acelerarão a deteriorização do papel protetor adesivo, fazendo com que ele cole de tal forma que dificulte a sua remoção.

As folhas de plástico devem ser armazenadas, com o papel protetor, em compartimentos inclinados aproximadamente 10º da vertical para evitar o empenamento. Se for necessário armazenar as folhas de plástico na horizontal, deve-se tomar o cuidado para que não haja sujeira ou pedrinhas entre as elas. O empilhamento máximo não deve exceder 18 polegadas de altura, e as folhas menores devem ser empilhadas sobre as maiores, para evitar bordas excedentes sem apoio.

O papel protetor deve ser mantido no plástico o máximo possível. Deve-se evitar arranhões e marcas no manuseio das folhas sobre mesas sujas.

Partes moldadas devem ser armazenadas de modo que estejam bem escoradas e não haja tendência à mudança de forma. Deve-se evitar abrigos verticais.

Afaste-se as partes moldadas de temperaturas maiores que 49º C (120ºF). A proteção contra arranhões pode ser feita pela aplicação de um revestimento protetor como o papel, cartolina, e etc.

Se o adesivo do papel deteriorar-se devido ao armazenamento prolongado ou inadequado, dificultando sua remoção, molhamos o papel com nafta alifática. Ela dissolverá o adesivo. As folhas tratadas assim devem ser imediatamente lavadas em água limpa.

A nafta alifática é altamente volátil e inflamável. Devemos ter muito cuidado na aplicação desse solvente.

Não se usa gasolina, álcool, querosene, benzeno, xileno, cetonas (incluindo acetona, tetracloreto de carbono, extintores de incêndio, ou fluido de degelo), thinners, hidrocarbonetos aromáticos, éteres, compostos para a limpeza de vidros ou outros solventes não aprovados para plásticos acrílicos transparentes, a fim de remover o papel protetor ou outros materiais estranhos, pois eles podem amolecer ou rachar a superfície dos plásticos.

Quando for necessário remover o papel protetor da placa de plástico durante sua fabricação, a superfície deverá ser novamente protegida logo que possível, ou, substituído o papel original nas partes relativamente planas, ou aplicado um revestimento protetor nas partes curvas.

Certos revestimentos protetores em aerossol são fornecidos para peças moldadas. A espessura do revestimento deve ser no mínimo de 0,009 pol. Um pedaço de tecido deve ser embebido no revestimento no momento da aplicação para ajudar na remoção do protetor.

Os revestimentos que permaneçem em peças moldadas por 12 a 18 meses tornam-se difíceis de remover. Em nenhuma circunstância deverá o plástico transparente ou as peças moldadas, revestidas com esse material, serem armazenados ao ar livre, sujeito ao Sol por mais de 4 meses.

Para remover o revestimento em aerossol do plástico, o descascamos ou levantamos uma das pontas do filme, e inserimos um fluxo de ar sobre pressão.

Se a camada for muito fina para ser removida como um filme contínuo, aplicamos uma nova demão do composto, reforçado com uma camada de tecido, obtendo um filme mais espesso. Deixamos secar. Ensopando-se a peça revestida; usando-se uma flanela limpa saturada com água morna ajudará a soltar o filme, de forma que ele possa ser descascado manualmente. Nunca se deve usar solvente.

Deve-se ter extremo cuidado para não arranhar a superfície do plástico. Jamais devemos empregar ferramentas para remover o filme, pois há perigo de arranhões.

MOLDAGEM DE PLÁSTICOS

Os plásticos transparentes tornam-se macios e maleáveis quando aquecidos às suas respectivas temperaturas de moldagem.

Eles podem, então, ser moldados em quase qualquer forma; e, após o resfriamento, o material retém a forma, exceto quanto a uma pequena contração.

Não é bom moldar a frio os plásticos transparentes (ou seja, empená-los sem aquecimento).

Os plásticos transparentes podem ser dobrados a frio (curva única) se forem finos e se o raio da curva for de pelo menos 180 vezes a espessura da chapa.

Por exemplo, um pedaço de plástico transparente com 18 pol de comprimento e 0,250 pol de espessura deve ser defletido mais de 3/4 de polegada.

A dobragem a frio, além desses limites, poderá resultar em minúsculas fissuras na superfície do plástico devido ao estresse imposto, além do recomendado para carga contínua.

Para moldagem a quente, os plásticos transparentes devem ser mantidos à temperatura adequada recomendada pelo fabricante.

Processos de fabricação

A fabricação de plásticos transparentes pode geralmente ser comparada a de madeiras ou metais macios. Mão de obra especializada, equipamento adequado e um desenho próprio não são menos essenciais à fabricação de plásticos transparentes, do que em outros materiais utilizáveis por métodos semelhantes. Equipamentos utilizados em serviços leves e médios em madeira, com pequenas modificações são satisfatórios, porém máquinas pesadas menos suscetíveis a vibrações são melhores.

Quando não for requerida extrema precisão, o serviço pode ser esboçado a lápis diretamente sobre o papel protetor.

Para uma precisão maior, contudo, é bom riscar as linhas diretamente sobre a superfície do plástico. Usa-se ângulos retos ou gabaritos para desenho de acordo com a necessidade do serviço. Se o papel protetor for removido antes de riscar, ele deve ser substituído nas áreas internas do desenho com uma margem de 1/4 de polegada, antes do corte da peça.

Os gabaritos de desenho podem ser de plástico, aos quais alças adequadas podem ser coladas. Bordas cortantes ou pontos ásperos nesses gabaritos devem ser cuidadosamente arredondados.

No caso de gabaritos metálicos é bom colarmos uma flanela sobre os superfícies de contato.

Corte

A riscagem e o lixamento das bordas são os métodos de corte mais usados em seções planas ou peças curvas em duas dimensões. A placa é, primeiramente, cortada no formato aproximado com uma serra de fita, usando uma linha riscada como guia e cortando com uma margem de aproximadamente 1/16 de polegada.

Usa-se discos de lixa para remover o material dos lados retos ou de curvas externas. Usa-se lixas de tambor para os lados com curva interna. No lixamento de formas irregulares ou peças grandes de difícil manuseio ao redor de uma máquina fixa, utiliza-se uma lixadeira manual a ar comprimido ou elétrica.

Furação

Para obtermos tanto precisão quanto segurança, seguramos a peça com grampos ou fixadores adequados. As brocas comumente usadas para metais macios podem ser usadas satisfatoriamente em plásticos, com os cuidados normais observados. Contudo, os melhores resultados são obtidos se as brocas forem apontadas tendo as seguintes recomendações em mente:

1) A broca não deve ter dentes que possam comprometer o acabamento da superfície.

2) O ângulo de saída ou caimento da ponta da broca deverá ser zero.

3) O tamanho da aresta cortante (e portanto a largura do lábio) pode ser reduzido, aumentando-se o ângulo da broca. (Ver figura 5-96)

Usamos brocas com canais polidos e levemente espiralados. Os canais devem ser tão largos quanto possível.

O melhor lubrificante e arrefecedor para a furação é um óleo solúvel em água. Para fazer furos médios ou rasos não é necessário o arrefecedor. Para os furos fundos necessita-se de um arrefecedor.

Furos profundos transparentes e mais limpos podem ser produzidos fazendo-se um furo piloto, primeiro um pouco maior que a metade do diâmetro do furo final, enchendo esse furo com cera e depois furando até o diâmetro final. Se o furo piloto transpassar o “Plexiglass”, ele deverá estar apoiado sobre madeira para tampar o furo e permitir que a cera atue.

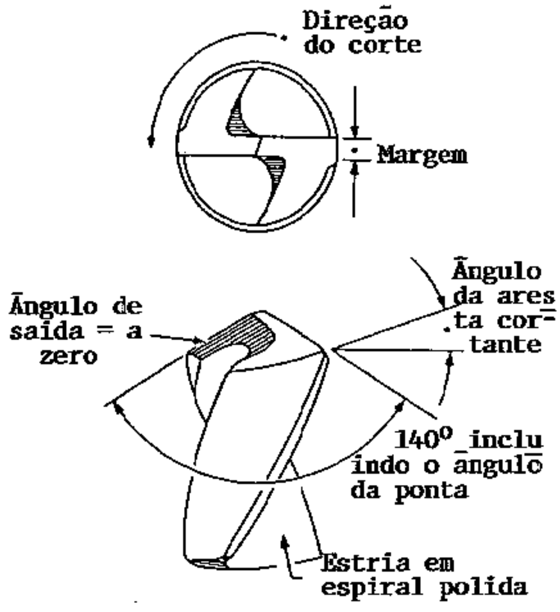


Figura 5-96 Broca para plástico.

A cera lubrifica o corte e suporta o material expelido durante a furação. No “Plexiglas” transparente o furo resultante é mais limpo, suave e transparente que os furos produzidos por outros métodos. Os furos largos podem ser cortados com brocas ocas, serras em círculo, cortadores ou trépanos. Todas essas ferramentas podem ser usadas na furadeira de coluna ou em furadeiras manuais.

Em geral, a velocidade de furação do “plexiglass” depende largamente da qualidade do equipamento usado. O “plexiglass” pode ser furado numa velocidade em que a broca não patine suficientemente para afetar o acabamento do furo. Contudo, os furos de largo diâmetro requerem velocidades menores de rotação para gerar melhores resultados. Além disso, o “plexiglass” deve ser apoiado sobre madeira e a introdução deve ser reduzida à medida que a broca transpassa a chapa.

Sempre que os furos transpassarem o “plexiglass”, as brocas padronizadas devem ser modificadas para um ângulo de ponta de 60º, o ângulo de saída da borda cortante a 0º, e o ângulo de inclinação da borda cortante de 12º a 15º.

As brocas especialmente modificadas para “plexiglass” estão disponíveis em distribuidores e revendedores autorizados.

Para maior precisão e segurança, as peças de “plexiglass” devem ser bem presas e seguras durante a furação.

FUROS RASOS - A proporção entre profundidade e diâmetro de menos que 1 1/2 por 1, utilizam baixa torção espiral com canais largos modificados para furos transparentes. A remoção de cavacos não é problema na furação de furos rasos, e também não é necessário um resfriador.

FUROS MÉDIOS - Furos com proporção profundidade/diâmetro de 1 1/2 por 1 até 3 por 1. Usamos brocas com baixa torção espiral com canais polidos, que devem ser o mais largos possível, para auxiliar na remoção de uma tira contínua de material. O melhor ângulo interno de ponta, entre 60º e 140º, dependerá do tamanho dos canais. O ângulo de inclinação da borda deve ser de 12º a 15º.

A introdução da broca deve ser controlada de forma que uma tira constante seja cortada e removida, sem superaquecer o plástico na ponta da broca. Não é necessário usar um resfriador para furos com proporção até 3 por 1, apesar de que um jato de ar comprimido dirigido para o furo durante a furação ajuda bastante. Brocas com espirais extra-largas e ar comprimido podem extrair um cavaco contínuo dos furos com proporção até 5 por 1.

FUROS FUNDOS - A proporção profundidade/diâmetro maior que 3 por 1.

Usamos brocas com torção espiral lenta com largos canais polidos e um ângulo incluso de 140º. Esse ângulo mais aberto na ponta resulta em uma menor borda cortante e num cavaco mais fino. O ângulo de inclinação da borda deve ser de 12º a 15º. A introdução deve ser lenta - aproximadamente 2 1/2" por minuto (de forma que forme pó ao invés de raspas ou um cavaco contínuo). Um resfriador é necessário em furos fundos para evitar marcas ou queimaduras na superfície do furo.

O ar comprimido pode ser usado como um resfriador para furos com proporção até 5 por 1. A água, ou, água e óleo também podem ser usados como resfriadores.

Quando aplicados no furo de entrada, o resfriador é bombeado para fora pela broca, e raramente alcança a ponta da broca. Um óleo padrão pode ser usado para garantir a chegada do resfriador até a ponta da broca. O resfriador também pode ser aplicado através de um furo piloto com 95% da profundidade total, ou furado pelo lado oposto.

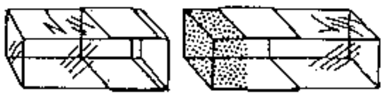
Colagem

Com cuidado e os procedimentos adequados é possível obter uma junta colada, cuja resistência se aproxima da resistência do plástico original. A colagem de plásticos acrílicos transparentes depende da interligação das duas superfícies da junta, de forma que exista uma coesão real.

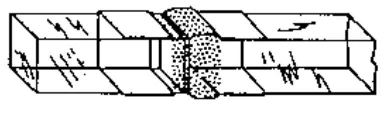
Para gerar a coesão, um solvente orgânico líquido é usado para atacar o plástico, produzindo uma camada macia bem definida chamada de almofada, como mostra a figura 5-97.

O método mais comum de colagem de plásticos transparentes é o "método molhado". Ele consiste na imersão de uma das duas partes a serem coladas no solvente, até que uma almofada suficiente seja formada.

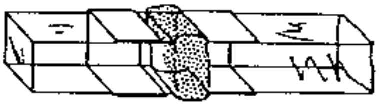
Quando essa superfície é pressionada contra a superfície seca, o solvente em excesso produz interligação das duas superfícies, como mostrado na figura 5-97.



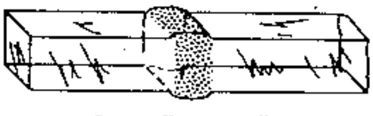
Antes do contato



Apenas encostado



Junta sob pressão



Junta "secando".
Almofada endurecendo

Figura 5-97 Colagem com solvente.

Às vezes, por conveniência, raspas de plástico transparente, do mesmo tipo do plástico a ser colado, são dissolvidas para dar uma consistência mais espessa e serem aplicadas como uma cola. Essa cola viscosa, contudo, age exatamente pelo mesmo princípio do solvente molhado; por exemplo, o solvente excedente amacia e incha as superfícies, permitindo uma interligação das almofadas e a formação de uma cola coesiva, como mostra a figura 5-98.

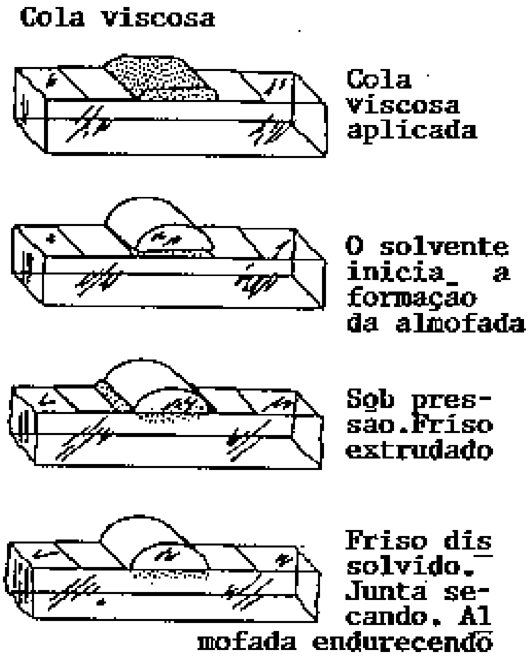

Cola viscosa
Cola viscosa aplicada
O solvente inicia a formação da almofada
Sob pressão. Friso extrudado
Friso dissolvido. Junta secando. Almofada endurecendo

Figura 5-98 Colagem com cola viscosa.

Uma junta com solvente nunca seca completamente; ou seja, ela nunca fica totalmente livre do solvente. Se a temperatura for aumentada, a almofada aumentará devagar até que um novo equilíbrio seja alcançado, como mostra a figura 5-99.

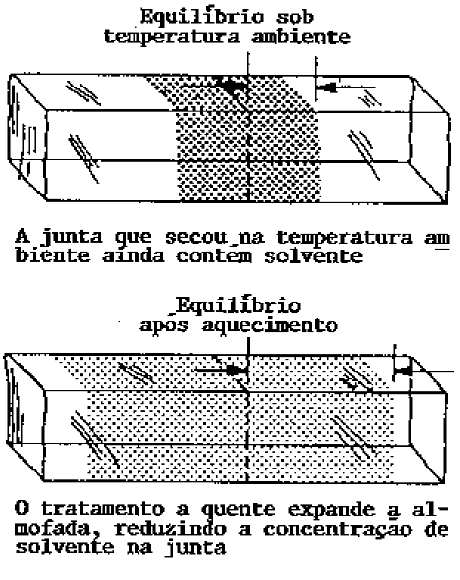

Equilíbrio sob temperatura ambiente
A junta que secou na temperatura ambiente ainda contém solvente
Equilíbrio após aquecimento
O tratamento a quente expande a almofada, reduzindo a concentração de solvente na junta

Figura 5-99 Efeitos do tratamento a quente.

Durante o resfriamento, a almofada diminuirá e endurecerá correspondentemente, uma vez que contenha menos solvente por unidade de volume. Aquecendo-se uma junta com solvente, tempo bastante para expandir sua almofada, irá produzir uma junta bem mais forte.

As juntas coladas devem receber calor com cautela. O calor primeiramente ativa o solvente, que amacia a almofada. A almofada então expande-se vagarosamente à medida que o solvente penetra no material. No tratamento térmico, é importante que a temperatura não se aproxime do ponto de amolecimento do plástico.

É importante que a junta esteja bem endurecida antes de ser aparada, lixada ou polida para remover os ressaltos.

Cuidados e manutenção

A visão é tão vital em uma aeronave, que a manutenção diária de painéis transparentes é da maior importância. Métodos de manutenção adequados devem ser aplicados sempre que a visão for comprometida como resultado de ação física ou química, ou defeitos, e todos os esforços devem ser feitos para eliminar possíveis danos à aeronave durante a manutenção.

A substituição de painéis de plástico transparente é causada pelo rachamento, aparentemente causado pela exposição de solventes perigosos e manuseio inadequado da manutenção. O rachamento é um grupo de rachaduras, estendendo-se em todas as direções sobre a superfície do plástico. Elas também podem ocorrer dentro do plástico ou próximo a juntas coladas.

O uso de fluidos de limpeza inadequados é uma das causas mais comuns dessas dificuldades. A ação de rachamento de um solvente é geralmente retardada; ou seja, o rachamento pode não se apresentar por várias semanas após a exposição aos solventes ou vapores. Nem sempre é possível determinar imediatamente, por um simples teste, se um limpador será danoso ou não. Para minimizar os danos, as precauções discutidas nos próximos parágrafos devem ser observadas.

A remoção rotineira do filme protetor e outros selos operacionais, onde o polimento para a remoção de arranhões não é requerido, pode ser realizada com o uso de soluções aquosas de detergente. Duas soluções recomendadas são: agente úmido, sintético, não-iônico, de acordo com a Especificação Militar MIL-D-16791; ou agente úmido, alquil sulfonato sulfato, 40% ativo.

Esses materiais devem ser usados em concentrações de 2 ou 3 onças por galão de água. Eles devem ser aplicados com flanelas macias ou esponjas de celulose fotográfica sem uso. Os líquidos limpadores e polidores, de acordo com a especificação MIL-C-18767 darão resultados satisfatórios.

Na limpeza de superfícies externas, tira-se sempre os anéis dos dedos antes de lavar plásticos transparentes. O procedimento de limpeza compõe-se dos seguintes passos:

1) Molhar a superfície de plástico sob um fluxo de água, com as mãos nuas para sentir as possíveis sujeiras e removê-las mais facilmente.

2) Lavar com sabão neutro e água. Certificar-se de que a água está livre de abrasivos. Uma flanela macia, esponja ou camurça, pode ser usada na lavagem. Passar a mão nua sobre a superfície para detectar qualquer sujeira remanescente.

3) Secar com uma camurça limpa, uma flanela limpa, ou um tecido macio. Não esfregar o plástico depois que ele estiver seco. Isso não só arranha, como mas também cria uma carga eletrostática que atrai a poeira. Se a superfície ficar eletrizada, a passagem de uma camurça úmida removerá a carga elétrica e a poeira.

4) Nunca usar um pano grosso ou áspero para dar polimento.

O procedimento para limpeza interna consiste em 3 passos:

1) Limpar a superfície do plástico com um tecido limpo e saturado com água. Não usar um pano seco.

2) Secar cuidadosamente com um tecido limpo úmido ou esponja. Manter a esponja ou o tecido livre de partículas, enxaguando-o freqüentemente com água limpa.

3) Limpar com um limpador aprovado.

Em climas quentes, os painéis transparentes das aeronaves estacionadas podem absorver calor suficiente para amolecerem e distorcerem-se, a menos que certas precauções sejam tomadas. Painéis plásticos instalados em uma aeronave estacionada ao sol podem receber calor diretamente de 3 fontes.

O plástico transparente possui a propriedade de absorver, seletivamente, os raios de sol, de forma que o plástico fique consideravelmente mais quente que o ar no interior ou no exterior da aeronave.

O ar interno da aeronave transfere o calor irradiado pelos membros metálicos para os painéis plásticos.

Para evitar a deformação por calor, dos painéis plásticos das aeronaves estacionadas ao sol, recomenda-se as seguintes precauções:

1) Se a temperatura do ar adjacente estiver abaixo de 35ºC, não será necessário tomar nenhuma precaução especial.

2) Se a temperatura do ar adjacente estiver entre 35ºC e 45ºC, as janelas devem ser abertas o suficiente para permitir a circulação do ar livre através da aeronave.

3) Se a temperatura do ar adjacente for maior que 45ºC, o painel deve ser aberto e protegido do sol por uma cobertura adequada que não encoste no plástico. Se possível, a aeronave deve ser estacionada na sombra.

4) Para remover a cobertura dos painéis plásticos, devemos levantá-los; deslizá-los sobre as janelas poderá provocar arranhões.

Os compostos para decapagem, os desengraxantes e o polimento, bem como a maioria dos solventes orgânicos, causarão danos graves aos plásticos acrílicos transparentes. Todos esses painéis devem ser removidos antes de começar a decapagem, e não devem ser reinstalados até que a limpeza e a pintura estejam terminadas e a tinta esteja bem seca, uma vez que esses compostos provocam rachaduras no plástico. As partes plásticas devem ser removidas da área onde a decapagem, desengraxamento ou pintura está sendo feita. As partes devem ser cobertas com tecidos macios.

Se não for possível remover um painel plástico, devemos cortar uma folha de polietileno (com no mínimo 0,010 polegada de espessura e sem furos) exatamente do tamanho da janela. A folha de polietileno deve cobrir perfeitamente a superfície da janela de plástico, e as bordas devem ser aderidas com uma fita de pelo menos 2 pol de largura para permitir pelo menos uma vedação de 1 polegada na aeronave e na folha de polietileno.

Nenhum líquido ou vapor possa atravessar até a janela. É importante que toda a superfície da janela seja recoberta e que nenhuma ferramenta cortante seja usada para remover a cobertura.

Folha de alumínio não é satisfatória como proteção contra pintura (e outros aerossóis que contenham solventes) devido à sua baixa resistência a cortes. Qualquer revestimento protetor de acordo com a Especificação Militar MIL-C-6799, é satisfatório como proteção contra tinta e outros aerossóis que contêm solventes.

Não lixe plásticos transparentes a menos que seja absolutamente necessário. Arranhões com profundidade máxima de 0,001 pol não devem ser polidos, para não prejudicarem a visibilidade.

PROCEDIMENTOS DE INSTALAÇÃO

Há diversos métodos para a instalação de painéis de plástico transparente em aeronaves. O método utilizado pelo fabricante dependerá da posição do painel na aeronave, dos estresses aos quais ele estará sujeito, e de uma série de outros fatores. Durante a instalação de um painel de reposição, segue-se o mesmo método usado pelo fabricante da aeronave.

Quando for encontrada dificuldade na instalação de rebites pode-se utilizar parafusos na instalação de painéis de reposição, desde que os requisitos de resistência original do fabricante sejam mantidos e que os parafusos não incomodem os equipamentos próximos.

Em alguns casos esses painéis novos não se encaixam exatamente no lugar. Sempre que for necessário ajustar um painel de reposição, deve-se consultar, se possível, o desenho original para verificar as folgas previstas. Os princípios a seguir devem ser considerados na instalação de todos os painéis de reposição.

O encaixe e o manuseio devem ser feitos com o papel protetor instalado. Não se risca o plástico através do papel protetor. Nas bordas onde materiais transparentes serão cobertos, ou fixados, o papel protetor é removido. Quando submetidos a grandes estresses, os plásticos transparentes tendem a rachar. É muito importante que esses plásticos sejam instalados de forma que esses estresses sejam evitados.

Uma vez que os plásticos transparentes são quebradiços em baixas temperaturas, deve-se ter cuidado para evitar rachamento durante a manutenção.

As partes de plástico transparente devem ser instaladas à temperatura ambiente, se possível.

Nunca forçamos um painel de plástico a fim de encaixá-lo.

Se o substituto não encaixar facilmente no montante, procuramos outro substituto ou lixamos o painel o bastante para obter o tamanho exato que se encaixe na moldura.

Remoldamos as áreas do painel, pois os métodos de aquecimento local são, em geral, apenas superficiais e não reduzem as concentrações de estresse.

Dimensões do painel em pol. **	Tolerância dimensional em pol. *	
	Exigido para expansão de 25° C (77° F) a 70° C (158° F)	Exigido para expansão de 25° C (77° F) a -55° C (-67°F)
12	0.031	0.050
24	0.062	0.100
36	0.093	0.150
48	0.124	0.200
60	0.155	0.250
72	0.186	0.300

* Onde a configuração de uma parte curva é tal que aumenta o tamanho devido ao contorno, as limitações devem ser reduzidas se não resultar em estresse localizado. Instalações que permitam variação linear em ambas extremidades requerem metade da folga listada.

** Para outras medidas que não sejam as apresentadas use a folga proporcional.

Figura 5-100 Tolerâncias de expansão e contração.

Uma vez que o plástico se expande e contrai aproximadamente 3 vezes mais que o metal, deve-se prever uma margem adequada para as mudanças dimensionais por temperatura. Usamos os valores mostrados na figura 5-100, como as folgas mínimas entre a estrutura e os plásticos.

Montagens com parafusos e rebites

Nas instalações com parafusos, devem ser usadas porcas de espaçamento para evitar um aperto excessivo do parafuso. Sempre que tais dispositivos forem usados pelo fabricante da aeronave, eles devem ser mantidos nas substituições.

Para assegurar uma instalação duradoura, dá-se atenção especial aos seguintes fatores:

1) Usar tantos parafusos ou rebites quantos possíveis.

2) Distribuir os estresses totais tão igualmente quanto possível pelos parafusos e rebites.

3) Assegurar-se de que os furos feitos no plástico sejam suficientemente largos para permitir a expansão e a compressão do plástico em relação à estrutura.
4) Assegurar-se de que os furos no plástico sejam concêntricos com os furos na estrutura, de forma que a maior expansão relativa do plástico não force uma borda dos furos. Os furos devem ser lisos e livres de cavacos ou rugosidades.
5) Utilizar espaçadores sobmedida, ou qualquer outro dispositivo para proteger o plástico da pressão direta.

Fixação das bordas por fibra sintética.

As fixações mais modernas de plásticos transparentes são feitas de fibras sintéticas, especialmente impregnadas com resinas plásticas. As fibras mais comumente usadas são a de vidro, orlon, nylon e dacron.

Fixações com reforço laminado são o tipo preferido, especialmente quando a montagem com parafusos ou rebites é necessária. As bordas têm a vantagem de distribuir mais eficientemente a carga, reduzindo as falhas causadas pela expansão técnica diferencial.

As fixações com bordas laminadas podem ser montadas através de quaisquer dos métodos sugeridos, com quaisquer furos necessários feitos através do material de fixação das bordas sem perfurar o plástico transparente.

O método mais eficiente de fixar uma borda laminada é através do método do "furo ranhurado". Os furos ranhurados ficam na fixação das bordas e permitem a expansão térmica diferencial.

Fixações por anéis de tecido são às vezes adicionadas ao material plástico com um cabo ou extensão contida dentro do anel. Uma extensão especial é necessária para conter o anel e o cabo.

PLÁSTICOS LAMINADOS

Os painéis de plástico laminado são feitos, colando-se duas camadas de folhas monolíticas transparentes com uma camada interna de plástico macio. Eles são instalados em aeronaves pressurizadas devido a sua maior resistência ao estilhaçamento e à descompressão explosiva, quando comparado aos painéis de plástico monolítico.

Plásticos à base de acetato de celulose.

Em geral, os métodos usados para a fabricação, reparo e manutenção de plásticos à base de acetato de celulose são semelhantes aos usados para plásticos acrílicos. No manuseio de plásticos à base de acetato de celulose, atentamos para as seguintes variações e adições às recomendações já dadas para os plásticos acrílicos.

Uma vez que a composição química dos plásticos à base de acetato diferem em relação aos acrílicos, a cola usada é do tipo diferente. Geralmente, dois tipos são usados, o solvente e o dope.

A cola tipo solvente é geralmente usada onde a transparência deve ser mantida na junta. Ela seca relativamente rápido e adapta-se bem ao uso em reparos de emergência. Contudo, mesmo secando rápido, seu tempo de secagem variará de acordo com o tamanho da junta e as condições meteorológicas. A acetona pode ser usada como uma cola solvente.

A cola tipo dope é preferida para uso onde as superfícies a serem unidas não se encaixam perfeitamente.

Essa cola amolece as superfícies da junta e, ao mesmo tempo, cria uma camada entre as partes a serem coladas. Contudo, ela não forma uma junta transparente e seca mais lentamente que o solvente. Ela leva de 12 a 24 horas para endurecer totalmente.

Uma vez que as taxas de contração e expansão dos plásticos à base de acetato são maiores que as dos acrílicos, deixamos maiores folgas em suas montagens. Esses plásticos são afetados pela umidade e incham à medida que absorvem água. Em geral, deixamos uma folga de 1/8 da polegada para cada pé de comprimento para a expansão, e 3/16 da polegada por pé para a contração.

COMPONENTES DE FIBRA DE VIDRO

Devido a sua inigualável taxa resistência/peso, a habilidade de ser atravessado por ondas de rádio e radar, a facilidade de moldagem em contornos, a imunidade a mofo, e às características de resistência às intempéries e adaptabilidade a numerosos lugares e formatos, a fibra de vidro é um material versátil com numerosas aplicações na construção das aeronaves modernas. Algumas das aplicações são radomes, carenagens de antenas e caixas de junção.

A fibra de vidro é feita a partir de esferas de vidro especiais. Através de um processo de fabricação, o vidro é transformado em fibras que podem resultar em um tecido, uma manta moldável ou um fio. O fio é usado para produzir peças moldadas. O tecido de fibra de vidro é usado na produção de formas laminadas ou no reparo de peças laminadas. Outro uso é no reparo de estruturas metálicas.

Peças de manta moldada

Partes não-estruturais, tais como caixas de junção, dutos de aquecimento, blindagens de relés e, outras aplicações elétricas, são feitas de mantas de fibra de vidro. A manta de fibra de vidro moldada é feita de pequenos pedaços de fibra moldados em forma de tela. Os conjuntos são fabricados por um processo onde as fibras são moldadas ao redor de uma fôrma, e coladas através de uma resina, e curada sob temperatura e pressão.

O descuido no manuseio ou remoção de peças de manta moldada podem danificar o conjunto. A vibração pode ser mais uma causa de rachaduras nos conjuntos. Os danos geralmente consistem em furos ou rachaduras (figura 5-101). Procedimentos semelhantes de reparo são usados para ambos os danos.

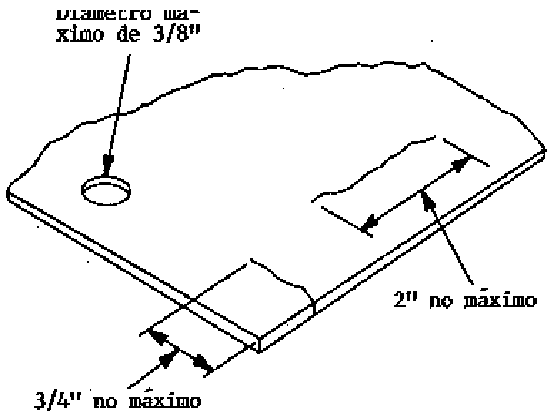


Figura 5-101 Defeitos típicos em partes de manta moldada.

Procedimentos de reparo

Os procedimentos a seguir são típicos para peças de manta moldada. Contudo, eles não são os únicos. A seção correspondente do Manual de Reparo Estrutural da aeronave em questão deve ser consultada e seguida em todos os casos.

1) Inspecionar a peça quanto ao local da rachadura.

2) Remover a tinta ou revestimento ao redor do dano.

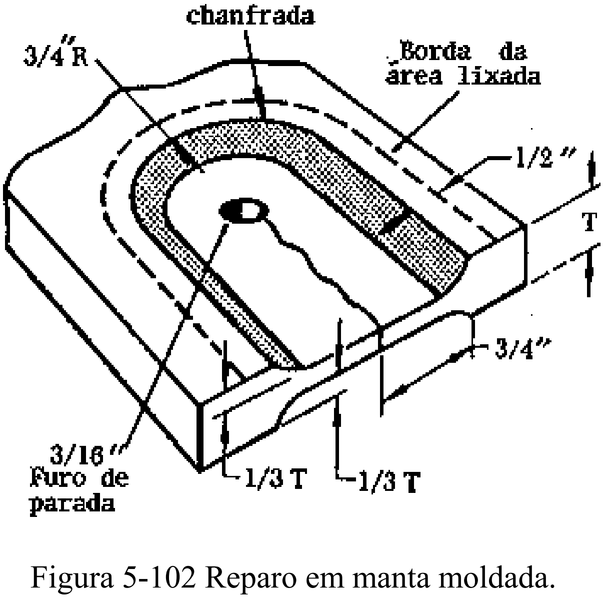


Figura 5-102 Reparo em manta moldada.

3) Fazer um furo de alívio no final da rachadura. O tamanho da broca não deve ser inferior a 1/8 da polegada, nem maior que 3/16 da polegada.

4) Riscar e lixar a área danificada até as dimensões dadas na figura 5-102. Remover um terço do material de ambos os lados da área danificada. Chanfrar a área de 15° a 45°, como mostrado na figura 5-102, e lixe 1/2 polegada além da área chanfrada.

5) Preparar dois pedaços de filme de PVA (álcool polivinil), grandes o bastante para cobrir a área do reparo.

6) Preparar dois pedaços de metal, grandes o bastante para cobrir a área. Usar qualquer pedaço de metal que mantenha a pressão.

7).Checar e ligar o forno por circulação de ar. Ajustar o regulador de temperatura para 95ºC.

7) Selecionar e preparar a mistura de resina.

9) Cortar a manta de fibra e saturá-la na resina. Corta pedaços suficientes para encher a área chanfrada até o seu contorno original.

10) Inserir a manta saturada na área do reparo. (Ver figura 5-103).

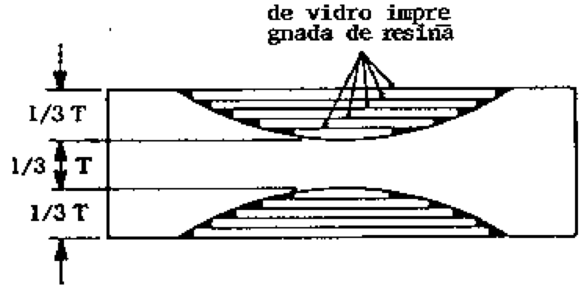


Figura 5-103 Inserção de seções saturadas.

a) Fazer um lado de cada vez.
b) Cobrir cada lado com um pedaço de PVA.
c) Colocar a chapa de metal preparada em ambos os lados do reparo.
d) Manter o reparo no lugar com um grampo "C".

11) Colocar a peça no forno pré-aquecido por pelo menos 1 hora (verificar as instruções do fabricante da resina usada).

12) Retirar a peça do forno e deixá-la resfriar à temperatura ambiente.

13) Desmontar o reparo, removendo o grampo "C", as placas de metal e o filme de PVA.

14) Lixar ambos os lados, até um acabamento polido, mantendo o contorno original da peça.

15) Inspecionar o reparo quanto a sua rigidez, com o teste do som metálico. Um bom reparo, quando golpeado com uma moeda ou um martelo leve de alumínio produz um som metálico.

RADOMES

A cúpula que abriga a antena do radar, ou outros equipamentos de radar, é chamada radome. Ele deve ser capaz de suportar os efeitos do impacto com granizo, gelo, vento, as mudanças de temperatura, a eletricidade estática, as velocidades supersônicas e as altitudes estratosféricas. Além disso, ele deve possuir excelentes qualidades dielétricas.

Manuseio, instalação e armazenagem

Deve-se ter muito cuidado no manuseio, instalação ou armazenagem dos radomes de aeronaves. A necessidade de cuidados para evitar danos em peças de material composto deve ser sempre enfatizada. Os radomes são especialmente suscetíveis a danos. O dano, às vezes, pode ser bem pequeno e invisível, mas quando exposto a vibrações, estresse e líquidos, provoca danos físicos; a umidade e a contaminação por óleo podem provocar distorções e perda de energia.

Evita-se também a contaminação por removedores de tintas e decapantes normalmente usados em partes metálicas da aeronave. Alguns desses meteriais podem penetrar os revestimentos plásticos do radome, e ter um efeito adverso em suas propriedades elétricas ou sua resistência.

A limpeza geral do radome é feita com sabão neutro e água. Quando for necessário usar um solvente para remover óleos e graxas de radomes, usa-se um tecido limpo embebido em Metil-Etil-Cetona.

Os radomes devem ser manuseados com cuidados especiais. A colocação de radomes sobre superfícies ásperas ou entre partes metálicas deve ser evitada. Deve-se ter cuidado de não bater no radome com escadas ou plataformas de manutenção, nem deixá-lo cair no chão.

Uma instalação correta de radome começa no procedimento de desempacotamento. Antes de desembalar um radome, limpa-se bem a mesa onde ele vai ser colocado. Sigue-se corretamente as instruções de desembalagem do fabricante. Isso evitará danos por parafusos, rebites, pregos, grampos ou outros objetos contundentes.

As instruções de instalação contidas no manual de manutenção da aeronave aplicável devem ser seguidas à risca durante a instalação. Caso seja necessário lixar o radome para que ele se encaixe em seu montante, as superfícies lixadas devem ser consideradas como um reparo classe 1 (já discutido) e ser reparado de acordo.

Os radomes devem ser guardados em locais com baixa umidade. Devem ser acondicionados em embalagens adequadas ou em prateleiras acolchoadas e apoiados pelos furos de montagem. Evita-se empilhar radomes.

Detecção e remoção de óleo e umidade.

Todos os radomes são suscetíveis à contaminação por óleo e umidade. Essa contaminação pode provocar uma séria degradação da performance do sistema de radar da aeronave. A contaminação também provoca o enfraquecimento do radome e sua colagem.

Os radomes devem ser inspecionados quanto a contaminação por óleo ou umidade antes de qualquer reparo ou de serem considerados bons para uso; eles devem estar limpos e secos antes do teste elétrico.

Os radomes podem ser checados quanto a pontos de umidade, usando um medidor eletrônico. A ponta de prova do medidor deve ser mantida em contato com a superfície interna do radome, e movida lentamente por toda a superfície.

A presença de umidade será indicada no mostrador do instrumento. A detecção e remoção da umidade deve ser feita em todos os radomes antes de qualquer reparo.

Inspeção quanto a danos

Os radomes devem ser inspecionados visualmente quanto a delaminação, marcas, arranhões ou erosão do revestimento protetor que possam afetar apenas a camada externa. Eles também devem ser inspecionados quanto a furos, contaminação, fratura de camadas que afetam tanto as camadas de um lado, o miolo, ou danos que se estendam através das camadas externas, o miolo e as camadas internas. As diferentes aeronaves possuem diferentes limites de danos reparáveis, tipos de reparos permitidos e danos não-reparáveis. Essas informações podem geralmente ser encontradas nos manuais de manutenção da aeronave específica.

Danos a materiais compostos são divididos em grupos ou classes, de acordo com a severidade e efeitos sobre a estrutura da aeronave e sobre a eficiência elétrica. Os danos são classificados em 3 classes básicas: (1) Reparos classe 1 - riscos, arranhões ou erosão afetando apenas o revestimento externo; (2) reparos classe II - furos, não transpassantes, delaminações, contaminações ou fraturas somente em um dos lados, possivelmente acompanhadas por danos ao miolo; e (3) reparos classe III - danos estendendo-se completamente através do sanduíche afetando ambas as faces e o miolo.

Reparos de radome

Os procedimentos de reparo são desenvolvidos com o objetivo de equalizar tanto quanto possível as propriedades da resistência elétrica da peça original, com aumento mínimo de peso. Isso pode ser feito reparando-se as partes danificadas com materiais e técnicas aprovadas. Por isso, os reparos de radomes devem ser feitos de acordo com os procedimentos do fabricante, por pessoal especialmente treinado em uma oficina que possua os equipamentos adequados para teste, para assegurar um reparo satisfatório.

Teste dos reparos

Os radomes devem ser reparados de forma a assegurar não apenas sua integridade estrutural, mas também suas características elétricas. O tipo de teste elétrico requerido após um reparo depende do propósito do radome. Alguns testes elétricos típicos são:

1) Transmissividade, é a média de transmissão unidirecional através do radome, ou a relação entre a potência transmitida com o radome e a mesma potência transmitida sem o radome.
2) Reflexão por incidência, a potência refletida para o sistema de radar pelo radome.
3) Deflexão ou refração, para checar quanto a possíveis fantasmas ou falsos alvos.

ESTRUTURAS DE MADEIRA PARA AERONAVES

Enquanto a tendência é, sem dúvida alguma, que as aeronaves sejam construídas totalmente de metal, ainda existem algumas aeronaves nas quais a madeira foi utilizada como material de estrutura. A inspeção e o reparo dessas estruturas continuará a ser responsabilidade do mecânico de célula. A habilidade de inspecionar estruturas de madeira e reconhecer defeitos como a podridão-seca, falhas de compressão e etc., deverá ser desenvolvida.

As informações desta seção são de natureza geral e não deverão ser consideradas como substitutas às instruções específicas contidas nos manuais de reparos e manutenção do fabricante. Os métodos de construção variam de acordo com o tipo de aeronave, assim como os vários procedimentos de reparo e manutenção.

INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Sempre que possível, a aeronave deverá ser mantida em um hangar seco e bem ventilado, com todas as janelas de inspeção, painéis de acesso etc, removidos por tanto tempo quanto possível antes da inspeção. Se a aeronave estiver bem seca, isso facilitará a inspeção, especialmente se for se determinada as condições de juntas coladas.

Antes de iniciar uma inspeção minuciosa das juntas coladas e da madeira, uma impressão geral sobre as condições da estrutura geralmente pode ser obtida através da aparência externa da aeronave.

As asas, fuselagem e empenagem devem ser checadas quanto a ondulações, empeno ou qualquer outra deformação do formato original. Em locais onde as asas, fuselagem ou empenagem e o revestimento formam estruturas sujeitas a estresses (figura 5-104), não são permitidas deformações ao contorno ou formato originais.

No caso de estruturas leves, cobertas por uma única camada de compensado, pode-se permitir alguma ondulação seccional ligeira, ou saliência entre painéis, desde que a madeira e a cola estejam confiáveis. Contudo, onde existam tais condições, deve ser feito uma checagem minuciosa quanto à adesão do compensado a sua estrutura de suporte. Um exemplo típico está ilustrado na distorção da figura 5-105.

Os contornos e o alinhamento dos bordos de ataque e fuga são muito importantes, devendo ser feito uma checagem detalhadaquanto à modificação do formato original. Qualquer distorção dessas estruturas de compensado leve e de espruce é um indicativo de deterioração, e deverá ser feita uma inspeção interna detalhada quanto à segurança dessas partes na estrutura principal da asa, e quanto à deterioração desses membros. Caso seja encontrada deterioração desses componentes, a estrutura principal da asa poderá também ser afetada.

Cortes na entelagem sobre superfícies de compensado não deverão ser reparados com dopamento de pequenos reparos de tela colados sobre os cortes. Em todos os casos, a tela defeituosa deverá ser removida para assegurar que o revestimento de compensado ainda está utilizável, uma vez que geralmente um corte no revestimento de compensado é o responsável pelo corte na entelagem.

Apesar de uma inspeção preliminar da estrutura externa ser útil na determinação das condições gerais da aeronave, deve-se observar que a deterioração da madeira e da cola podem ocorrer dentro de uma estrutura, sem indicações externas. Nos locais onde a umidade pode penetrar na estrutura, ela buscará os pontos mais baixos, onde se estagnará e promoverá uma deterioração rápida. Deve-se observar também que a deterioração da cola pode ocorrer por outros motivos, sem a presença de água. A falha da cola e a deterioração da madeira estão geralmente intimamente aliados, e a inspeção das juntas coladas deverá incluir um exame da estrutura de madeira adjacente.

A inspeção de uma aeronave quanto à cola ou a deterioração da madeira necessitará de checagens nas partes da estrutura em que se conhece ou suspeita serem pontos de problema, e que são em muitos casos isolados ou inacessíveis. Em tais casos, requer-se uma desmontagem considerável, e poderá ser necessário cortar janelas de acesso na estrutura de compensado para facilitar a inspeção. Tal serviço deverá ser realizado somente de acordo com desenhos provados, ou o manual de reparos da aeronave em questão.

INSPEÇÃO DE JUNTAS COLADAS

A inspeção de juntas coladas em estruturas de aeronaves apresenta dificuldades consideráveis.

Mesmo onde existe acesso às juntas, ainda assim é difícil assegurar sua integridade. Devemos ter isso em mente quando inspecionarmos estruturas de madeira.

Alguns dos fatores que mais comumente causam a deterioração da cola são: (1) Reações químicas na cola, causadas pelo tempo ou umidade, temperaturas extremas, ou a combinação desses fatores, (2) forças mecânicas causadas principalmente pelo encolhimento da madeira, e (3) desenvolvimento de fungos. As aeronaves expostas em amplas mudanças de temperatura e umidade estão mais propensas ao encolhimento da madeira, o que poderá levar à deterioração da cola.

A quantidade de movimento dos membros de madeira devido a essas mudanças varia de acordo com o tamanho de cada membro, o índice de crescimento da árvore da qual a madeira foi retirada, e do formato no qual a madeira foi convertida.

Portanto, dois componentes maiores da estrutura de uma aeronave, presos um ao outro por cola, dificilmente terão características idênticas. Cargas diferenciais serão transmitidas através da cola, uma vez que os dois membros não reagirão de maneira idêntica e reciprocidade.

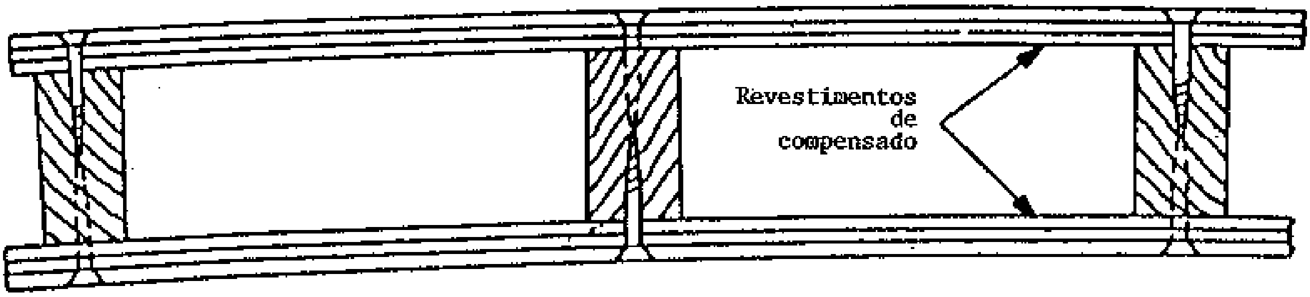


Figura 5-104 Vista de uma seção de uma estrutura sujeita a estresse.

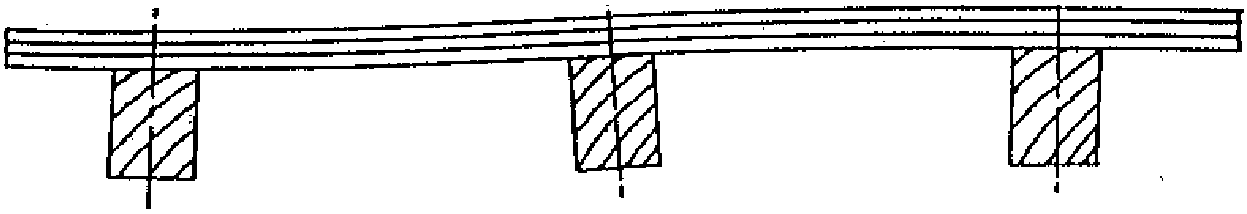


Figura 5-105 Estrutura com uma única camada de compensado.

Isto causa estresse a junta de cola, que pode ser normalmente acomodada quando a aeronave é nova, ou não.

Contudo, a cola tende a deteriorar com o tempo, e o estresse nas juntas coladas poderá causar sua falha. Isso ocorre mesmo quando a aeronave é mantida em condições ideais.

Quando for checar a condição de uma linha de cola (a borda da junta colada), deve-se remover toda a cobertura de tinta, com uma raspagem cuidadosa.

A raspagem deverá parar imediatamente quando a madeira aparecer em seu estado natural, e a linha de cola for claramente identificável. A linha de cola é geralmente, inspecionada com o auxílio de uma lente de aumento.

Onde ela tender a soltar-se ou, onde a presença de cola não pode ser detectada, nesse caso a testamos com um calibrador de lâmina.

Caso seja possível qualquer penetração, a junta deverá ser considerada com defeito. É importante assegurar que a madeira próxima à junta esteja seca; caso contrário haverá uma falsa indicação do estado da junta devido ao estufamento da madeira.

Em locais onde a junta sofra pressões, ou da estrutura adjacente ou de dispositivos metálicos tais como parafusos, poderá haver uma falsa impressão quanto a condição da cola, a menos que essa junta seja aliviada dessa pressão antes da inspeção em questão.A escolha da espessura da lâmina do calibrador varia de acordo com o tipo de estrutura, porém deverá ser usada a lâmina mais fina possível.

A figura 5-106 indica os pontos onde uma inspeção com calibrador deverá ser realizada.

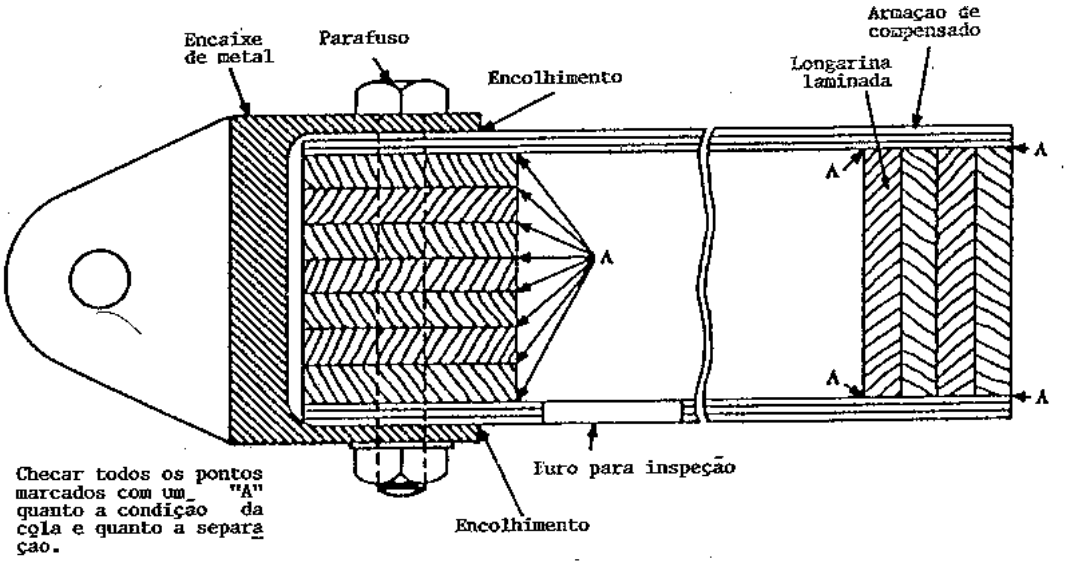


Figura 5-106 Junta Laminada.

A condição da madeira

Não é difícil detectar o apodrecimento ou o mal estado da madeira.

O apodrecimento é indicado através de pequenos pontos que se esmigalham na madeira. Uma descoloração escura ou manchas cinzas ao longo das fibras são sinais de penetração de água.

Se essa descoloração não puder ser removida através de uma raspagem suave, a peça deverá ser substituída.

Uma mancha na madeira devida à cor do endurecedor de um adesivo sintético pode ser desprezada.

Em alguns casos onde haja suspeita de penetração de água, a remoção de alguns parafusos da área em questão revelará, por seu grau de corrosão, a condição da junta adjacente (figura 5-107).

O adesivo causará uma leve corrosão do parafuso seguindo a construção original; por isso, a condição do parafuso deverá ser comparada com a de um parafuso similar, removido de outra parte da estrutura onde não haja contato com água.

Parafusos de bronze são normalmente usados para reforçar membros de madeira colados, embora, algumas vezes, os de bronze zincados sejam usados.

Para madeiras duras como o mogno ou o freixo, é comum a utilização de parafusos de aço.

De um outro modo, especificado pelo fabricante da aeronave, é normal substituir os parafusos por outros novos de comprimento idêntico, porém uma medida a mais em largura.

Outro meio de detectar a penetração de água é remover os parafusos que seguram os encaixes nas juntas das raízes das longarinas, suportes de dobradiças dos ailerons, e etc. (figura 5-107).

Corrosão na superfície desses parafusos e descoloração da madeira, dão uma indicação confiável de penetração de água.

Somente a experiência em um determinado tipo de aeronave indicará as partes da estrutura mais sujeitas à penetração de água e de aproximação de umidade, como em janelas ou na estrutura inferior das portas. Contudo, isso não é necessariamente um indicativo das condições de toda a aeronave.

As condições do entelamento sobre superfícies de compensado são de grande importância.

Caso haja qualquer dúvida quanto às suas qualidades protetoras ou caso haja qualquer sinal de pouca adesão, rachaduras, ou outros danos, o revestimento deverá ser removido para revelar a superfície do compensado.

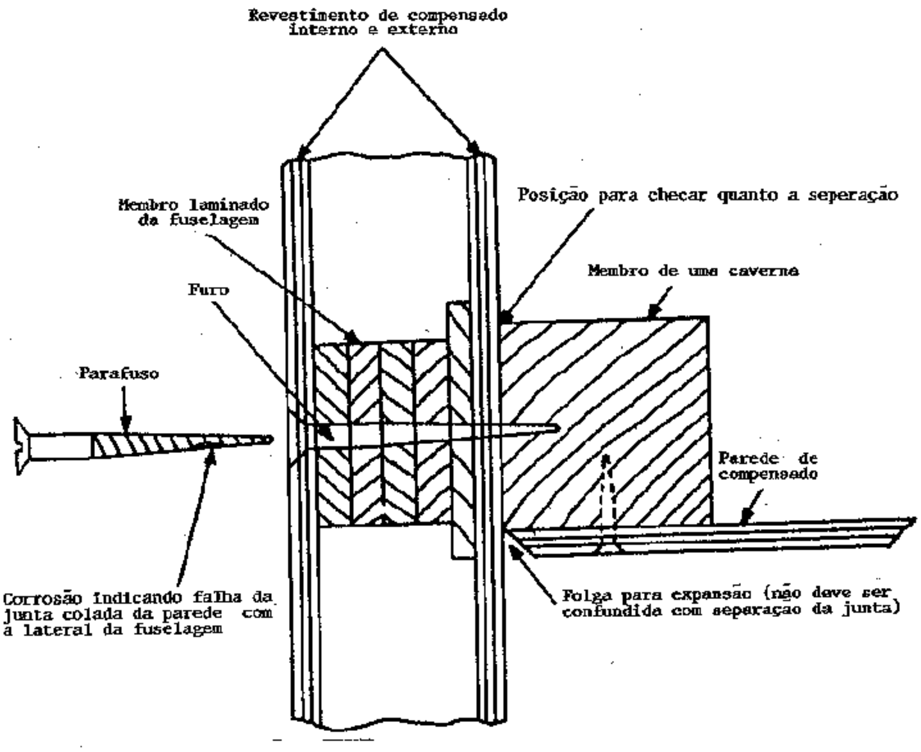

Revestimento de compensado interno e externo
Membro laminado da fuselagem
Posição para checar quanto a seperação
Membro de uma caverna
Furo
Parafuso
Parede de compensado
Corrosão indicando falha da junta colada da parede com a lateral da fuselagem
Folga para expansão (não deve ser confundida com separação da junta)

Figura 5-107 Cheque da estrutura quanto a infiltração.

As condições da superfície de compensado expostas devem ser examinadas. A penetração da água será demonstrada através de listras cinza-escuras ao longo da fibra, e uma coloração escura nas juntas ou nos furos dos parafusos.

Caso essas marcas não possam ser removidas através de uma raspagem suave, ou no caso de deterioração avançada onde há pequenas rachaduras na superfície ou separação das camadas do compensado, ela deverá ser substituída. Onde houver evidências da penetração de água, a área de compensado afetada deverá ser suficientemente descoberta para determinarmos sua extensão.

Durante a inspeção, a estrutura deverá ser examinada quanto a outros defeitos de natureza mecânica. Nos próximos parágrafos abordaremos tais defeitos.

Em locais onde parafusos fixam encaixes presos a membros que suportam cargas, ou onde os parafusos estejam sujeitos a cargas de pouso ou cisalhamento, os furos dos parafusos devem ser inspecionados quanto ao alongamento ou esmagamento das fibras da madeira. Os parafusos devem ser removidos para facilitar a inspeção. É importante verificar se os parafusos se encaixam bem em seus furos.

Inspeciona-se quanto à evidência de mossas ou esmagamento de membros estruturais, que podem ser causados, por exemplo, por parafusos apertados além do torque previsto. As técnicas de reparo desses danos dependerão da extensão e da profundidade dos defeitos.

Falhas de compressão, erroneamente denominadas "vibrações", são causadas pela ruptura das fibras transversalmente. É um problema sério que, às vezes, é difícil de detectar. É necessário um cuidado especial ao inspecionar qualquer membro de madeira que tenha sido submetido a uma flexão anormal ou compressão durante um pouso duro. No caso de uma flexão excessiva, a falha surgirá na superfície que foi comprimida. A superfície sujeita a tensão normalmente não apresentará defeitos. No caso de um membro sofrer uma carga excessiva de pressão direta, a falha geralmente será visível em todas as superfícies.

Se houver suspeita de falha por compressão, utiliza-se o foco de uma lanterna ao longo das fibras da madeira para visualizar a pane. Uma junta colada poderá falhar em serviço como resultado de um acidente ou devido à imposição de cargas mecânicas excessivas, sejam elas de tensão ou cisalhamento.

É geralmente difícil determinar a natureza da carga que causou a falha, mas sabe-se que juntos colados são geralmente desenhadas para suportar esforços de cisalhamento.

Caso uma junta colada tenha falhado devido a tensão, fica difícil determinar sua qualidade, uma vez que essas juntas geralmente apresentam uma aparente falta de adesão.

As falhas por tensão normalmente parecem arrancar a cola de uma das superfícies, deixando a madeira aparente. Em tais casos, a cola deve ser examinada com uma lente de aumento, que deverá revelar uma fina camada de fibras de madeira na superfície colada. A presença dessas fibras indica que a junta não tem problemas.

Se o exame não demonstrar nenhuma fibra de madeira e, sim a impressão do formato das fibras, isso indica a secagem da cola antes da aplicação de pressão durante a fabricação da junta. Caso a cola apresente uma aparência irregular, isto indica que a "pré-cura" ocorreu antes de aplicar pressão, ou que a mesma foi aplicada ou mantida incorretamente. Em tais casos deve-se suspeitar de outras juntas da aeronave.

Quando se espera que uma junta suporte esforços de tensão, ela será fixada por um determinado número de parafusos na área exposta a esses esforços. Caso haja uma falha nessa área, geralmente fica muito difícil formar uma opinião sobre as razões reais do ocorrido devido à rachadura da madeira próximo a os parafusos. Em todos os casos de falha de juntas coladas, qualquer que seja a direção da carga, deverá haver uma fina camada de fibras de madeira aderidas à cola, mesmo que ela tenha se soltado completamente ou não de uma das faces da madeira. Caso não haja evidência de adesão de fibras, isso pode indicar deterioração da cola.

MANUTENÇÃO E REPARO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Danos em estruturas de madeira, tais como nervuras de asa, longarinas e revestimento, freqüentemente requerem reparos.

Sempre que houver danos em partes maiores de madeira, deve-se fazer uma inspeção detalhada.

Tipos de Madeira	Resistência em Comparação com o Espruce	Indicação da Fibra	Observações
Espruce	100%	1:15	Excelente para todos os usos. Considerada padrão para esta tabela.
Pinheiro Douglas	Excede o espruce	1:15	Pode ser usado como substituto para o espruce em tamanho igual ou ligeiramente menor, desde que substanciado. Difícil de trabalhar com ferramentas manuais. Alguma tendência a rachar durante a fabricação. Deve-se evitar o uso de grandes peças devido à dificuldade de inspeção. A colagem é satisfatória.
Pinheiro Nobre	Excede ligeiramente o espruce exceto por 8% de deficiência quanto ao cisalhamento.	1:15	Características satisfatórias quanto à aplicabilidade, empenamento e rachamento. Pode ser usado em substituição ao espruce no mesmo tamanho desde que esforços de cisalhamento não sejam críticos. Um pouco menos duro que o espruce. Colagem satisfatória.
Cicuta do Oeste	Excede ligeiramente o espruce	1:15	Menos uniforme em textura que o espruce. Pode ser usado como substituto ao espruce. Colagem satisfatória.
Pinheiro Branco do Norte	Entre 15% e 96% do espruce	1:15	Excelentes qualidades de trabalho e uniforme em propriedades, porém um pouco macio. Não pode ser usado como substituto para o espruce, sem aumento de tamanho para compensar a menor resistência. Colagem satisfatória.
Cedro Branco Port Oxford	Excede o espruce	1:15	Pode ser usado como substituto ao espruce no mesmo tamanho ou em menor tamanho que o espruce, desde que substanciado. Fácil de trabalhar com ferramentas manuais. Colagem difícil, porém pode-se obter boas juntas se forem tomadas algumas precauções.
Álamo Amarelo	Ligeiramente inferior ao espruce exceto quanto a compressão e o cisalhamento.	1:15	Excelentes qualidades de trabalho. Não deve ser usado como substituto direto ao espruce sem levar em consideração a redução de resistência. Resistência um pouco reduzida. Colagem satisfatória.

Figura 5-108 Madeiras para uso aeronáutico.

Rachaduras secundárias às vezes começam a alguma distância do dano principal, e se propagam em direções indistintas. O propósito dos reparos em estruturas de madeira é obter uma estrutura tão forte quanto a original.

Danos severos requererão substituição de todo o conjunto danificado, porém danos menores podem ser reparados, cortando-se os membros danificados e substituindo-os por novas seções.

Essa substituição é feita com colagem; às vezes, colagem, e pregos, ou colagem e emenda com parafusos

Materiais

Diversos tipo de madeira são comumente usados em aeronaves. Madeira sólida ou o adjetivo "sólido (a)" associado a termos como viga ou longarina refere-se a um membro feito de uma única peça de madeira. A madeira laminada consiste de duas ou mais camadas de madeira coladas e com suas fibras aproximadamente paralelas.

Compensado é um conjunto de madeira e cola geralmente formado por um número ímpar de camadas finas (folheado) com as fibras de cada camada formando ângulo de 90º com a camada adjacente. "compreg", "impreg" ou produtos comerciais similares, madeira estabilizada por calor ou quaisquer dos compensados duros comumente usados como mancal ou placa de reforço.

As madeiras listadas na figura 5-108 são aquelas usadas para propósitos estruturais. Para o acabamento interno, qualquer das madeiras decorativas, como o bordo ou a nogueira, podem ser usadas desde que não se necessite de resistência.

Todas as madeiras e compensados usados no reparo de estruturas de aeronaves devem possuir qualidades aeronáuticas. O tipo usado para reparar uma parte deve, sempre que possível, ser o mesmo utilizado. Caso seja necessário substituir por uma espécie diferente, segue-se as recomendações do fabricante.

DEFEITOS PERMISSÍVEIS

a. Fibra cruzada. Fibra em espiral, fibra diagonal ou uma combinação das duas é aceitável desde que a fibra não divirja do eixo longitudinal do material mais do que o especificado na coluna 3 da figura 108. É necessária uma inspeção das quatro faces da madeira para determinar a quantidade de divergência. A direção de um fluxo de tinta derramada sobre a madeira normalmente determina a direção das fibras.

b. Fibras onduladas, encrespadas ou entrelaçadas. Aceitável caso as irregularidades locais não excedam as irregularidades especificadas para a fibra espiralada e diagonal.

c. Nós duros. Nós duros perfeitos até 3/8 pol em diâmetro máximo são aceitáveis, desde que: (1) não estejam em partes projetadas de vigas em "I" ao longo das bordas de vigas retangulares ou chanfradas, ou ao longo de bordas de flanges de vigas caixão (exceto em parte expostas a pouco estresse); (2) não causem divergência de fibras nas bordas da madeira ou nos flanges de uma viga, além do limite especificado na coluna 3; e (3) eles não estejam no terço central da viga, e a uma distância inferior a 20 polegadas de outro nó ou outro defeito (nós com 3/8 pol, nós menores podem estar proporcionalmente mais próximos). Nós maiores que 1/4 pol devem ser usados com cautela.

d. Grupos de nós em forma de ponto. Pequenos grupos são aceitáveis desde que produzam um pequeno efeito na direção das fibras.

e. Cavidade de resina. Aceitável, na porção central de uma viga desde que a pelo menos 14 pol de distância, quando encontram-se no mesmo anel de crescimento e não excedem 1 1/2 pol de comprimento por 1/8 pol de largura, por 1/8 pol de profundidade e desde que eles não se encontrem em partes projetadas de vigas em "I" ao longo de bordas de vigas retangulares ou chanfradas, ou ao longo das bordas e flanges de vigas caixão.

f. Listas minerais. Aceitável, desde que não seja notado qualquer apodrecimento durante uma inspeção.

DEFEITOS NÃO PERMISSÍVEIS

a. Fibra cruzada. Não aceitável, a menos que dentro das limitações descritas em "a".

b. Fibra entrelaçada, ondulada ou encrespada. Não aceitável, a menos que dentro dos limites de "b".

c. Nós duros. Não aceitáveis, a menos que dentro das limitações de "c".

d. Grupos de nós em forma de ponto. Não aceitáveis se produzirem um grande efeito sobre a direção das fibras.

e. Nós de espiga. São nós que percorrem toda a profundidade de uma viga perpendicularmente aos anéis anuais, muito comuns em ripas para construção civil cortadas em quadrados. A madeira que apresentar este defeito é rejeitada.

f. Cavidades de resina. Não aceitáveis, a menos que dentro dos limites de "e".

g. Listras minerais. Não aceitáveis se acompanhadas de apodrecimento (veja "f").

h. Rachaduras, fendas e rupturas. Rachaduras são quebras longitudinais que, em geral, se estendem através dos anéis. Rupturas são quebras longitudinais induzidas por estresse induzido artificialmente. Rejeita-se a madeira que contenha estes defeitos.

i. Compressão. Este defeito reduz bastante a resistência e é difícil de ser reconhecido. É caracterizado por alta gravidade específica, tem a aparência de um crescimento exagerado; e na maioria das espécies apresenta pequeno contraste de coloração entre as madeiras de primavera e verão. Em caso de dúvida, rejeita-se o material, ou as amostras são submetidas ao teste de dureza para estabelecer a qualidade da madeira. Rejeita-se todo o material contendo compressão.

j. Falhas de compressão. Esse defeito é causado por excesso de estresse a que a madeira é submetida durante o crescimento da árvore, corte da madeira sobre terreno irregular, ou manuseio descuidado de troncos ou toras. Caracteriza-se pelo curvamento das fibras que parecem listras na superfície da peça em ângulos retos com as fibras, e variam de falhas pronunciadas até pequeninos fios de cabelo que requerem inspeção minuciosa para sua detecção. Rejeita-se a madeira que apresentar falhas óbvias. Em caso de dúvida rejeita-se a madeira ou examina-se uma amostra no microscópio, ou faça-se teste de dureza, sendo o último método o mais confiável.

k. Apodrecimento. Examina-se todas as manchas e descolorações cuidadosamente para determinar se são ou não inofensivas, ou estão em estágio preliminar ou avançado de decomposição. Nenhuma peça poderá conter qualquer forma de decomposição.

COLAS

As colas utilizadas no reparo de aeronaves enquadram-se em dois grupos gerais: (1) Caseínas e (2) Resinas. Qualquer cola que preencha os requisitos de performance das especificações militares (EUA) ou tenha sido aceita pelo F.A.A (EUA) é adequada para uso em aeronaves civis certificadas. Em todos os casos, as colas deverão ser usadas estritamente de acordo com as recomendações do fabricante.

As colas à base de caseína têm sido largamente utilizadas em reparos de aeronaves de madeira. As formas, características e propriedades dessas colas à prova d'água têm permanecido substancialmente as mesmas por muitos anos, exceto quanto à adição de conservantes. As colas de caseína para uso aeronáutico devem conter conservantes adequados, tais como fenóis clorados e sais de sódio, para aumentar sua resistência à deterioração orgânica sob exposição a alta umidade. A medida dessas colas é vendida em pó, pronto para ser misturado com água a temperatura ambiente.

Colas de resina sintética para madeira são melhores pois retêem sua resistência e durabilidade em condições de umidade e após exposição a água. As mais conhecidas e comumente usadas são à base de fenol-formaldeído, resorcinal-formaldeído e uréia-formaldeído. A de resorcinol-formaldeído é recomendada para aplicação em aviões de madeira.

Materiais como a farinha da casca de nogueira são comumente adicionados pelo fabricante da cola, para facilitar a sua utilização e melhorar sua aplicação em juntas. As temperaturas de cura para as colas à base de uréia-formaldeído e resorcinol são acima de 20º C (70ºF).

À temperatura mínima de 20º C (70ºF), a linha de cola da junção de uma longarina poderá demorar até 1 semana para curar até a resistência total. Peças de madeira mais finas e/ou temperaturas de cura mais altas reduzem consideravelmente o tempo de cura. Não se pode confiar na resistência de uma junta que foi colada e curada abaixo de 70ºF.

Para aqueles não familiarizados com os termos usados em relação a adesivos de resina sintética e sua aplicação, segue um glossário:

(1) Adesivo de aplicação a frio. É um adesivo que é aplicado e endurece satisfatoriamente à temperatura ambiente; Ex: 10ºC a 32ºC (50ºF a 80ºF), dentro de um período razoável.

(2) Adesivo de contato estreito. Um adesivo utilizável em juntas sem distância entre as superfícies a serem coladas, que devem ser mantidas unidas por meio de pressão adequada, e onde linhas de cola com mais de 0,005 pol podem ser evitadas com certeza.

(3) Tempo de conjunto fechado. O intervalo de tempo entre a montagem das juntas e a aplicação de pressão.

(4) Camada dupla. Camada de adesivo igualmente dividida entre as superfícies a serem juntadas.

(5) Adesivo para preencher lacunas. Adesivo usável em junta onde as superfícies podem ou não ficar em contato direto, devido à impossibilidade de aplicar pressão ou a pequenas imperfeições na fabricação da peça. A menos que atestado pelo fabricante, esse adesivo não pode ser usado onde a linha de cola exceda 0,050 pol de espessura.

(6) Linha de cola. A camada resultante da junção de duas superfícies de madeira adjacentes com cola.

(7) Endurecedor. Material usado para fixar a cola. Pode ser fornecido separadamente em líquido ou pó, ou pode ser incorporado à resina pelo fabricante.

É uma parte essencial do adesivo, sendo que suas propriedades dependem do uso da resina e do endurecedor como indicado pelo fabricante.

(8) Tempo de conjunto aberto. Período de tempo entre a aplicação do adesivo e a junção das superfícies.

(9) Camada única. Camada de adesivo aplicada em apenas uma superfície.

(10) Camada de adesivo. A quantidade de adesivo aplicada para unir duas superfícies.

(11) Resina sintética. Uma resina sintética (fenólica) é derivada de uma reação entre um fenol e um aldeído. Uma resina sintética (amino plástico) é derivada da reação entre uréia, tiouréia, melamina ou componentes aliados ao formaldeído.

(12) Adesivo de resina sintética. Uma composição que consiste substancialmente de uma resina sintética, ou fenólica ou amino, mas incluindo um agente endurecedor ou modificador que pode ter sido adicionado pelo fabricante, ou que deva ser adicionado antes do uso, de acordo com as instruções do fabricante.

Adesivos de resina sintética são extensivamente usados para colar estruturas de madeira, a fim de evitar o estresse localizado e os esforços que podem ser gerados pelo uso de meios de fixação mecânicos. A resistência de tais estruturas depende muito da eficiência das juntas coladas, e não pode ser verificada a não ser com a destruição das juntas. A aceitação deverá ser baseada em precauções adequadas durante o processo de colagem e nos resultados obtidos em testes significativos. Os adesivos de resina sintética geralmente consistem de duas partes separadas, a resina e o endurecedor. A resina desenvolve suas propriedades aderentes através da reação química com o endurecedor. Com alguns adesivos, aumenta-se a viscosidade e aumenta-se a propriedade de preencher os espaços.

Resinas sintéticas podem ser obtidas em forma líquida ou em pó. Em geral, as resinas em pó conservam-se por mais tempo em estoque, uma vez que são menos suscetíveis à deterioração causada pela alta temperatura ambiente.

Essas resinas devem ser misturadas com água de acordo com as instruções do fabricante, antes de adicionar o endurecedor. Para obter-se um bom resultado é essencial que eles sejam bem misturados.

Uma vez misturado, o adesivo não deverá ser diluído, a menos que seja permitido pelo fabricante.

Em muitos casos, o fabricante especifica um intervalo de tempo entre a mistura e a aplicação do adesivo.

Durante esse período, o adesivo deve ser coberto para evitar contaminação.

Quando as resinas são fornecidas em forma líquida, elas estão prontas para uso imediato em conjunto com o endurecedor. A resina líquida não deve ser diluída, a menos que autorizado pelo fabricante.

Quando se misturarem o endurecedor e a resina, segue-se as proporções especificadas pelo fabricante.

Não se deve misturar endurecedor com a resina, exceto um pouco antes de sua aplicação.

COLAGEM

As superfícies a serem coladas devem estar limpas, secas, e livres de graxa, óleo, cera, tinta, etc. É importante que as partes a serem coladas contenham aproximadamente a mesma umidade, uma vez que variações podem causar estresse devido à dilatação ou encolhimento, o que pode levar à falha da junta.

A quantidade de umidade da madeira pode ser determinada tomando-se uma amostra da madeira a ser colada, pesando-a e secando-a em um forno à temperatura de 100ºC a 105ºC. Usa-se a fórmula:

$$\frac{W_1 - W_2}{W_2} x\ 100$$

onde,

W1 = peso da amostra antes da secagem.
W2 = peso da amostra após a secagem.

Exemplo:

Substituição e solução da fórmula acima:

$$\frac{2 - 1{,}5}{1{,}5} x\ 100 = 0{,}33 \text{ ou } 33\%$$

A quantidade aproximada de umidade pode também ser determinada por meio de um medidor de umidade. Quando esse aparelho for usado, sua precisão deverá ser verificada periodicamente. A madeira a ser colada deverá estar a temperatura ambiente. As superfícies a serem coladas não devem ser aquecidas, uma vez que isso afeta a superfície da madeira e reduz a eficiência da maioria dos adesivos de resina sintética.

Os adesivos de resina sintética são muito sensíveis às variações de temperatura. A vida útil do adesivo, proporção de endurecedor a ser usada, e o tempo de fixação dependerão muito da temperatura do local no momento da colagem.

Geralmente deve-se aplicar adesivo nas duas superfícies a serem unidas. Isto se aplica particularmente onde a linha de cola pode ser variável, ou em locais onde não se pode aplicar pressão uniforme.

O adesivo pode ser aplicado com um pincel, um espalhador de cola ou um rolo de borracha ranhurado. A quantidade de cola a ser aplicada depende muito do tipo de madeira e do acabamento das peças. As madeiras densas requerem menos adesivo que as madeiras macias ou porosas. O adesivo deverá ser passado generosamente nas fibras finais. Madeiras suaves, com fibras laterais, podem ser satisfatoriamente coladas com uma fina camada. A regra geral é que o adesivo deve cobrir completamente as superfícies a serem coladas e permanecer úmido até o momento de aplicar pressão à junta.

Haverá condições de difícil colagem quando uma peça de madeira macia tiver que ser colada a uma muito mais densa, devido o adesivo ter a tendência de ser absorvido pela madeira mais macia. Em tais casos, a menos que especificado pelo fabricante da cola, sugere-se aplicar a cola na madeira macia e aguardar uma secagem parcial antes da aplicação normal.

Deve-se tomar cuidado durante a aplicação do adesivo para que as superfícies façam um bom contato e que a junta fique posicionada corretamente.

O intervalo entre a aplicação do adesivo e a montagem da junta deverá ser o mais breve possível. Alguns adesivos contém solventes que devem evaporar antes de unir a junta. Se isso não for feito, poderá haver a formação de bolhas, o que resultará em uma junta fraca. Para adesivos desse tipo, o fabricante especificará um intervalo de tempo a ser computado antes de se unir a junta.

Para garantir que as duas superfícies se unam adequadamente, deve-se aplicar pressão à junta. A resistência da junta dependerá muito da uniformidade com que se aplicar a pressão. Os resultados com pressão uniforme e sem pressão uniforme são ilustrados na figura 5-109.

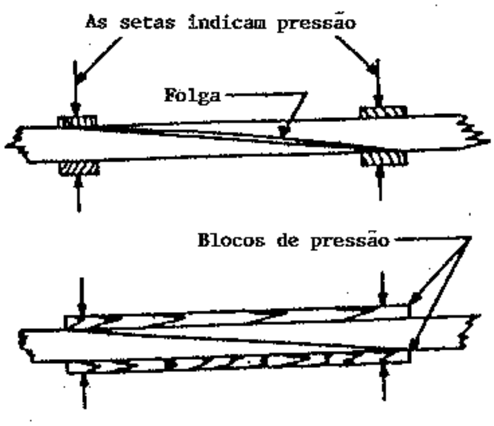


Figura 5-109 Resultados da pressão desigual e da pressão uniforme.

A pressão é usada para espremer a cola e formar um filme contínuo entre as camadas de madeira, para retirar o ar da cola, e promover um contato íntimo entre as superfícies da madeira e a cola, e para manter as peças imóveis até o endurecimento da cola.

A pressão deverá ser aplicada antes que a cola fique tão grossa que não possa escorrer e é mantida através de grampos, prensas e outros dispositivos mecânicos.

Uma pressão não uniforme de colagem, comumente resulta em áreas fracas e fortes na mesma junta. A quantidade de pressão requerida para fazer juntas fortes pode variar entre 125 a 150 p.s.i. para madeiras macias, e 150 a 200 p.s.i. para madeiras duras. Pressão insuficiente aplicada a superfícies mal acabadas de madeira, resulta em linhas fracas de cola, ou seja, uma junta fraca que deve ser cuidadosamente evitada.

Os métodos usados na aplicação de pressão nas juntas coladas de aeronaves, variam desde o uso de grampos, pregos, ou parafusos, ao uso de prensas hidráulicas e elétricas. A pregagem manual é usada mais extensivamente na colagem de nervuras e na aplicação de revestimentos de compensado nas asas, nas superfícies de comando e na armação da fuselagem.

Em juntas pequenas, como as usadas em nervuras, a pressão é geralmente aplicada apenas pregando-se cantoneiras no lugar depois de passar a cola. Uma vez que devem ser usados pregos finos para não rachar as nervuras, as cantoneiras deverão ser comparativamente maiores para compensar a relativa falta de pressão. Devem ser usados pelo menos quatro pregos (revestidos de cola ou galvanizados e com ponta de seta) por polegada quadrada, e eles nunca deverão distar mais de 3/4 pol uns dos outros. Pequenos pregos de latão podem também ser usados com vantagem quando as partes a serem coladas são relativamente pequenas e não permitem a aplicação de pressão por grampos.

Aplica-se pressão usando grampos de marceneiro, grampos paralelos ou tipos similares. Usa-se grampos manuais somente em conjunto com madeiras macias. Devido à sua limitada área de pressão, eles devem ser aplicados com uma tira de distribuição de pressão ou bloco, pelo menos duas vezes mais fino que a peça a ser pressionada.

Não são necessários grampos de alta pressão, nem desejáveis, uma vez que se consiga um bom contato entre as superfícies a serem coladas.

Quando se aplica a pressão, uma pequena quantidade de cola deverá escorrer da junta. Esse resíduo deve ser limpo antes de secar. A pressão deve ser mantida durante todo o tempo de secagem da cola. Isto é importante, uma vez que o adesivo não vai aderir, se mexido antes de completamente seco.

O tempo de secagem depende da temperatura em que ocorre a operação. Um aumento de temperatura reduz o tempo de secagem. Contrariamente uma redução na temperatura aumentará o tempo de secagem.

Somente após 2 dias é que a junta estará completamente forte e resistente à umidade. Isso dependerá ainda da temperatura ambiente e do endurecedor usado. Geralmente, durante reparos, a junta estará bem forte após 1 dia.

TESTE DE JUNTAS COLADAS

Testes freqüentes deverão ser feitos para assegurar que as juntas são satisfatórias. Sempre que possível, esses testes deverão ser feitos em pedaços cortados do próprio componente. As amostras deverão medir 1 pol de largura por 2 pol de comprimento.

Os pedaços deverão ser juntos com um membro ultrapassando o outro 3/8 pol.

A amostra colada deverá ser colocada entre as garras de uma morsa, e a junta será quebrada através da pressão da morsa sobre as extremidades.

As faces coladas depois de fraturadas deverão conter pelo menos 75% das fibras de madeira uniformemente distribuídas sobre as superfícies fraturadas. Um teste típico é mostrado na figura 5-110.

Quando é preciso fazer um reparo em uma aeronave antiga, onde foi utilizada cola de caseína, todos os vestígios desta cola terão que ser removidos da junta, uma vez que esse material é alcalino e possível de afetar a composição de um adesivo de resina sintética.

Manchas locais na madeira causadas pela cola de caseína podem ser desconsideradas.

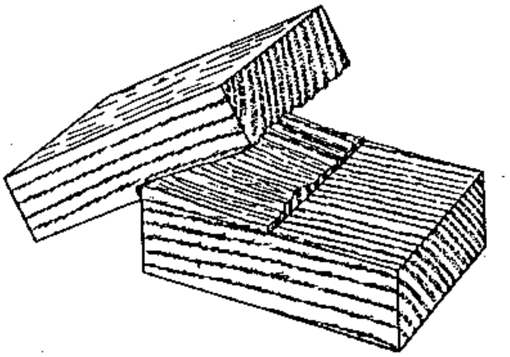


Figura 5-110 Quebra típica de um pedaço de madeira para teste.

EMENDA DE JUNTAS

A junta chanfrada é geralmente utilizada na montagem de membros estruturais da aeronave.

Como ilustrado na figura 5-111, os dois pedaços a serem unidos são cortados em ângulo e colados.

A inclinação do corte não deve ser menos que 10:1 para madeira sólida e 12:1 para compensado.

O corte é feito de chanfro na direção geral das fibras como mostrado na figura 5-111.

A maior dificuldade encontrada ao se fazer esse tipo de junta está em se obter a mesma inclinação em cada peça. A resistência da junta dependerá da precisão das duas superfícies chanfradas, porque uma inclinação incorreta reduz a área efetiva de colagem. (ver figura 5-111).

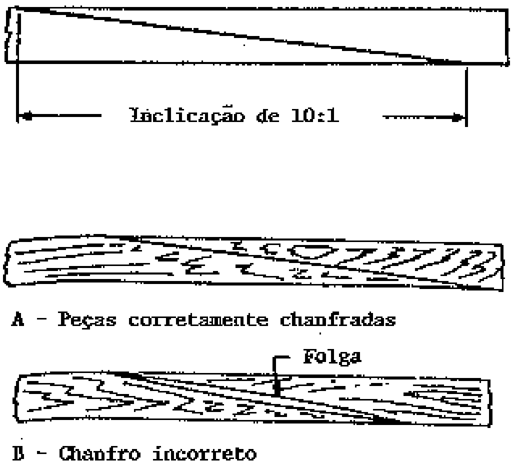


Figura 5-111 Juntas chanfradas.

Um método para se obter uma junta precisa está ilustrado na figura 5-112. Após o corte dos dois chanfrados, as peças são presas por meio de grampos a uma tábua 2x4 ou material semelhante. Um serrote de dentes finos é passado por toda a junta. Dá-se uma pancadinha em uma das extremidades para unir novamente a junta e passa-se novamente o serrote. Isso é feito até que a junta fique perfeita, então passa-se uma plaina suavemente para melhorar a superfície da junta.

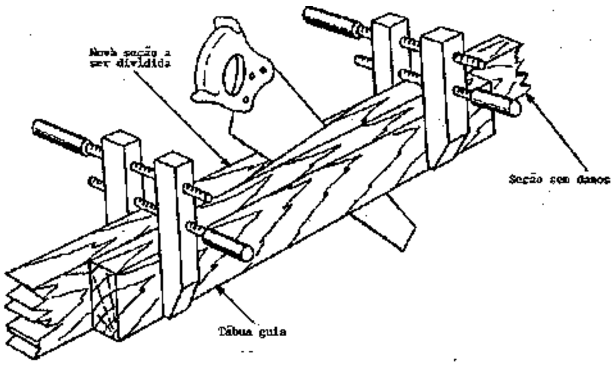


Figura 5-112 Produção de uma junta.

Recomenda-se que não transcorram mais de 8 horas entre o alisamento final das superfícies e a colagem. As superfícies para colagem devem ser bem lisas, aplainadas. Não são permitidas marcas de plaina, fiapos da fibra ou outras irregularidades na superfície. Nunca se usa lixa para suavizar a superfície de madeiras macias a serem coladas. As superfícies serradas devem ser semelhantes as superfícies bem aplainadas, tanto em uniformidade e suavidade, como não deve apresentar fiapos de fibras.

Apesar do uso da lixa não ser recomendado para madeiras macias, ela pode ser uma aliada valiosa no melhoramento das característica de colagem de algumas superfícies de compensado duro, madeira comprimida através de alta pressão e temperatura, madeira impregnada em resina (impreg e compreg) ou laminado de papel plástico (papreg).

REPAROS EM REVESTIMENTOS DE COMPENSADO

A maioria dos reparos em revestimentos podem ser feitos usando ou o remendo de superfície, ou cobertura, o remendo chanfrado, o remendo de encaixe ou o remendo de escarva. Provavelmente o mais fácil é o remendo de superfície. Remendos de superfícies não devem ser usados em revestimentos com mais de 1/8 pol de espessura. Para reparar um furo através deste método, apara-se a superfície danificada em forma de retângulo ou triângulo, dependendo da loca lização do furo em relação à estrutura do avião. (figura 5-113).

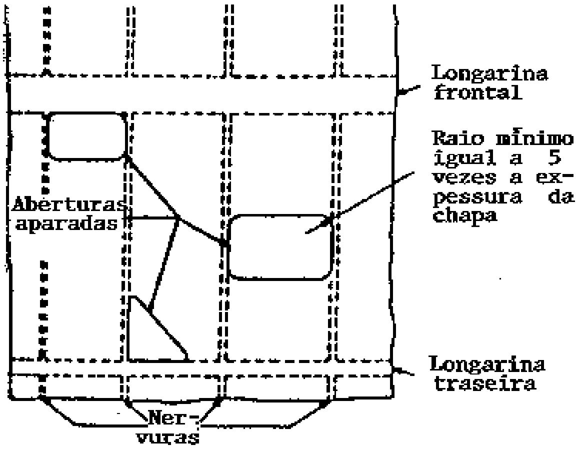

Longarina frontal
Raio mínimo igual a 5 vezes a expessura da chapa
Aberturas aparadas
Longarina traseira
Nervuras

Figura 5-113 Formas típicas para remoção de danos.

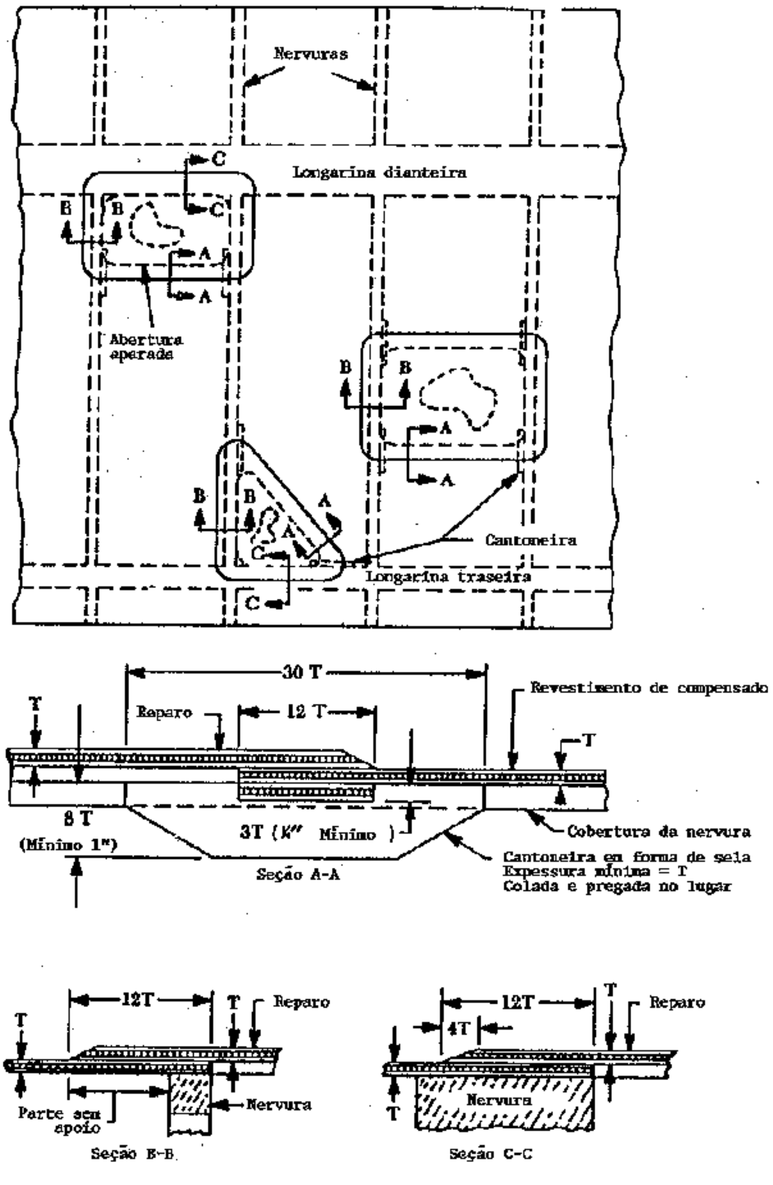

Nervuras
C
Longarina dianteira
B
B
C
A
A
Abertura aparada
B
B
A
A
B
B
A
A
C
C
Cantoneira
Longarina traseira
30 T
Revestimento de compensado
T
Reparo
12 T
T
8 T
(Mínimo 1")
3T (K" Mínimo)
Cobertura da nervura
Cantoneira em forma de sela
Expessura mínima = T
Colada e pregada no lugar
Seção A-A
12T
T
Reparo
T
Parte sem apoio
Nervura
Seção B-B
12T
4T
T
Reparo
Nervura
T
Seção C-C

Figura 5-114 Reparos de superfície.

Onde a estrutura formar um canto quadrado e o furo não se estender até o próximo membro paralelo, deve-se fazer um corte triangular. As arestas do corte devem ser arredondadas com um raio de pelo menos 5 vezes a espessura do revestimento.

Dobradores, feitos de compensado pelo menos da espessura do revestimento, são reforços sob as bordas do furo pelo lado interno do revestimento. Os dobradores são pregados e colados no lugar.

Eles se estendem desde um membro até outro e são reforçados nas bordas por cantoneiras em forma de sela, presas aos membros estruturais.

Um remendo pelo menos 12 vezes a espessura do revestimento, além das bordas do furo, é cortado de material do mesmo tipo e espessura do painel original. As bordas do remendo são chanfradas, como mostrado na figura 5-114.

Geralmente é impossível usar grampos durante a colagem de um reparo externo; por isso a pressão deve ser aplicada por outro meio. Geralmente ela é feita aplicando-se peças pesadas sobre o reparo até que esteja seco. Dois ou três preguinhos ajudarão a evitar que o remendo deslize durante a colagem.

Depois que o reparo de superfície secar, ele deve ser coberto com tela. A tela deverá ultrapassar as bordas do remendo pelo menos 2 polegadas.

Reparos de superfície localizada totalmente atrás da linha de 10% da corda, ou que ficam curvados no bordo de ataque e terminam atrás da linha de 10% da corda são permitidos. O bordo de ataque de um reparo de superfície deve ser chanfrado com um ângulo de pelo menos 4 vezes a espessura do revestimento. Reparos de superfície podem ter um perímetro tão grande quanto 50 polegadas, e podem se estender de uma nervura a outra.

A direção da fibra do reparo deve ser a mesma da fibra do revestimento original. Não se deve fazer este tipo de reparo em chapas com mais de 1/8 pol de espessura.

Remendos embutidos

Em lugares onde não se deva aplicar um remendo externo, tais como a cambra de uma asa ou o revestimento externo da fuselagem, pode-se usar o reparo embutido.

Remendos de encaixe

Em revestimentos de compensado pode-se usar dois tipos de reparos de encaixe: oval e redondo. Uma vez que este é estritamente um reparo de revestimento, ele deve ser aplicado apenas a danos que não envolvam a estrutura de suporte sob o revestimento. As bordas do reparo são cortadas em ângulo reto. O revestimento é cortado em formato redondo ou oval com as bordas quadradas. O reparo é cortado no tamanho exato da abertura e, quando instalado, forma uma junta com a borda do furo. Um reparo de encaixe redondo, mostrado na figura 5-115, pode ser usado onde a abertura não for maior que 6 pol de diâmetro. Reparos circulares grandes e pequenos foram desenhados para furos de 6 e 4 pol de diâmetro. Os passos para o preparo de um reparo de encaixe circular são:

(1) Cortar o remendo no tamanho do furo. Ele deverá ser do mesmo material e ter a mesma espessura que o revestimento. Não é necessário orientar as fibras do reparo de acordo com as do revestimento, uma vez que o reparo poderá ser girado no local para este fim.

(2) Colocar o remendo sobre o local a ser consertado e desenhar um círculo do mesmo tamanho.

(3) Cortar o revestimento de forma que o remendo se encaixe bem justo no furo.

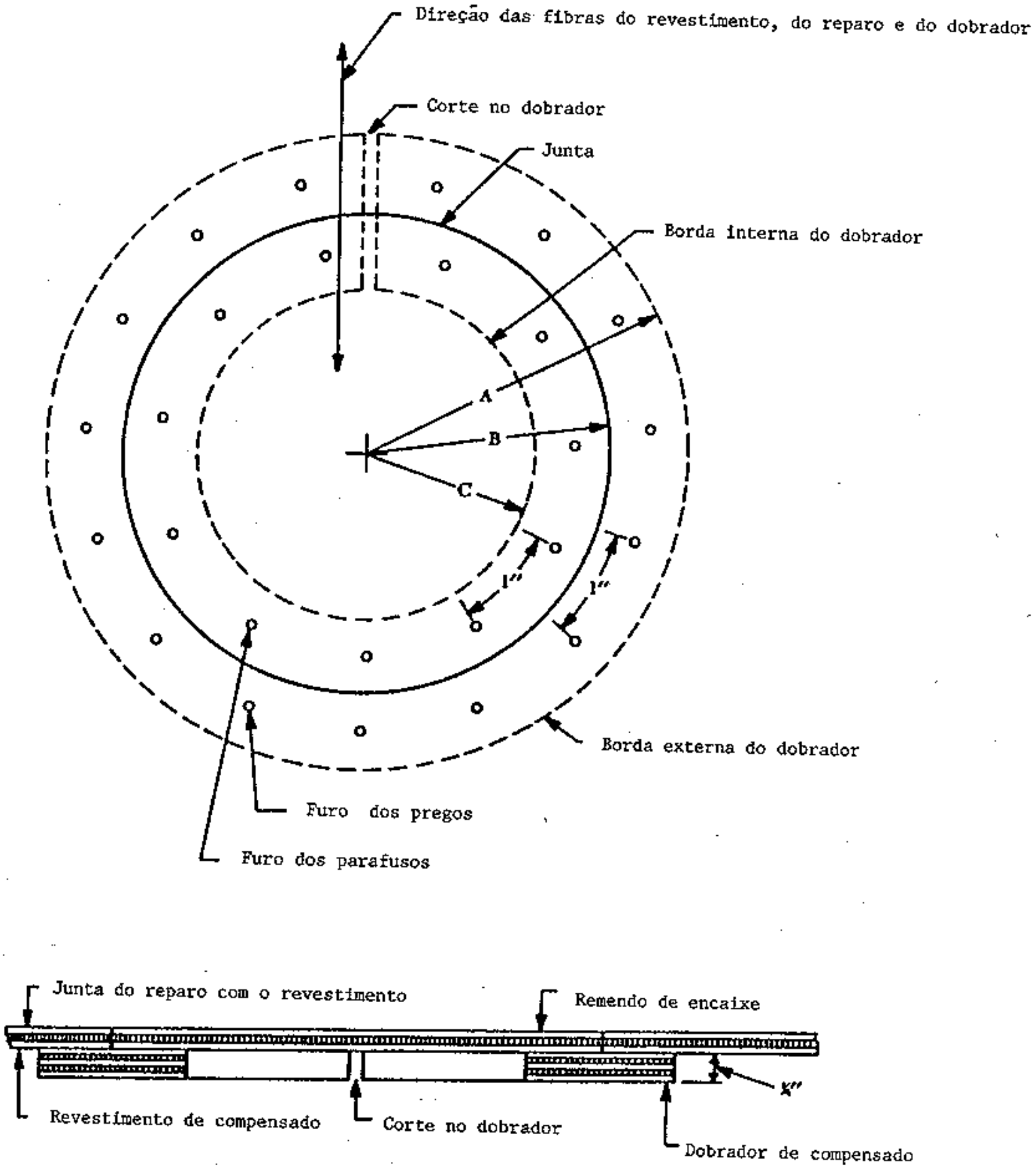
(4) Cortar um dobrador (reforço) de compensado de 1/4 pol, de forma que seu raio externo seja 5/8 pol maior que o furo a ser tamponado, e o raio interno seja 5/8 polmenor. Para um reparo grande, essas dimensões serão de 7/8 pol cada. Este dobrador deve ser de um compensado macio.

(5) Cortar um dos lados do dobrador de forma que ele possa ser inserido através do furo para a parte interior do revestimento. Aplicar uma camada de cola à superfície do dobrador que vai ficar aderida à face interna do revestimento.

(6) Instalar o dobrador de forma que ele e o furo fiquem exatamente concêntricos. Fixá-lo no lugar através de grampos. Usar papel encerado entre os grampos e o revestimento.

(7) Assim que a cola secar, aplicá-la na superfície onde o reparo será assentado. Inserir o reparo no furo.

(8) Aplicar pressão no remendo por meio de uma chapa e parafusos nº 4 para madeira, a intervalos aproximados de 1 pol. Um papel encerado entre a chapa e o reparo evita que o excesso de cola fixe um ao outro.


Direção das fibras do revestimento, do reparo e do dobrador
Corte no dobrador
Junta
Borda interna do dobrador
A
B
C
1"
1"
Borda externa do dobrador
Furo dos pregos
Furo dos parafusos
Junta do reparo com o revestimento
Remendo de encaixe
X"
Revestimento de compensado
Corte no dobrador
Dobrador de compensado

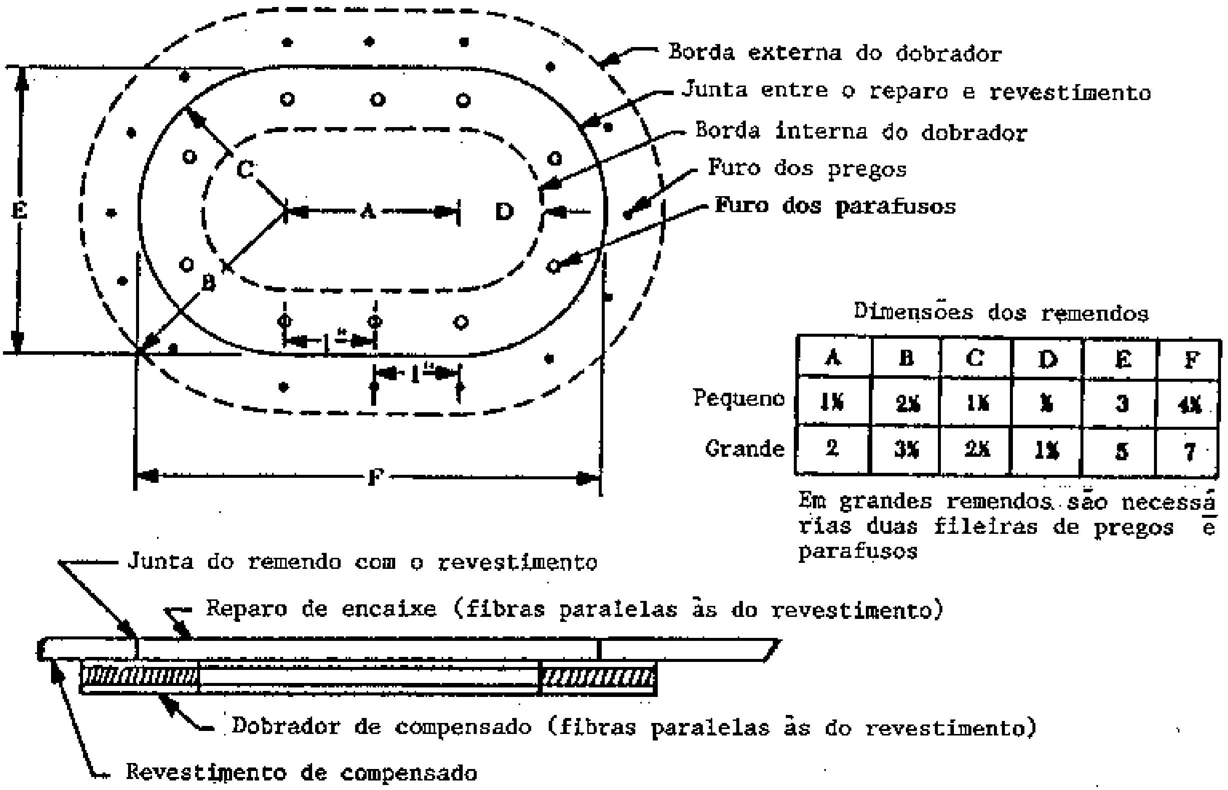
DIMENSÕES

	A	B	C
Remendo de Encaixe Pequeno	2½	2	1½
Remendo de Encaixe Grande	3½	3	2½

(Em remendos grandes são requeridos duas linhas de pregos e parafusos)

Figura 5-115 Remendo de encaixe redondo.

(9) Quando a cola estiver seca, remover os pregos e parafusos. Preencher os furos, lixar e dar o acabamento para ficar como o original Os passos para a realização de um reparo de encaixe oval, figura 5-116, são idênticos. As dimensões máximas devem ser de 7 pol de comprimento por 5 pol de largura. Os reparos ovais devem ser feitos com as fibras cuidadosamente orientadas na mesma direção do revestimento original.


Borda externa do dobrador
Junta entre o reparo e revestimento
Borda interna do dobrador
Furo dos pregos
Furo dos parafusos
A
B
C
D
E
F
1"
1"
Junta do remendo com o revestimento
Reparo de encaixe (fibras paralelas às do revestimento)
Dobrador de compensado (fibras paralelas às do revestimento)
Revestimento de compensado

Dimensões dos remendos

	A	B	C	D	E	F
Pequeno	1½	2¼	1½	½	3	4½
Grande	2	3½	2½	1½	5	7

Em grandes remendos são necessárias duas fileiras de pregos e parafusos

Figura 5-116 Reparo oval.

REPARO INCLINADO

É um reparo feito em compensado para ficar nivelado com a superfície. O termo "inclinado" denota que as bordas vão afilando gradualmente, porém essa inclinação é mais brusca que a do reparo chanfrado. A inclinação das bordas é em ângulo 5 vezes maior que a espessura do revestimento. Esse tipo de reparo deve ser usado onde o maior furo a ser reparado não seja maior que 15 vezes a espessura do revestimento e a espessura do revestimento não é maior que 1/10 pol.

Desenha-se o reparo como na figura 5-117. Prenda-se um pedaço de compensado no furo para marcar o centro.

Dois círculos concêntricos são desenhados ao redor da área danificada. A diferença entre os raios dos círculos é 5 vezes a espessura do revestimento. O círculo interno marca o limite do furo e o externo marca o limite da diminuição de espessura.

Corta-se o círculo interno, e as bordas vão se desbastando até a marca externa, com um cinzel, uma faca ou raspador.

Prepara-se um reparo circular, cortado e desbastado para encaixar no buraco. Esse reparo deverá ser do mesmo tipo e espessura de compensado que o original.

Aplica-se cola às superfícies desbastadas e assenta-se o reparo no lugar com as fibras no mesmo sentido das do revestimento.

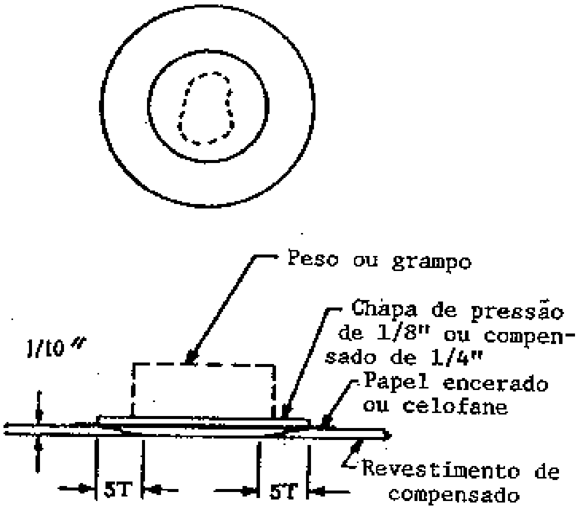

Peso ou grampo
Chapa de pressão de 1/8" ou compensado de 1/4"
Papel encerado ou celofane
1/10"
5T
5T
Revestimento de compensado

Figura 5-117 Reparo inclinado.

Depois de assentar o reparo, coloca-se uma chapa do tamanho exato do reparo, centralizando-a sobre ele com papel encerado entre os dois, e pressiona-se firmemente contra o reparo com um peso (um saco de areia) ou grampo. Uma vez que não haja nenhum reforço atrás do reparo, devemos ter o cuidado para não fazer pressão demais. Depois da cola secar, o acabamento é prenchido e lixado para que o reparo fique como a superfície original.

REPARO CHANFRADO

Um reparo chanfrado bem preparado e encaixado é o melhor reparo para um compensado danificado, e é o preferido para a maioria dos reparos de revestimento. Ele difere do reparo inclinado pois suas bordas são inclinadas na proporção de 12:1 ao invés de 5:1 como no inclinado. Ele também utiliza um reforço sob o reparo onde ocorre a junta de cola. A maioria da superfície externa da aeronave de compensado é curva.

Caso a parte danificada tenha um raio de curvatura maior que 100 vezes a espessura do revestimento, um reparo chanfrado pode ser feito.

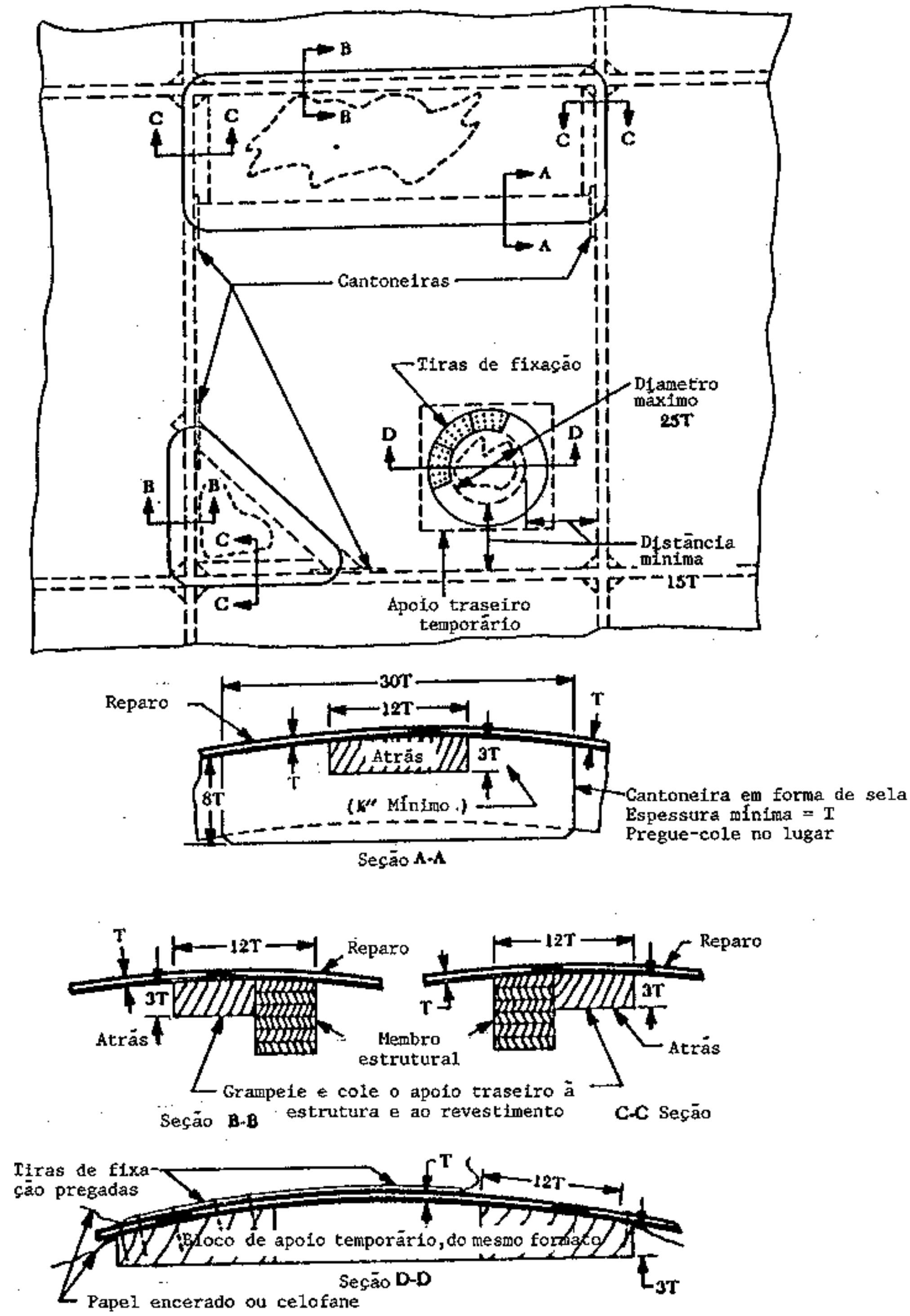

B
B
C
C
C
C
A
A
Cantoneiras
Tiras de fixação
Diametro máximo 25T
D
D
B
B
C
C
Distância mínima 15T
Apoio traseiro temporário
Reparo
30T
12T
T
Atrás
3T
8T
T
(K" Mínimo .)
Cantoneira em forma de sela
Espessura mínima = T
Pregue-cole no lugar
Seção A-A
T
12T
Reparo
3T
Atrás
Membro estrutural
12T
Reparo
T
3T
Atrás
Grampeie e cole o apoio traseiro à estrutura e ao revestimento
Seção B-B
C-C Seção
Tiras de fixação pregadas
T
12T
Bloco de apoio temporário,do mesmo formato
Seção D-D
3T
Papel encerado ou celofane

Figura 5-118 Reparos chanfrados, face interna acessível.

Os blocos de apoio e outros reforços deverão ter um formato que se encaixe na curvatura. As figuras 5-118 e 5-119 ilustram métodos de se realizar este tipo de reparo.

O corte chanfrado em compensado é feito por meio de plaina manual, raspadeira, ou lixa fina. Superfícies raspadas, exceto nas bordas de reparos chanfrados e superfícies serradas, devem ser evitadas, uma vez que elas tendem a ser ásperas ou imprecisas.

Quando a face interna de uma chapa de compensado danificada é acessível (ex: revestimento da fuselagem), ela deve ser reparada com reparos chanfrados seguindo as orientações da figura 5-118. Sempre que possível as bordas do reparo devem estar apoiadas como em C-C. Quando o dano segue ou se estende até um membro estrutural, o chanfro deve ser apoiado como mostrado na seção B-B.

Danos que não excedam 25 vezes a espessura do revestimento em diâmetro após serem desbastados em um formato circular, podem ser reparados (como mostrado na figura 5-118, seção D-D), desde que a distância entre o furo e o membro estrutural não seja menos que 15 vezes a espessura do revestimento.

O bloco de apoio é cuidadosamente feito em madeira sólida e encaixado na superfície interna do revestimento, e vai ser momentaneamente mantido no lugar através de pregos. Um furo com o tamanho exato do círculo interno do reparo chanfrado é feito no bloco de apoio, e, é centralizado sobre a área danificada. O bloco será removido depois da cola no reparo secar, deixando uma superfície perfeitamente lisa no local do reparo.

Quando o interior de um revestimento de compensado não for acessível, o reparo deverá ser feito como na figura 5-119. Após removida a seção danificada, instala-se apoios em todas as bordas que não sejam apoiadas por nervuras ou longarinas. Para evitar o empenamento do revestimento, os apoios devem ser confeccionados em compensado macio, tais como álamo amarelo ou espruce, ao invés de madeira sólida.

Todas as junções entre os apoios e as nervuras ou longarinas devem possuir no fim dos apoios uma cantoneira de compensado.
Caso necessário, a nova cantoneira é pregada e colada à nervura. Pode ser necessário substituir a cantoneira velha por uma nova, ou pregar a cantoneira nova sobre a original. As tiras de fixação são pressaas para manter os apoios no lugar enquanto a cola seca. Usa-se uma barra de apoio nos lugares onde se precisa usar pregos. Ao contrário dos reparos menores, feitos em um processo contínuo, o trabalho na aeronave deverá esperar enquanto a cola dos apoios não seca. Depois da cola secar, preencha-se e o acabamento para ficar como o original.

REMENDO DE TELA

Pequenos furos que não excedam 1 pol de diâmetro, depois de aparados para um contorno arredondado, podem ser reparados dopando-se um remendo de tela e aplicando-o pelo lado externo do revestimento de compensado. As bordas do furo deverão antes ser seladas, e o remendo deverá exceder o tamanho do furo em pelo menos 1 polegada. Os furos a menos de 1 pol de qualquer membro estrutural, no bordo de ataque da asa ou na área frontal da fuselagem, não devem ser reparados com remendos de tela.

REPARO DE LONGARINAS E NERVURAS

Os membros de uma longarina ou nervura podem ser reparados aplicando-se um remendo externo ou embutido, desde que a área danificada seja pequena. Chapas de espruce ou compensado de espessura, suficiente para proporcionar um reforço longitudinal contra cisalhamento, podem ser coladas a ambos os lados da longarina. Usa-se chapas que se estendam bem além da rachadura, como mostrado na figura 5-120. Caso tenham ocorrido danos mais extensos, o membro deverá ser retirado até o membro estrutural e, preparando com um reparo chanfrado. Não deve haver mais de dois reparos em uma única longarina. Uma longarina pode ser reparada em qualquer ponto, exceto sob os encaixes de fixação das asas, encaixes de trem de pouso, encaixe de berço do motor ou de estrutura interplanos e de sustentação.

Não é permitido que esses encaixes se sobreponham a qualquer parte do reparo. Reparos sob encaixes menores, tais como estais de arrasto, estais de anti-arrasto ou estruturas de compressão são aceitáveis desde que sob as seguintes condições:

(1) As chapas de reforço do reparo não devem interferir com a fixação adequada ou o alinhamento dos encaixes.

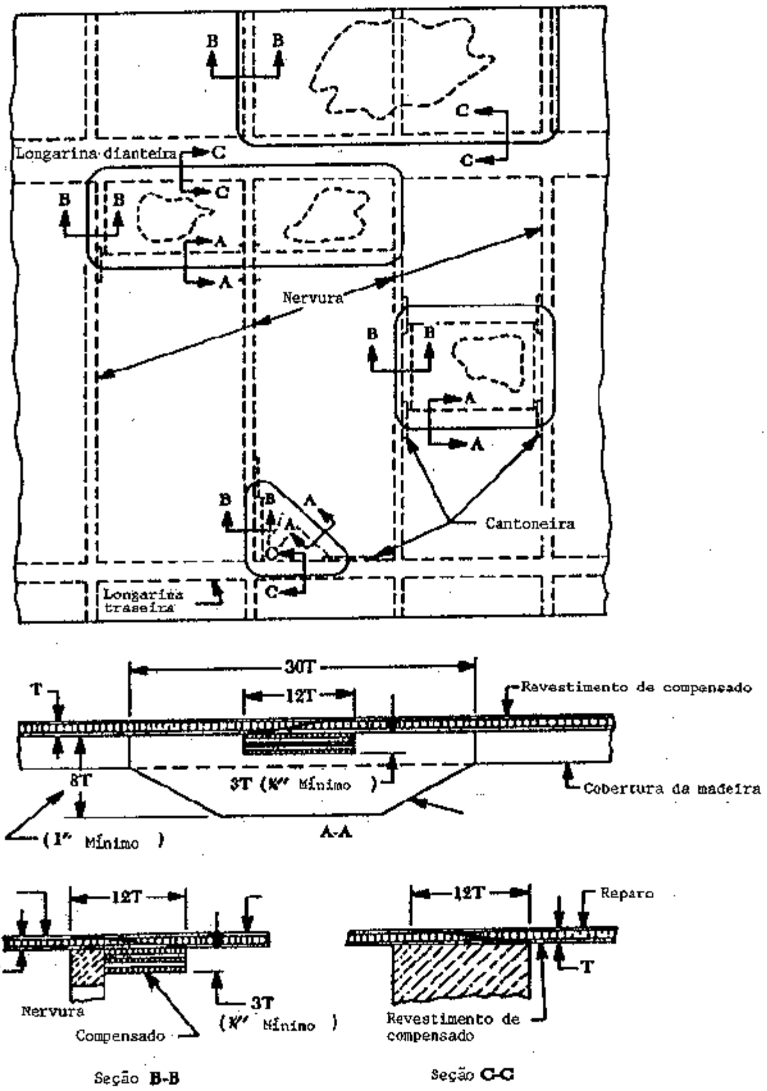

Longarina dianteira
Nervura
Cantoneira
Longarina traseira
A
B
C
30T
12T
T
8T
(1" Mínimo)
3T (¾" Mínimo)
Revestimento de compensado
Cobertura da madeira
A-A
3T
(¾" Mínimo)
Nervura
Compensado
Seção B-B
Reparo
Revestimento de compensado
Seção C-C

Figura 5-119 reparos chanfrados, face interna sem acesso.

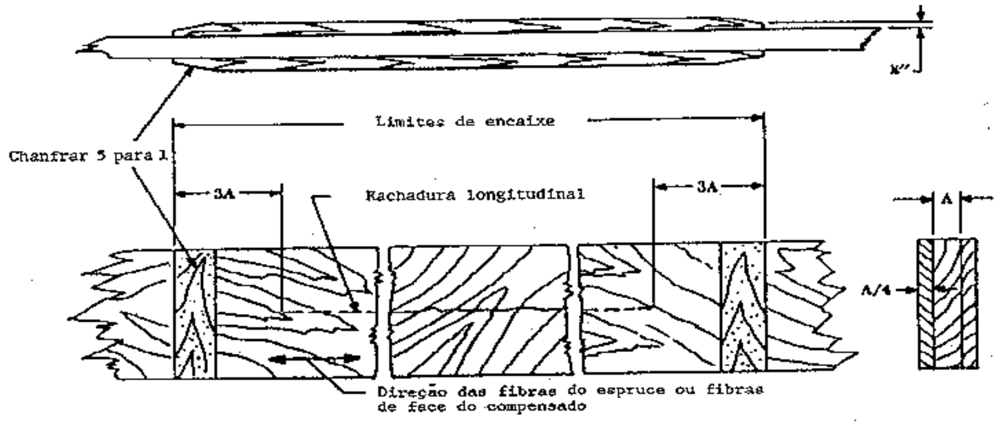

¾"
Chanfrar 5 para 1
Limites de encaixe
3A
Rachadura longitudinal
3A
A
A/4
Direção das fibras do espruce ou fibras de face do compensado

Figura 5-120 Reforço numa rachadura longitudinal.

A localização das braçadeiras de suporte de superfícies de controle não deverá ser alterada.

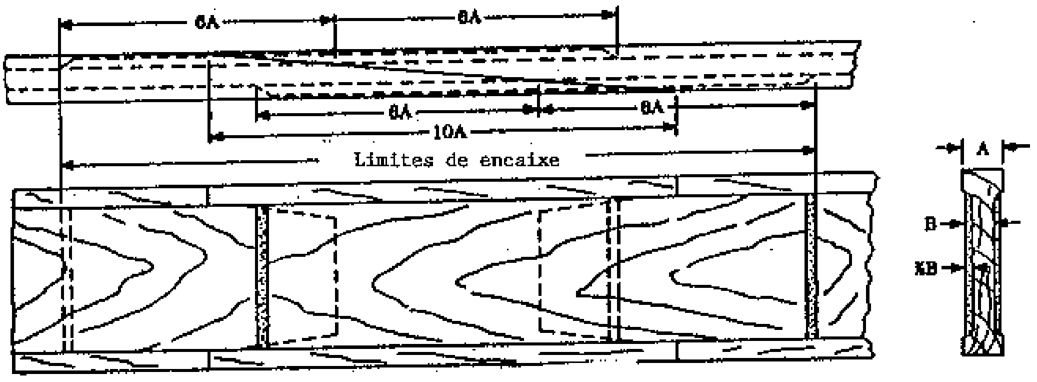
(2) As chapas de reforço podem se sobrepor às fixações de estais de anti-arrasto, estais de arrasto ou membros de compressão, se estiverem na face frontal da longarina dianteira ou na face traseira da longarina traseira. Em tais casos será necessário instalar parafusos ligeiramente mais longos.

A chapa de reforço intern não pode se sobrepor a encaixes de estruturas de arrasto, a menos que tal sobreposição não requeira o encurtamento de membros de compressão ou mudanças na geometria de vigas de arrasto, para evitar ajustes na regulagem correta.

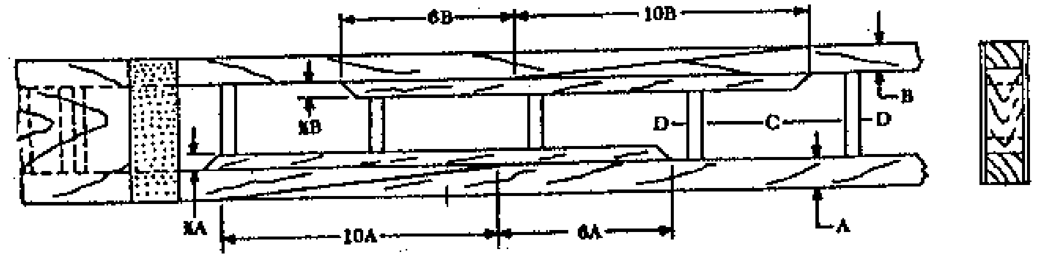
Ainda que o erguimento seja suficiente, poderá ser necessário mudar os ângulos dos encaixes. Afasta-se os reparos para que eles não se sobreponham. As chapas de reforço devem ser usadas como indicado para todos os reparos chanfrados em longarinas. A inclinação ideal do chanfrado é de 12:1, porém, mais de 10:1 já é aceitável.

As chapas são mantidas no lugar por cola e pregos.

A figura 5-121 ilustra o método geral de reparo de tipos comuns de longarinas de madeira.


6A
6A
6A
6A
10A
Limites de encaixe
A
B
XB

União de vigas nas bordas


6B
10B
XB
B
D
C
D
XA
10A
6A
A

União de vigas nos flanges

Figura 5-121 União de vigas.

Devemos sempre reparar e reforçar os membros de compensado com o mesmo tipo original. Não se usa madeira sólida para substituir membros de compensado.

O compensado possui maior resistência a cisalhamento que a madeira sólida de mesma espessura devido à variação das fibras das camadas.

As fibras superiores dos membros substitutos de compensado devem ter a mesma direção do membro original, para assegurar que o novo membro terá a mesma resistência. Ver a figura 5-122.

FUROS PARA PARAFUSOS E BUCHAS

Todos os parafusos e buchas usados em estruturas de aeronaves devem se encaixar em seus orifícios de forma justa. As folgas permitem que o parafuso ou encaixe trabalhem para a frente e para trás, alargando o furo.

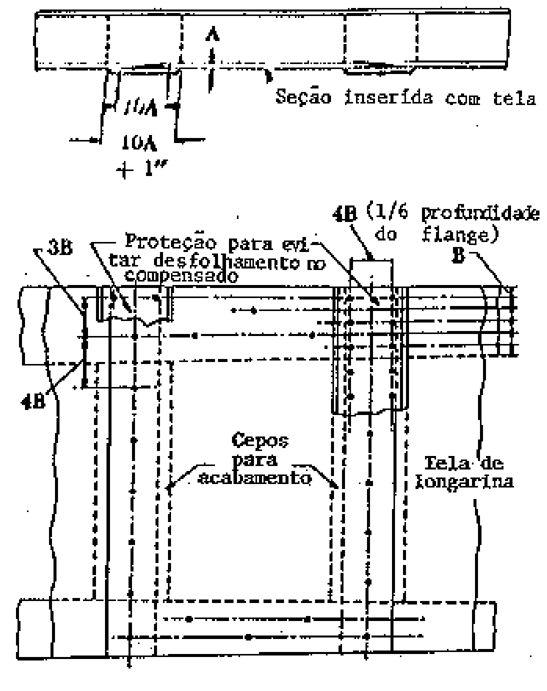

A
10A
10A
+ 1"
Seção inserida com tela
4B (1/6 profundidade do flange)
B
3B
Proteção para evitar desfolhamento no compensado
4B
Cepos para acabamento
Tela de longarina

Figura 5-122 Método de união da longarina de asa.

No caso de furos alongados por parafusos em uma longarina, ou de rachaduras nas vizinhanças de furos de parafusos, reparamos com uma nova seção de longarina e a substituímos completamente.

Os furos feitos para parafusos deverão ser, de tal diâmetro, que o parafuso possa ser inserido com suaves batidas de um macete. Caso o furo esteja tão apertado que seja necessário bater com força no parafuso para que ele entre, isto causará uma deformação na madeira, que poderá causar o rachamento ou distribuição desigual de carga.

Furos ásperos são geralmente feitos por brocas cegas ou por furos feitos muito rapidamente. Brocas bem afiadas produzem furos perfeitos, tanto em madeira sólida ou compensado. A broca deve ser afiada em ângulo aproximadamente de 60º. Todos os furos feitos para fixar suportes deverão ter o mesmo diâmetro dos furos do suporte.

As buchas feitas de plástico ou de metal leve proporcionam uma superfície de atrito adicional sem grande incremento de peso. Às vezes, buchas de aço leve são usadas para prevenir o esmagamento da madeira quando os parafusos são apertados. Os furos para buchas devem ser de tal tamanho que as buchas possam ser inseridas com leves pancadas de um macete.

REPAROS DE NERVURAS

Uma chapa de cobertura de nervura de madeira pode ser reparada usando reparos chanfrados. O reparo é reforçado no lado oposto à cobertura da asa por um bloco de espruce, que se estende além da junta chanfrada não menos que 3 vezes a espessura das chapas sendo reparadas.

Todo o reparo, incluindo o bloco de reforço, é reforçado de cada lado por uma chapa lateral de compensado, como mostrado na figura 5-123.

Quando a chapa de cobertura tem que ser reparada em um ponto onde há uma junta entre diversas nervuras, o reparo é feito reforçando-se a junta chanfrada com uma placa de reforço de compensado, como na figura 5-124.

Quando for necessário reparar uma chapa de cobertura em uma longarina, a junta deverá ser reforçada por uma chapa de reforço contínua estendendo-se sobre a longarina, como mostrado na figura 5-125.

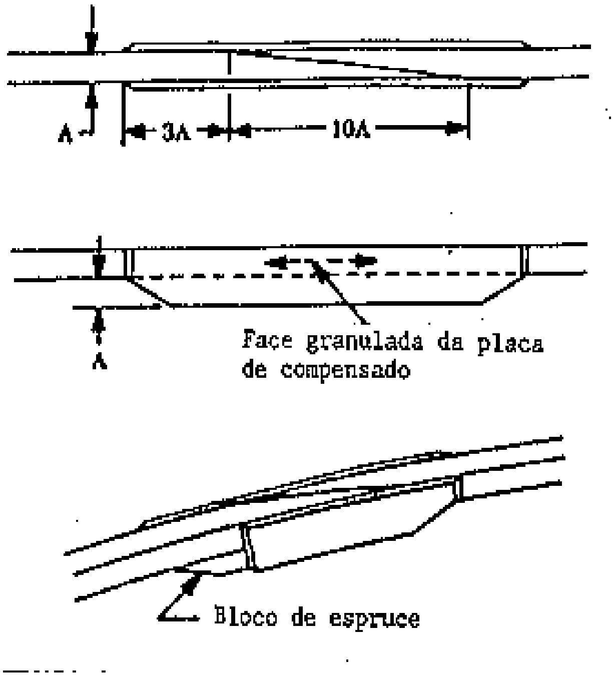


Figura 5-123 Reparos de entrelaçamento nas bordas das nervuras.

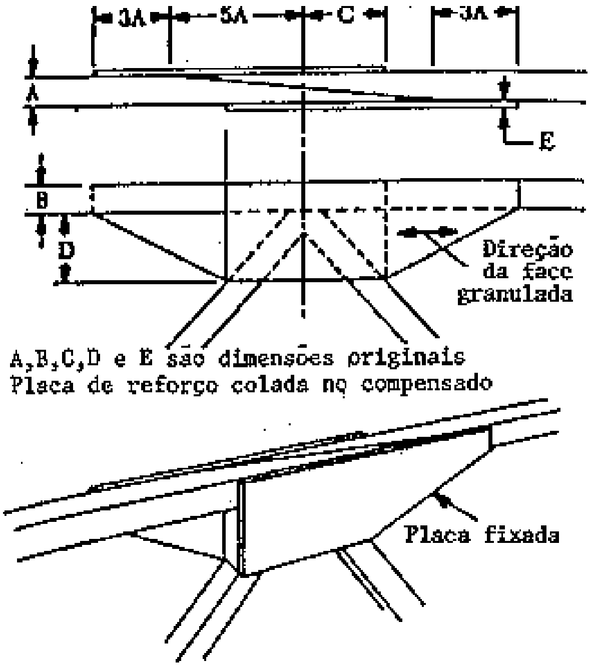

3A
5A
C
3A
A
E
B
D
Direção da face granulada
A,B,C,D e E são dimensões originais
Placa de reforço colada no compensado
Placa fixada

Figura 5-124 Reparos na junção da nervura.

Danos em bordas, rachaduras, ou outros, localizados em uma longarina, podem ser reparados removendo-se a porção danificada e colando-se um bloco propriamente encaixado, como mostrado na figura 5-126, reforçando a junta por meio de blocos de compensado ou espruce colados no local.

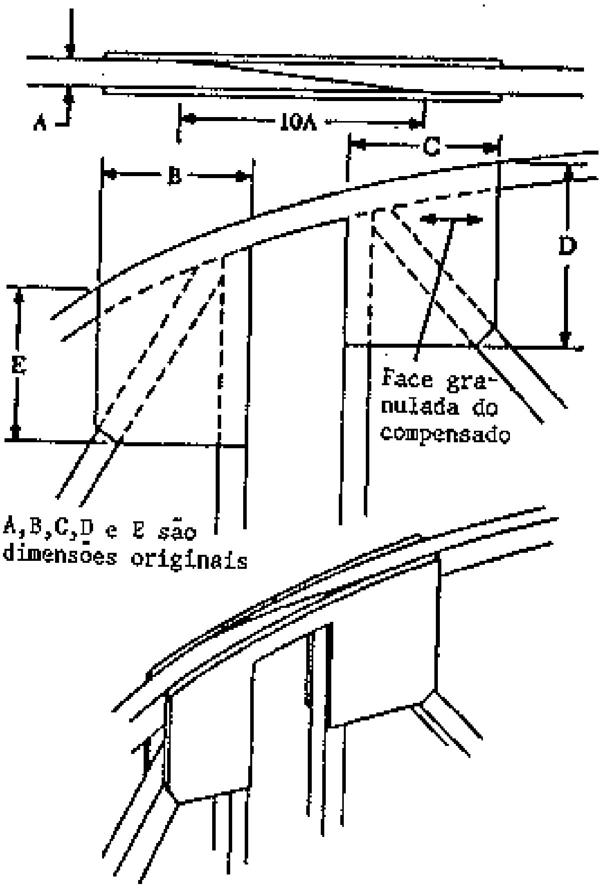

A
10A
C
B
D
E
Face granulada do compensado
A,B,C,D e E são dimensões originais

Figura 5-125 Reparos na nervura até a longarina.

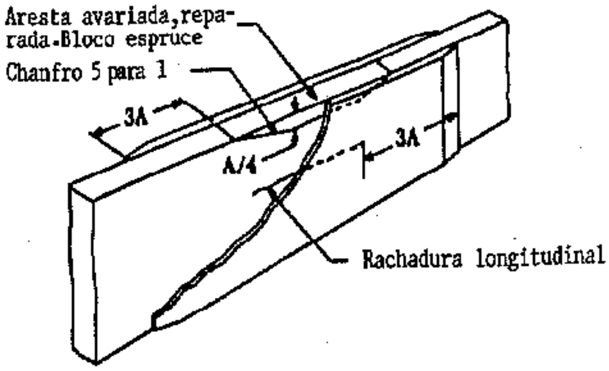

Aresta avariada, reparada. Bloco espruce
Chanfro 5 para 1
3A
A/4
3A
Rachadura longitudinal

Figura 5-126 Reparo das rachaduras e arestas avariadas numa longarina sólida.

O bordo de fuga de uma nervura pode ser substituído e reparado removendo-se a parte danificada da chapa de cobertura e inserindo-se um bloco de madeira macia ou pinheiro branco, espruce ou tília americana.

Todo o reparo é então reforçado com chapas de reforço de compensado, e pregado e colado como mostra a figura 5-127.

Os membros de compressão são de diferentes tipos e o método adequado de reparo de qualquer parte deste tipo de nervura é especificado pelo fabricante.

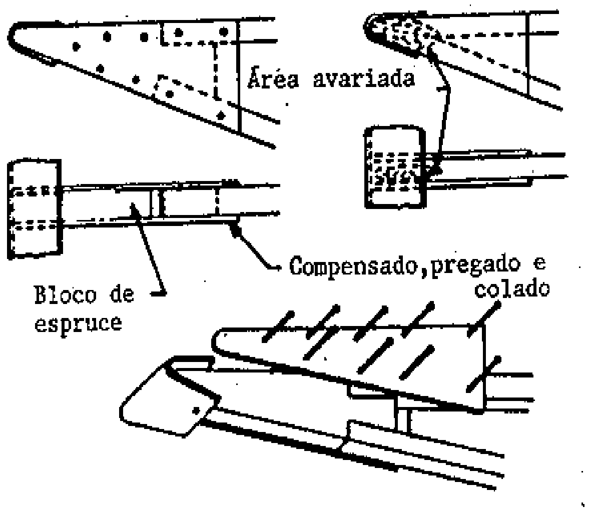

Área avariada
Compensado, pregado e colado
Bloco de espruce

Figura 5-127 Reparo da nervura do bordo de fuga.

A figura 5-128 mostra um reparo típico, realizado em um membro de compressão feito de compensado e de três membros longitudinais; o membro central que foi reparado por uma junta chanfrada adequadamente reforçada e uma camada externa de compensado.

Tais membros como os blocos colados, blocos de enchimento, membros de compensado, montantes e nervuras diagonais não devem ser reparados e sim substituídos. Sempre que é possível, substituimos um membro danificado, é melhor fazê-lo que tentar repará-lo.

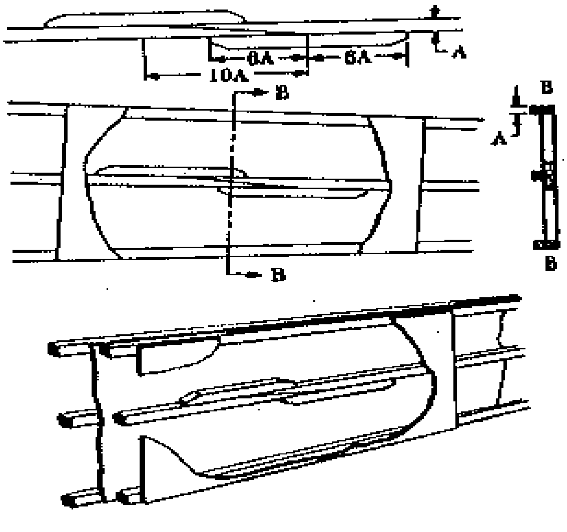

8A
8A
10A
A
B
B
A
B
B

Figura 5-128 Reparo da nervura de compressão.

CAPÍTULO 6

SOLDAGEM DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

Os metais podem ser unidos por meios mecânicos (parafusando ou rebitando, soldando ou colando). Todos esses métodos são usados na construção de aeronaves. Este capítulo discutirá os métodos usados para unir metais através de soldagem.

Soldagem (welding)

Esse processo consiste na união de metais através da fusão enquanto eles se encontram em estado pastoso ou derretido. Há 3 tipos gerais: (1) gás, (2) arco voltaico, e (3) resistência elétrica. Cada um desses três apresenta diversas variações, utilizadas na construção de aeronaves.

A soldagem aplica-se extensivamente no reparo e fabricação de aeronaves. Algumas partes como o montante do motor e o trem de pouso são geralmente fabricados desta maneira; e muitas fuselagens, superfícies de controle, encaixes, tanques, etc., que são construídas usando este processo podem também ser reparadas mais economicamente através da soldagem.

É de extrema importância um trabalho cuidadoso, tanto na preparação como na soldagem em si.

A soldagem é um dos métodos mais práticos de união de metais. A junta soldada oferece rigidez, simplicidade, baixo peso e alta resistência. Por essa razão, a soldagem foi adotada universalmente na fabricação e reparo de todos os tipos de aeronaves.

Muitas partes estruturais, bem como partes não estruturais, são unidas por alguma forma de soldagem, e o reparo de muitas dessas peças é uma parte indispensável da manutenção de aeronaves.

É igualmente importante reconhecer quando não se deve usar este tipo de soldagem, como quando se deve usá-la.

Muitas peças de ligas de aço ou aço-carbono forte que receberam um tratamento térmico para endurecimento ou fortalecimento, não voltam a 100% de sua dureza ou resistência após este processo de soldagem.

Soldagem a gás

É realizada através do aquecimento das pontas ou bordas das peças de metal até o ponto de fusão com uma chama de alta temperatura. Essa chama é produzida por um maçarico queimando um gás especial, como o acetileno ou o hidrogênio, junto com oxigênio. Os metais, quando fundidos, fluem juntos para formar a união sem a aplicação de pressão mecânica ou sopro.

Partes de aeronaves fabricadas em aço-cromo-molibdênio ou aço-carbono fraco são geralmente soldadas a gás.

Existem dois tipos de soldagem a gás, de uso comum: (1) oxiacetileno e (2) oxi-hidrogênio. Aproximadamente, toda a soldagem para a construção de aviões é feita com chama de oxiacetileno, apesar de alguns fabricantes preferirem a chama de oxi-hidrogênio para soldar ligas de alumínio.

Soldagem por arco voltaico

É usada extensivamente tanto na fabricação como no reparo de aeronaves, e pode ser usada satisfatoriamente na união de todos os metais soldáveis. O processo é baseado na utilização do calor gerado por um arco voltaico. São as seguintes as variações do processo: (1) soldagem por arco metálico, (2) soldagem por arco carbônico, (3) soldagem por hidrogênio atômico, (4) soldagem por gás inerte (hélio), e (5) soldagem multi-arco - As soldagens por arco metálico e por gás inerte são os processos mais largamente empregados na construção aeronáutica.

Soldagem por resistência elétrica

É um processo, pelo qual, baixa voltagem e alta amperagem são aplicados aos metais a serem soldados através de um condutor pesado de cobre, de baixa resistência. Os materiais a serem soldados oferecem uma alta resistência ao fluxo de corrente, e o calor gerado por essa resistência funde as partes, unindo-as em seu ponto de contato.

Três tipos comumente usados de soldagem por resistência elétrica são: de extremidade, em ponto e em fenda. A soldagem de extremidade é usada para soldar terminais a hastes de controle; a soldagem em ponto é freqüentemente usada na construção de fuselagens é o único método de soldagem usado para unir peças estruturais de aço resistente à corrosão; a soldagem em fenda é semelhante à soldagem em ponto, exceto quanto aos roletes a motor usados como eletrodos. Uma solda hermética contínua é obtida usando-se este processo.

EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM A OXIACETILENO

Ele pode ser estacionário ou portátil. Um equipamento portátil consiste em:

1) Dois cilindros, um contendo oxigênio e outro contendo acetileno.
2) Reguladores de pressão de oxigênio e de acetileno; com manômetros e conexões.
3) Um maçarico de soldagem, com ajuste de mistura, pontas extras e conexões.
4) Duas mangueiras de cores diferentes com conexões para os reguladores e para o maçarico.
5) Uma ferramenta especial.
6) Óculos para soldagem.
7) Um isqueiro.
8) Um extintor de incêndio.

A Figura 6-1 mostra parte do equipamento em um típico carrinho portátil para soldagem com acetileno.

O equipamento estacionário é semelhante ao portátil, exceto pelo fato de que um único reservatório central supre o oxigênio e o acetileno para diversas estações de soldagem. O reservatório central geralmente consiste em diversos cilindros conectados a uma tubulação comum. Um regulador mestre controla a pressão de cada tubulação para manter uma pressão constante no maçarico.

Gás acetileno

É um gás inflamável, incolor, que possui um odor desagradável, prontamente identificável, mesmo quando o gás está bem diluído em ar. Distintamente do oxigênio, o acetileno não existe livre na atmosfera, pois tem que ser fabricado. O processo não é difícil, mem dispendioso. O carbureto de cálcio reage com a água para produzir o acetileno. O acetileno é usado tanto diretamente em um sistema de tubulações, como, também, pode ser armazenado em cilindros. Quando queimado, gera uma chama amarela e esfumaçada de baixa temperatura.

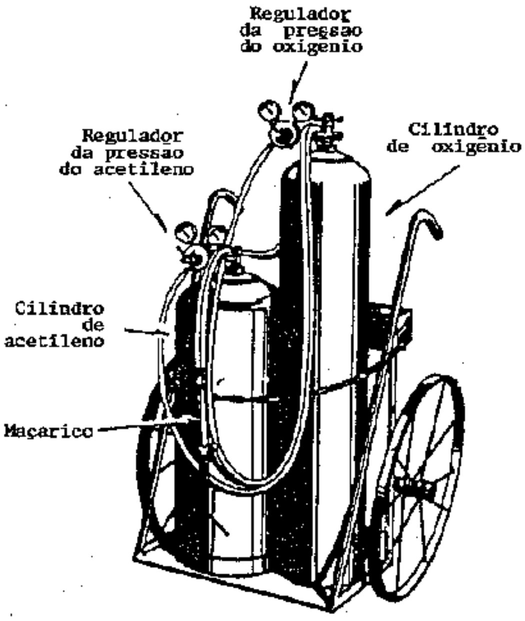

Regulador da pressao do oxigenio
Regulador da pressao do acetileno
Cilindro de oxigenio
Cilindro de acetileno
Maçarico

Figura 6-1 Equipamento portátil típico para soldagem com acetileno.

Quando misturado ao oxigênio nas proporções adequadas e, quando queimado, o resultado é uma chama branco-azulada com temperaturas que variam entre 5.700º e 6.300ºF.

Sob baixas pressões, em uma temperatura normal, o acetileno é um composto estável. Porém, quando comprimido em um cilindro, a pressões maiores que 15 p.s.i, ele se torna perigosamente instável. Por este motivo, os fabricantes enchem os cilindros de acetileno com uma substância porosa (geralmente uma mistura de amianto e carvão vegetal) e saturam essa substância com acetona. Uma vez que a acetona é capaz de absorver aproximadamente 25 vezes o seu volume em gás acetileno, um cilindro que contenha a quantidade correta de acetona pode ser pressurizado até 250 p.s.i.

Cilindros de acetileno

São geralmente reservatórios de aço inteiriços, com aproximadamente 12 polegadas de diâmetro e 36 pol. de comprimento. É geralmente pintado em uma cor característica, com o nome do gás impresso ou pintado nas laterais. Um cilindro com estas dimensões totalmente carregado, comporta aproximadamente 225 pés cúbicos de gás a pressões até 250 p.s.i. Em caso de fogo ou aumento excessivo de temperatura, há fusíveis instalados no cilindro que se derreterão permitindo o alívio da pressão, minimizando os riscos de uma explosão. Os furos desses fusíveis de segurança são bem pequenos para evitar que as chamas penetrem no cilindro. Os cilindros de acetileno nunca devem ser completamente esvaziados, ou poderá ocorrer perda do material de enchimento.

Cilindros de oxigênio

Os cilindros de oxigênio usados nas operações de soldagem são feitos em aço inteiriços e de diferentes tamanhos. O tamanho pequeno típico comporta 200 pés cúbicos de oxigênio a 1800 p.s.i de pressão. Um cilindro grande comporta 250 pés cúbicos de oxigênio a 2.265 p.s.i de pressão. Normalmente são pintados de verde para identificação. Ele possui uma válvula de alta pressão localizada no topo do cilindro. Essa válvula é protegida por uma cúpula metálica de segurança que deverá estar sempre no lugar quando o cilindro não estiver em uso.

O oxigênio jamais deverá entrar em contato com óleo ou graxa. Na presença de oxigênio puro, essas substâncias tornam-se altamente inflamáveis. Os encaixes de mangueiras e válvulas de oxigênio jamais deverão ser lubrificados com óleo ou graxa, ou manuseados com as mãos sujas dos mesmos. Manchas de graxa na roupa podem inflamar-se ou explodir ao contato com um jato de oxigênio. Nos equipamentos e encaixes do sistema de oxigênio usa-se normalmente cera-de-abelhas como lubrificante.

Reguladores de pressão

Os reguladores de acetileno e oxigênio reduzem as pressões e controlam o fluxo dos gases dos cilindros para o maçarico. Os reguladores de acetileno e oxigênio são do mesmo tipo geral, apesar daqueles desenhados para acetileno não suportarem pressões tão altas quanto os desenhados para oxigênio. Para evitar o intercâmbio entre as mangueiras dos gases, os reguladores são construídos com diferentes tipos de roscas nos encaixes de saída. O regulador de oxigênio possui rosca direita e o regulador de acetileno possui rosca esquerda.

Na maioria das unidades portáteis de soldagem, cada regulador é equipado com dois manômetros: um manômetro de alta pressão, que indica a pressão do cilindro; e um manômetro de baixa pressão; que indica a pressão de trabalho na mangueira que leva ao maçarico.

Numa instalação fixa, onde os gases são encanados até as estações de soldagem, somente são requeridos um manômetro para o oxigênio e outro para o acetileno, uma vez que é necessário indicar apenas a pressão de trabalho dos gases fluindo através da mangueira até o maçarico.

Um regulador típico, completo com manômetros e conexões, é mostrado na Figura 6-2. O parafuso de ajuste que aparece na frente do regulador serve para ajustar a pressão de trabalho.

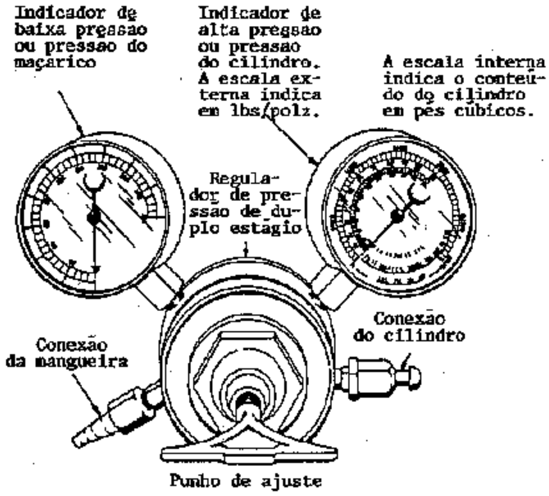

Indicador de baixa pressao ou pressao do maçarico
Indicador de alta pressao ou pressao do cilindro. A escala externa indica em lbs/polz.
A escala interna indica o conteúdo do cilindro em pés cúbicos.
Regulador de pressao de duplo estágio
Conexão do cilindro
Conexão da mangueira
Punho de ajuste

Figura 6-2 Regulador da pressão de oxigênio.

Quando esse parafuso é girado para a esquerda, até não haver mais resistência, o mecanismo da válvula dentro do regulador é fechado. O gás pára de fluir para o maçarico. À medida que a válvula é girada para a direita, o parafuso se opõe ao mecanismo regulador, a válvula abre e o gás flui para o maçarico na pressão ajustada no manômetro de pressão de trabalho. As mudanças na pressão de trabalho podem ser feitas ajustando-se o parafuso até que a pressão desejada seja mostrada no manômetro de trabalho.

Antes de abrir a válvula de alta pressão de um cilindro, o parafuso de ajuste do regulador deverá estar totalmente solto, girado para a esquerda. Isto fechará a válvula no interior do regulador, protegendo o mecanismo quanto a possíveis danos.

Maçarico para soldagem

O maçarico para soldagem é a unidade misturadora do oxigênio e do acetileno na proporção correta. Ele também possui meios de direcionar e controlar o tamanho e a qualidade da chama produzida. Os maçaricos são projetados com duas válvulas de agulha, uma para o ajuste do fluxo de oxigênio e a outra para o acetileno.

Os maçaricos são fabricados em diferentes tamanhos e estilos, havendo um tipo adequado para cada aplicação. Eles possuem também diferentes tamanhos de bicos intercambiáveis, para que uma quantidade adequada de calor possa ser obtida para a soldagem dos vários tipos e espessuras de metais.

Os maçaricos podem ser divididos em duas classes: (1) Tipo Injetor e (2) Tipo Pressão-Balanceada. O maçarico tipo injetor é desenhado para operar com uma pressão de acetileno bem mais baixa que a do oxigênio. (ver Figura 6-3A).

Uma passagem estreita dentro do maçarico, chamada de injetor, através da qual o oxigênio passa, causa um aumento na velocidade do fluxo com uma correspondente queda de pressão. Essa queda de pressão no injetor cria um diferencial de pressão que age no sentido de conduzir a quantidade requerida de acetileno para a câmara de mistura na cabeça do maçarico.

No maçarico de pressão balanceada, o oxigênio e o acetileno são supridos ao maçarico na mesma pressão (Figura 6-3B). As passagens para a câmara de mistura são de mesmo calibre para ambos os gases, e o fluxo de cada gás é independentemente controlado. Este tipo de maçarico geralmente é mais adequado para soldagem de aeronaves devido à facilidade de ajuste.

Bicos de maçarico

O bico do maçarico fornece e controla o fluxo final dos gases. É importante que o bico correto seja selecionado e usado com as pressões adequadas de gás para que a soldagem seja bem feita. A natureza da soldagem, o material, a experiência do soldador, e a posição na qual a soldagem será feita, determinam o tamanho correto do bico. Este determina a quantidade de calor (não de temperatura) aplicada ao trabalho. Se for usado um bico muito pequeno, o calor produzido será insuficiente para produzir penetração até a profundidade adequada. Se o bico for muito grande, o calor produzido será muito grande, e fará buracos no metal.

Os tamanhos dos bicos são designados por números, e cada fabricante tem seu próprio critério para classificá-los. Como exemplo, um bico número 2 possui um orifício com aproximadamente 0,040 da polegada de diâmetro. O diâmetro do orifício do bloco é relacionado com a quantidade de calor que ele gera.

Os bicos de maçarico são feitos de cobre ou liga de cobre, e são fabricados de forma a serem bem encaixados manualmente. Eles não devem ser friccionados em pedra de amolar ou usados como dedos para posicionar um trabalho.

Com o uso, os bicos ficam entupidos com depósitos de carbono, e se forem postos em contato com o material derretido, partículas de escória podem se alojar no furo. Uma chama partida ou distorcida é sinal de que o bico está entupido. O bico deve ser limpo com um limpador de bico de tamanho adequado, ou com um pedaço de arame de cobre ou latão macio. Esponja de aço fina pode ser usada para remover a oxidação exterior do bico. Essas oxidações atrapalham a dissipação de calor e causam o superaquecimento do bico.

Um isqueiro com pedra de fogo é usada para acender o maçarico. O isqueiro consiste de uma peça de aço em forma de copo, e um pedaço de pedra de fogo, que friccionado ao aço, produz as faixas necessárias para acender o maçarico.

Nunca se deve usar fósforos para acender o maçarico, devido ao seu pequeno comprimento, os dedos ficam muito próximos da tocha. O gás acumulado antes da ignição pode envolver a mão, e, durante, provocar graves queimaduras.

Óculos

Óculos de soldagem, com lentes coloridas, são usados para proteger os olhos do calor, raios de luz, faíscas e metal derretido. Deve-se selecionar o sombriamento ou a densidade da cor das lentes em função do trabalho a ser executado. A lente mais escura que apresenta uma definição clara do trabalho sem obstruir a visão é a mais adequada.

Os óculos devem ser bem ajustados aos olhos e devem ser usados sempre durante as soldagens e os cortes.

Varetas de enchimento para soldagem

O uso da vareta adequada é muito importante nas operações de soldagem com oxiacetileno. Esse material não apenas reforça a área de soldagem, mas também adiciona propriedades desejadas para o acabamento da solda. Selecionando-se uma vareta adequada, assegura-se a resistência à tração e a ductibilidade da solda. Semelhantemente, podem ser selecionadas varetas que aumentam a resistência à corrosão. Em alguns casos, uma vareta com ponto de fusão mais baixo elimina a possibilidade de rachaduras causadas pela expansão e contração.

As varetas de soldagem podem ser classificadas em ferrosas e não-ferrosas. As ferrosas incluem as varetas de carbono e liga de aço, bem como as de ferro fundido. As não-ferrosas incluem as de solda forte “brazing” e bronze, alumínio e ligas de alumínio, magnésio e ligas de magnésio, cobre e prata.

Elas são fabricadas no comprimento padrão de 36 polegadas, e com diâmetros de 1/16 a 3/8 polegadas: O diâmetro da vareta a ser usada depende da espessura dos metais a serem unidos. Se a vareta for muito pequena, ela não conduzirá o calor instantaneamente, o que resultará numa solda queimada. Uma vareta grande demais esfriará a solda. Tal qual na seleção do tamanho de bico adequado, somente a experiência capacita o soldador à seleção do diâmetro adequado de vareta.

Ajuste do equipamento de soldagem de acetileno

O ajuste do equipamento de soldagem a acetileno, e a preparação para a soldagem, devem ser feitos sistematicamente e em uma ordem definida para evitar erros caros. Os seguintes procedimentos e instruções são típicas para assegurar a segurança de equipamento e pessoal:

(1) Prenda os cilindros para que eles não tombem, e remova as cúpulas de proteção dos cilindros.

(2) Abra as válvulas de corte de cada cilindro por um instante para soprar qualquer sujidade que possa alojar-se na saída. Feche as válvulas e limpe as conexões com uma flanela limpa.

(3) Conecte o regulador de pressão de acetileno ao cilindro de acetileno, e o regulador de pressão de oxigênio ao cilindro de oxigênio. Use uma chave para regulador e aperte as porcas da conexão o suficiente para prevenir vazamentos.

(4) Conecte a mangueira vermelha (ou marrom) ao regulador de pressão de acetileno e a mangueira verde (ou preta) ao regulador de oxigênio. Aperte as porcas de conexão o bastante para evitar vazamentos. Não force essas conexões, uma vez que as roscas são de latão e são facilmente danificáveis.

(5) Solte ambos os parafusos de ajuste dos reguladores de pressão, girando-os para a esquerda até que girem livremente. Assim, evita-se danos aos reguladores e manômetros quando as válvulas dos cilindros forem abertas.

(6) Abra as válvulas dos cilindros devagar e leia os manômetros de cada cilindro para checar o conteúdo de cada um. A válvula de corte do cilindro de oxigênio deve ser totalmente aberta e a válvula de corte do cilindro de acetileno deve ser aberta aproximadamente uma volta e meia.

(7) Sobre cada mangueira gire o parafuso de ajuste para a direita e volte para a esquerda de novo. A mangueira de acetileno deve ser soprada somente em um local bem ventilado, livre de faíscas, fogo ou outras fontes de ignição.

(8) Conecte ambas as mangueiras ao maçarico e cheque as conexões quanto a vazamentos, girando os parafusos de ajuste para a direita, com a válvula de agulha do maçarico fechada. Quando a leitura do manômetro da pressão de trabalho de oxigênio for de 20 p.s.i e 5 p.s.i para o acetileno, feche as válvulas girando os parafusos para a esquerda. Uma queda de pressão no manômetro de trabalho indicará um vazamento entre o regulador e o bico do maçarico. Um aperto geral dos encaixes deverá remediar a situação. Se for necessário localizar um vazamento use o método das bolhas de sabão. Molhe os encaixes e conexões com uma solução de água e sabão. Nunca procure um vazamento de acetileno com uma chama! Isso poderá provocar uma grave explosão na mangueira ou no cilindro.

(9) Ajuste a pressão de trabalho em ambos os reguladores, girando os parafusos de ajuste no sentido horário até que as pressões desejadas sejam obtidas.

Ajuste de chama de oxiacetileno

Para acender o maçarico, abrimos a válvula de acetileno do maçarico de 1/4 a 1/2 volta. Colocamos a ponta do maçarico para longe do corpo e acendemos o maçarico com um isqueiro. A chama de acetileno puro é longa e espessa, e possui coloração amarelada. Continuamos abrindo a válvula de acetileno até que a ponta da chama diste aproximadamente 1/16 pol. do bico. Abra a válvula de oxigênio do maçarico. Quando a válvula de oxigênio é aberta, a chama de acetileno diminui e os gases misturados queimam em contato com a face do bico. A cor da chama muda para branco-azulado e forma um cone interno brilhante envolto por um envelope de chama externo.

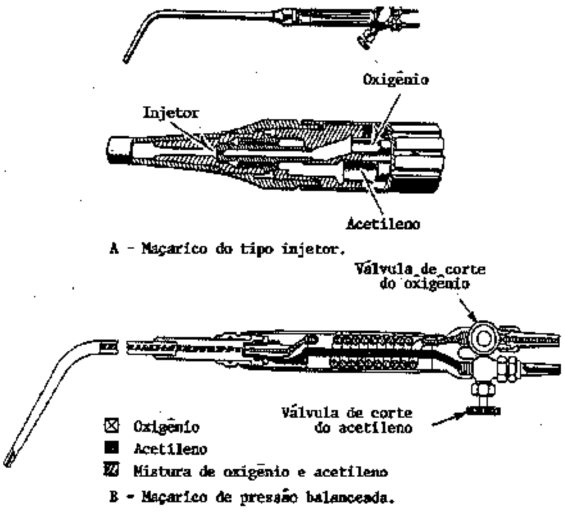

Oxigênio
Injetor
Acetileno
A - Maçarico do tipo injetor.
Válvula de corte do oxigênio
Válvula de corte do acetileno
☒ Oxigênio
■ Acetileno
▨ Mistura de oxigênio e acetileno
B - Maçarico de pressão balanceada.

Figura 6-3 Maçaricos de soldagem.

Processo de soldagem (welding) com oxiacetileno

É um método no qual os gases são usados para produzir a chama de soldagem. A temperatura dessa chama fica em torno de 6.300ºF, o que é suficiente para derreter qualquer metal comercial envolvido em soldagem. Quando a chama de oxiacetileno é aplicada às extremidades ou bordas das partes metálicas, elas são rapidamente elevadas ao ponto de fusão, e fluem juntas para formar uma peça sólida. Geralmente adiciona-se algum metal à soldagem, em forma de fio ou vareta, para melhorar a junção da solda a uma espessura maior que a do metal base.

Há 3 tipos de chamas geralmente usadas nas soldagens. Elas são conhecidas como: neutra, redutora ou carburante, e oxidante. As características destas chamas são mostradas na Figura 6-4.

A chama neutra é produzida utilizando-se proporções de acetileno e oxigênio de forma a queimar todas as partículas de carbono e hidrogênio do acetileno. Esta chama é bem arredondada, suave, com um cone central branco bem definido na ponta do bico. O envelope ou chama externa é azul com tons purpúreos nas bordas e ponta. A chama neutra é geralmente usada para soldagem e provê uma fusão minunciosa, sem metal queimado ou pontos duros.

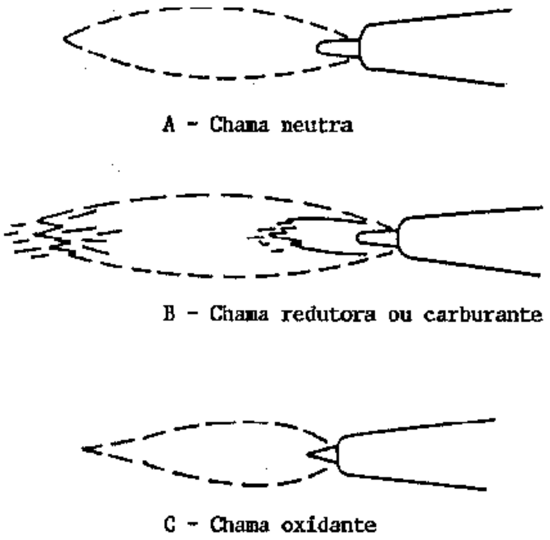


Figura 6-4 Características da chama do acetileno.

Para obtermos uma chama neutra, abrimos gradualmente a válvula de oxigênio. Isso nos faz encontrar a chama de acetileno e faz com que o envelope da chama assemelhe-se a uma "pena de ave". Aumentamos gradualmente a quantidade de oxigênio até que a "pena" desapareça dentro de um cone luminoso interno claramente definido.

A chama redutora ou carburante é mostrada na Figura 6-4B. Uma vez que o oxigênio fornecido através do maçarico não é suficiente para completar a combustão do acetileno, o carbono escapa sem ser queimado. Essa chama possui um cone secundário em forma de pincel branco-esverdeado, à frente do primeiro cone. A chama externa é fracamente iluminada e tem aproximadamente a mesma aparência de uma chama de acetileno pura. Esse tipo de chama introduz carbono no aço.

Para conseguirmos uma chama redutora, primeiramente ajustamos a chama até a condição neutra, depois abrimos devagar a válvula do acetileno, para produzir uma "pena" branca de acetileno na ponta do cone interno.

Uma chama oxidante (Figura 6-4C) contém excesso de oxigênio, que resulta do excesso de oxigênio passando pelo maçarico. O oxigênio que não participa da combustão, escapa e combina-se ao metal. Esta chama pode ser reconhecida pelo cone central, curto, pontudo e de cor branco-azulado. O envelope, ou chama externa, é também mais curto e de um azul mais brilhante que o da chama neutra. É acompanhada de um som agudo, semelhante ao produzido por ar à alta pressão, escapando por um furo pequeno. Esta chama oxida ou queima a maioria dos metais, e resulta em uma solda porosa. Somente é usada para soldagem de latão ou bronze. Para obtermos a chama oxidante, também, primeiramente, ajustamos a chama até a condições neutra; depois aumentamos o fluxo de oxigênio até que o cone interno seja reduzido a 1/10 de seu comprimento. A chama oxidante tem um cone interno pontudo.

Os diversos tipos de chamas podem ser produzidos com os diferentes tipos de bicos. Também é possível obter uma chama forte ou fraca, aumentando ou diminuindo as pressões de ambos os gases.

Para ajustes mais regulares, os gases devem ser expelidos pelo bico do maçarico a uma velocidade relativamente alta, e a chama é denominada "forte" (harsh). Para alguns trabalhos deseja-se uma chama "suave"(soft) ou de baixa velocidade, sem uma redução na saída de calor. Isto pode ser conseguido usando-se um bico maior e, fechando as válvulas de agulha do gás, até formar uma chama quieta e constante. É especialmente desejável usarmos uma chama suave ao se soldar alumínio, para evitar a criação de buracos no metal quando a poça da solda é formada.

Um ajuste ou manuseio inadequado do maçarico pode fazer a chama retornar para o sistema ou, em casos muito raros, causar retorno de chama. No primeiro caso, trata-se de uma redução momentânea do fluxo dos gases no bico do maçarico, o que faz com que a chama apague. Isto pode ser causado, tocando a solda com a ponta do maçarico, superaquecendo o bico, operando o maçarico com pressões diferentes das recomendadas, por um bico solto ou por sujeira, ou escória na ponta do bico. Este caso dificilmente é perigoso, porém o metal derretido pode ser espalhado quando a chama falhar.

O retorno de chama é a queima dos gases dentro do maçarico, o que é perigoso. É geralmente causado por conexões soltas, pressões inadequadas ou superaquecimento do maçarico. Um assovio ou um ruído agudo acompanham o retorno de chama; e a menos que os gases sejam desligados imediatamente, a chama poderá queimar por dentro das mangueiras e reguladores e causar um grande estrago. A causa do retorno de chama deve ser sempre determinada, e o problema remediado antes de reacender o maçarico.

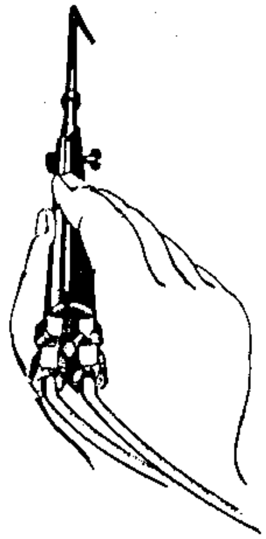


Figura 6-5 Posição do maçarico para soldar metais de pouca expessura com acetileno.

Como apagar o maçarico

O maçarico pode ser apagado simplesmente fechando-se as duas válvulas de agulha; porém, é melhor desligar primeiro o acetileno, e deixar que o gás residual seja queimado. Só então, a válvula de agulha do oxigênio poderá ser fechada. Caso o maçarico não vá ser usado por um longo tempo, a pressão deverá ser fechada no cilindro. As mangueiras deverão ter suas pressões aliviadas pela abertura das válvulas de agulha do maçarico e do regulador de pressão de trabalho - um de cada vez - permitindo, assim, que o gás escape. Lembrando que é sempre bom aliviar a pressão do acetileno, e depois a pressão do oxigênio. A mangueira deverá ser enrolada ou pendurada cuidadosamente para evitar danos ou dobras.

Técnicas fundamentais para soldagem (welding) a oxiacetileno

A posição correta do maçarico dependerá da espessura do metal a ser soldado. Quando for soldar metais de pouca espessura, o maçarico é geralmente segurado como ilustrado na Figura 6-5, com a mangueira apoiada no pulso.

A Figura 6-6 mostra a maneira de segurar o maçarico durante a soldagem de metais pesados.

O maçarico deverá ser seguro de forma que o bico fique alinhado com a junta a ser soldada, e inclinado em ângulo de 30º a 60º a partir do plano perpendicular.

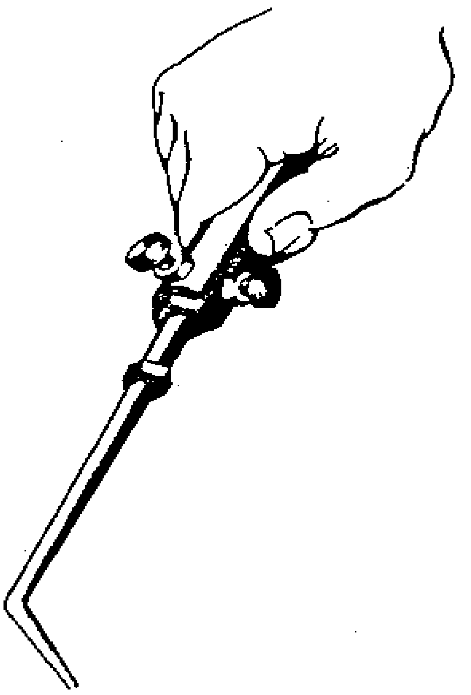


Figura 6-6 Posição do maçarico para soldar metais pesados com acetileno.

O melhor ângulo depende do tipo de soldagem a ser feita, da quantidade de pré-aquecimento necessário, e da espessura e tipo do metal.

Quanto mais grosso o metal, mais vertical o maçarico deverá ficar para que haja uma penetração adequada de calor.

O cone branco da chama deve ser mantido a 1/8 da polegada da superfície do metal base. Se o maçarico for seguro na posição correta, uma pequena poça de metal derretido se formará.

A poça deverá ser composta de partes iguais dos metais a serem soldados.

Após o surgimento da poça, deve-se iniciar um movimento semi-circular ou circular com o bico do maçarico. Esse movimento garante uma distribuição igual de calor em ambas as peças de metal.

A velocidade e o movimento ideal do maçarico só são conseguidos através da prática e da experiência.

Soldagem para a frente é a técnica em que a chama do maçarico é direcionada para a frente, na direção em que a soldagem irá progredir, como ilustrado na Figura 6-7.

A vareta de enchimento é adicionada à poça, à medida em que as bordas da junta vão derretendo à frente da chama. Esse método é usado na soldagem da maioria dos tubos leves e das folhas de metal.

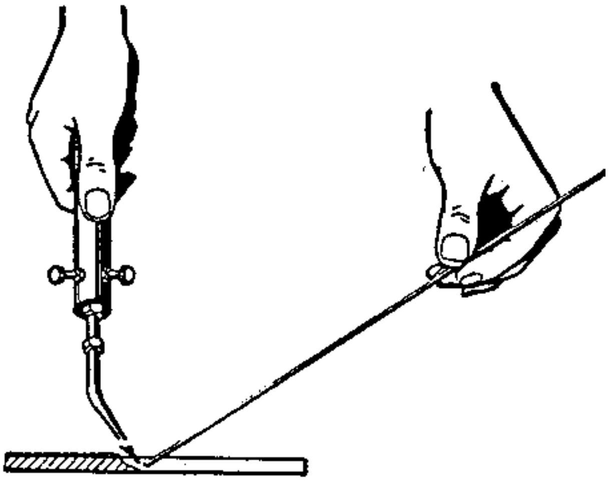


Figura 6-7 Soldagem para a frente.

A soldagem para trás é a técnica em que a chama do maçarico é direcionada contra a solda já feita, e se move na direção da área não soldada, derretendo as bordas da junta à medida que se move (Figura 6-8).

A vareta de solda é adicionada à poça entre a chama e a solda acabada. Essa técnica é raramente usada em folhas de metal, devido ao aumento do calor gerado, que poderá causar superaquecimento e queima. É usada em metais espessos.

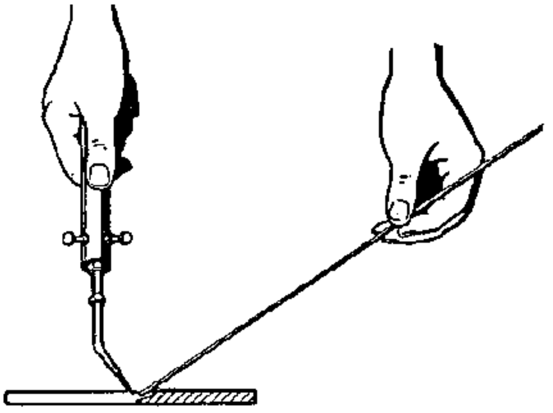


Figura 6-8 Soldagem para trás.

A larga poça de metal derretido requerida por tais soldagens é mais facilmente controlada na soldagem para trás, e é possível examinar o progresso da soldagem e determinar se a penetração está completa.

POSIÇÕES DE SOLDAGEM

Há 4 posições gerais nas quais a soldagem é efetuada. Essas posições são mostradas na Figura 6-9, e são denominadas: chata ou plana, horizontal, vertical e sobre-cabeça.

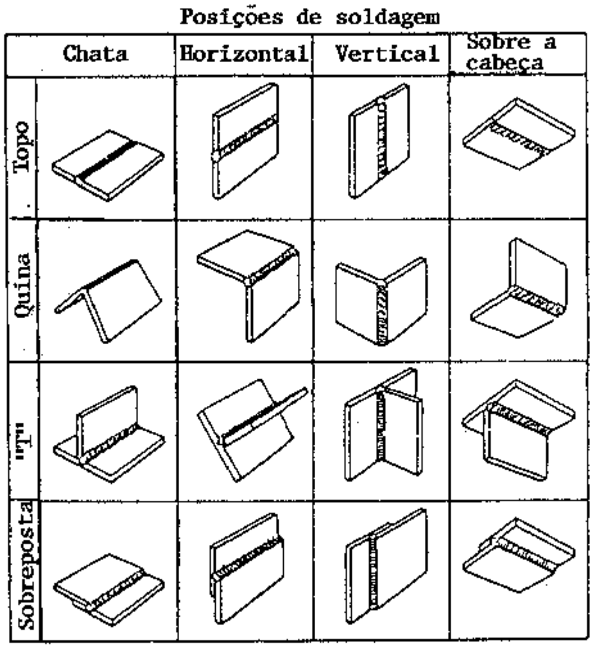


Figura 6-9 Quatro posições básicas de soldagem.

Sempre que possível a soldagem será feita na posição chata, uma vez que a poça é muito mais fácil de ser controlada nesta posição. Algumas vezes, contudo, é necessário realizar soldagens sobre-cabeça; verticais ou horizontais em reparos de aeronaves.

A posição chata é usada quando o material pode ser deitado em local plano, ou inclinado em ângulo menor que 45º, e soldado pela face superior. Esta soldagem tanto pode ser feita para a frente como para trás, dependendo da espessura do metal a ser soldado.

A posição horizontal é usada quando a linha de solda corre através de uma peça e a chama é direcionada para o material numa posição horizontal ou quase. A soldagem será feita da direita para a esquerda através da chapa (para o soldador destro).

A chama é inclinada para cima em um ângulo de 45º a 60º. A soldagem tanto pode ser feita para frente como para trás. Adicionando a vareta de enchimento ao topo da poça, ajudará a prevenir que o metal derretido escorra para a parte mais baixa dela.

A soldagem sobre-cabeça é usada quando o material deve ser soldado pela face inferior com a junção correndo na horizontal, ou em um plano, em que a chama tenha que ser apontada para cima, sob o trabalho. Na soldagem aérea, deve-se evitar grandes poças de metal derretido, pois ele pode pingar ou correr para fora da junta. A vareta é usada para controlar o tamanho de poça de fusão.

O volume da chama usada não deve exceder o requerido para obter uma boa fusão do metal base com a vareta de enchimento. A quantidade de calor necessária para fazer a soldagem será melhor controlada se for selecionado o bico adequado para a espessura do metal a ser soldado.

Quando as partes a serem unidas estão incluídas em ângulo de mais de 45º, com junta correndo verticalmente, é chamada de soldagem vertical.

Numa soldagem vertical, a pressão exercida pela chama do maçarico é muito importante no suporte da poça.

Devemos evitar que a poça superaqueça para que o metal não escorra para fora da poça, por cima da solda já terminada. As soldagens verticais são iniciadas na parte mais baixa, e a poça é movida para cima, usando a soldagem para a frente.

O bico deve ser inclinado de 45º a 60º, sendo que o ângulo exato dependerá do balanço desejado entre a penetração correta e o controle da poça. A vareta é adicionada por cima e em frente à chama.

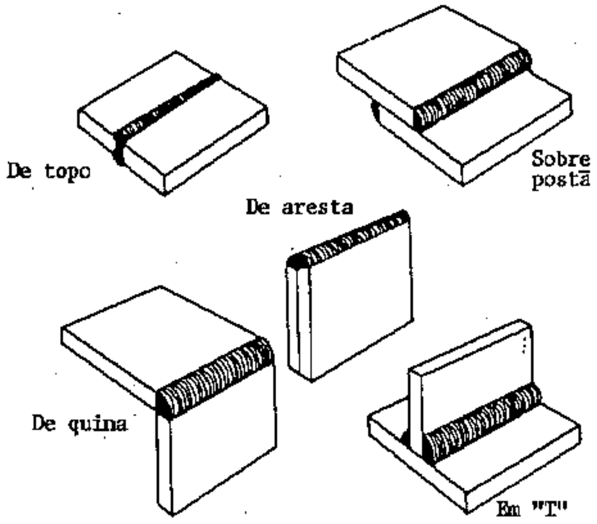


Figura 6-10 Soldagem básica de juntas.

JUNTAS SOLDADAS

Os 5 tipos fundamentais de juntas soldadas são; a junta de topo; a de ângulo em "T"; a junta sobreposta; a de ângulo em "Quina"; e a junta de aresta.

Juntas de topo

Uma junta de topo é feita posicionando-se duas peças de material, borda a borda, de forma que não se sobreponham, e soldando-as. Alguns dos vários tipos de juntas de topo são apresentados na Figura 6-11. A junta de topo com flange pode ser usada na soldagem de folhas finas, 1/16 da polegada ou menos.

As bordas são preparadas torcendo para cima um flange igual à espessura do metal. Este tipo de junta é geralmente feito sem vareta de enchimento.

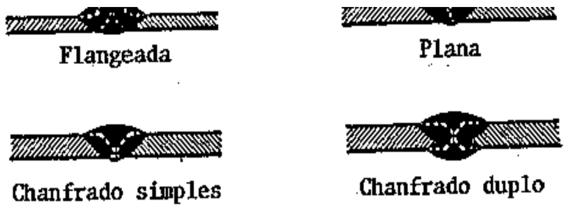


Figura 6-11 Tipos de juntas de topo.

A junta de topo plana é usada para metais de 1/16 a 1/18 da polegada de espessura. Para obter uma solda forte usamos uma vareta de enchimento.

Caso o metal seja mais grosso que 1/8 da polegada, é necessário chanfrar as bordas para que o calor da chama possa penetrar completamente no metal. Esses chanfros podem ser em "V" ou em "X" (ou "V" duplo).

Usa-se uma vareta de enchimento para adicionar resistência e reforçar a solda.

Rachaduras

O reparo de rachaduras por soldagem pode ser considerado como uma junta de topo. São feitos furos de alívio nas extremidades da rachadura; depois, as duas bordas são unidas. Faz-se necessário o uso de uma vareta de enchimento.

Junta de ângulo em "T"

Essa junta é formada quando a borda ou extremidade de uma peça é soldada à superfície de outra, como mostrado na Figura 6-12.

Essas juntas são muito comuns em trabalhos em aeronaves, particularmente em estruturas tubulares.

A junta em "T" plana é aplicável à maioria das espessuras das chapas de aeronaves, porém grandes espessuras requerem que o membro vertical possua um ou dois chanfros para permitir a penetração do calor.

As áreas escuras da Figura 6-12 mostram a profundidade da penetração do calor e da fusão requeridas.

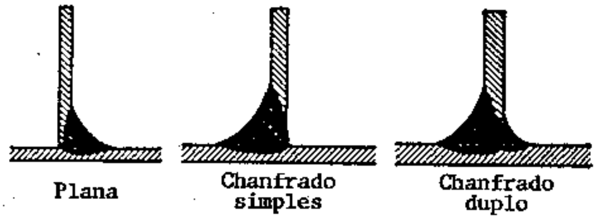


Figura 6-12 Tipos de juntas em “T”.

Juntas de aresta

Uma junta de aresta pode ser usada quando duas peças de chapa de metal precisam ser unidas, e onde as cargas de estresse são desconsideráveis. Essas juntas são normalmente feitas dobrando as bordas de uma ou de ambas as partes para cima, colocando-se as duas bordas dobradas lado a lado, e soldando ao longo da face externa da emenda formada pelas duas bordas. A Figura 6-13 mostra dois tipos de juntas de aresta. O tipo apresentado na Figura 6-13A não requer o uso da vareta de enchimento, uma vez que as bordas podem ser derretidas para preencher a emenda. O tipo apresentado na Figura 6-13B, devido à grande espessura do material, deve ser chanfrado para a penetração do calor, e a vareta de enchimento deve ser adicionada para reforço.

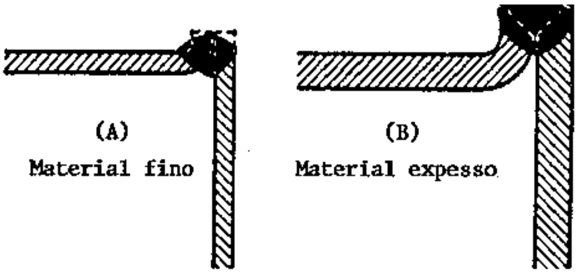


Figura 6-13 Juntas de aresta.

Juntas de ângulo em "quina"

Essa junta é feita quando duas peças de metal são unidas, de forma que suas bordas formem uma quina de uma caixa ou cerco, como mostrado na Figura 6-14.

A junta em quina, mostrada na Figura 6-14A requer pouca ou nenhuma vareta de enchimento, uma vez que as bordas se fundem para fazer a solda. É usada onde cargas de estresse são desconsideráveis.

A junta apresentada na Figura 6-14B é usada em metais mais pesados, e adiciona-se vareta de enchimento para acabamento e reforço.

Caso a quina vá sofrer muito esforço, o lado interno deve ser reforçado, como mostrado na Figura 6-14C.

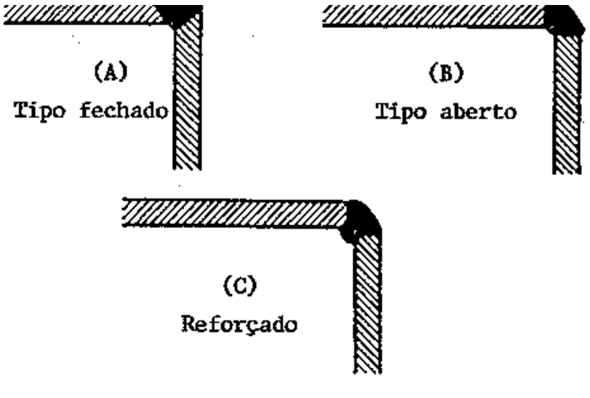


Figura 6-14 Juntas de "quina".

Juntas sobrepostas

Essa junta é raramente usada em estruturas de aeronaves soldadas com oxiacetileno, porém é comumente usada em soldagem em ponto. A junta sobreposta com um cordão de solda (Figura 6-15) possui muito pouca resistência à dobragem, e não resiste a esforços de cisalhamento aos quais a solda pode ser submetida sob cargas de tensão e compressão. A junta sobreposta com dois cordões de solda (Figura 6-15) oferece mais resistência, porém requer duas vezes a quantidade de solda requerida na junta de topo, que é mais simples e mais eficiente.

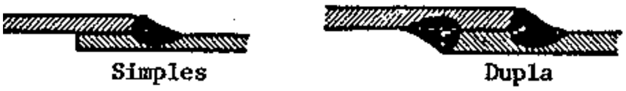


Figura 6-15 Juntas superpostas simples e dupla.

EXPANSÃO E CONTRAÇÃO DOS METAIS

O calor provoca dilatação (expansão) nos metais; o resfriamento faz com que eles se contraiam. Um aquecimento desigual, portanto, causará uma expansão desigual, ou um resfriamento desigual causará uma contração desigual. Sob tais condições, cria-se estresse dentro do metal. Essas forças devem ser aliviadas, e a menos que sejam tomadas precauções, ocorrerá deformação ou empenamento do metal. Como no resfriamento, se nada for feito para anular o estresse gerado pelas forças de contração, poderá ocorrer empenamento; ou caso o metal seja muito pesado para permitir essa deformação, o estresse permanece dentro do metal.

O coeficiente de expansão linear de um metal é a quantidade, em polegadas, que um pedaço de metal de 1 polegada. irá dilatar-se quando sua temperatura é aumentada de 1ºF. A quantidade que um pedaço de metal irá dilatar-se quando o calor é aplicado, é encontrada multiplicando-se o coeficiente de dilatação linear pelo aumento de temperatura, e esse produto é multiplicado pelo comprimento do metal em polegadas.

Por exemplo, se uma vareta de alumínio medindo 10 pés tiver sua temperatura elevada a 1200ºF a partir da temperatura ambiente de 60ºF, a vareta irá expandir-se 1,75 da polegada -

0,00001280 (coef. de dilatação linear de alumínio) X 120 (comprimento em polegada.) X 1140 (aumento de temperatura).

A expansão e a contração têm uma tendência a provocar deformação e empenamento em chapas de metal com 1/8 da polegada de espessura ou mais finas. Isto ocorre por haver uma ampla superfície que espalha o calor rapidamente e dissipa-o logo que a fonte de calor é removida.

O modo mais eficaz de aliviar essa situação é a remoção do calor do metal, próximo à solda, evitando assim que ele se espalhe através de toda a superfície. Isto pode ser feito pondo peças pesadas de metal, conhecidas como barras de resfriamento, em ambas as faces da soldagem; elas absorvem o calor e evitam que ele se espalhe. As barras de resfriamento são normalmente de cobre, devido à sua habilidade em absorver calor rapidamente. Algumas vezes as bancadas de soldagem usam este mesmo princípio para remover o calor do metal base. A expansão também pode ser controlada através da solda ponteada em intervalos ao longo da junta.

À medida que se solda uma emenda longa (maior que 10 ou 12 polegadas) as bordas mais afastadas do ponto de soldagem tendem a se unir. Se essas bordas forem postas em contato ao longo de toda a extensão da emenda, antes do início da soldagem, as extremidades mais distantes irão se sobrepor antes do final da soldagem. Isto pode ser evitado deixando as peças, a serem soldadas, corretamente afastadas na extremidade de início da soldagem e, aumentando esse espaçamento à medida em que se afasta do ponto inicial, como mostrado na Figura 6-16. A quantidade de espaço dependerá do tipo de material, da espessura do material, do processo de soldagem usado e do formato e tamanho das peças a serem soldadas.

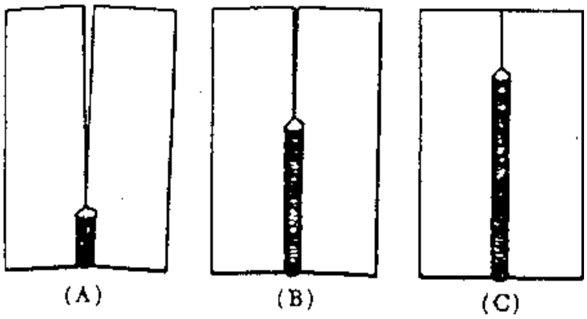


Figura 6-16 Tolerância para a soldagem de topo em chapas de aço.

A soldagem é iniciada na ponta corretamente espaçada e prossegue em direção à ponta com maior espaçamento. À medida que a emenda vai sendo soldada, o espaço entre as bordas irá diminuindo e dará a folga correta no ponto da soldagem. Folhas de metal com menos de 1/16 da polegada podem ser soldadas flangeando-se as bordas, fazendo solda ponteada e depois soldando entre os pontos.

A tendência a empenamento e deformação é menor em chapas de mais de 1/8 da polegada, porque a maior espessura limita o calor a uma área estreita e dissipa-o antes que ele se espalhe por uma área maior.

O pré-aquecimento antes da soldagem é outro método de controle da expansão e da contração. O pré-aquecimento é especialmente importante quando se trata de soldagem de tubulações e de fundições.

Um grande estresse pode ser gerado em soldas tubulares, por contração. Quando dois membros de uma conexão em "T" são soldados, um dos tubos tende a puxar para cima devido à contração desigual. Se o metal for pré-aquecido antes da soldagem, ainda assim haverá contração, porém a contração do resto da estrutura será aproximadamente igual, o que reduzirá o estresse interno.

A CORRETA FORMAÇÃO DE UMA SOLDA

A formação de uma solda metálica possui considerável influência quanto à força e à resistência à fadiga de uma junta. A força de uma solda inadequadamente feita é geralmente menor que a força para a qual ela foi projetada. Soldas com baixa resistência são geralmente devidas a penetração insuficiente; rebaixamento do metal base na raiz da solda; fusão incorreta do metal de soldagem com o metal de base; óxidos presos, escória ou bolhas de gás na solda; sobreposição do metal soldado no metal de base; reforço de mais ou menos; e superaquecimento da solda.

Características de uma boa solda

Uma solda completa deve ter as seguintes características:

1) A junta deve ficar lisa, as oscilações da camada de solda devem estar igualmente espaçadas, e devem ter uma espessura uniforme.

2) A altura da solda deve ser maior que o nível da superfície soldada, aumentando assim a espessura da junta.

3) A solda deve ir afilando suavemente em direção ao metal base.

4) Não deve haver formação de óxido no metal base, junto à solda.

5) A solda não deve apresentar sinais de furos por bolhas, porosidade ou glóbulos.

6) O metal base não deve apresentar sinais de queima, furos, rachaduras ou distorções.

Apesar do ideal ser uma solda limpa e suave, esta característica não significa necessariamente que a solda está boa; ela poderá estar perigosamente fraca em seu interior. Contudo, quando uma solda está áspera, desigual e cheia de furos, ela quase sempre estará fraca por dentro. A solda nunca deve ser limada para melhorar a aparência, pois isto reduz sua resistência. Nunca se deve aplicar um enchimento que não seja o adequado.

Informações adicionais sobre as características das soldas estão contidas no capítulo 10 (Inspeções) do Manual de Matérias Básicas AC 65-9A.

Quando for necessário refazer a solda de uma junta, todo o material anterior deverá ser removido antes de recomeçar a operação. Contudo, deve ser relembrado que o reaquecimento da área, pode causar ao metal base, a perda de alguma de suas resistências, enfraquecendo-o.

Soldagem com oxiacetileno de metais ferrosos

Aço

Aço com baixo carbono, aço de baixa liga, aço fundido e ferro forjado são facilmente soldados com uma chama de oxiacetileno. O aço com baixo carbono é o material ferroso mais freqüentemente soldado a gás. À medida que a quantidade de carbono no aço aumenta, ele apenas poderá ser soldado sob certas condições. Os fatores envolvidos são o contéudo de carbono e a ductibilidade. Para aços níquel-cromo, resistentes à corrosão e ao calor, a soldabilidade dependerá da estabilidade, do conteúdo de carbono ou do tratamento térmico.

Para fazer uma boa soldagem, o conteúdo de carbono do aço não deve ser alterado, nem pode-se adicionar constituintes químicos ou subtraí-los do metal base sem alterar seriamente as propriedades do metal. O aço derretido possui uma grande afinidade com o carbono, e o oxigênio e o nitrogênio se combinam com a poça de fusão para formar óxidos e nitratos, e ambos reduzem a resistência do aço. Durante a soldagem com oxiacetileno pode-se reduzir a inclusão de impurezas tendo as seguintes precauções:

1) Manter uma chama exatamente neutra para a maioria dos aços, e um pequeno excesso de acetileno para ligas com alto teor de níquel ou cromo, tal como o aço inoxidável.

2) Manter uma chama suave, e controlar a poça.

3) Manter uma chama suficiente para penetrar no metal, e manipulá-lo de forma que a poça de fusão seja protegida do ar pelo envelope externo da chama.

4) Manter a ponta quente da vareta de enchimento dentro da poça de fusão ou dentro do envelope da chama.

A preparação adequada é um fator importante em toda operação de soldagem. As bordas das peças devem estar preparadas de acordo com o tipo de junta escolhida. O método escolhido (chanfro, ranhura, etc.) deve permitir uma penetração completa da chama no metal base. As bordas devem estar limpas. Deve-se fazer os preparativos para o pré-aquecimento, se for necessário.

Quando for preparar uma peça de aeronave para a soldagem, remova toda a sujeira, graxa ou óleo, e qualquer revestimento protetor, tal como o cádmio, esmalte (enamel), pintura ou verniz. Tais revestimentos não apenas dificultam a soldagem, mas também mesclam-se com a solda e atrapalham a fusão.

O banho de cádmio pode ser quimicamente removido, mergulhando-se as bordas em uma mistura de 1 libra de nitrato de amônia e 1 galão de água.

O esmalte, a pintura ou o verniz podem ser removidos das partes de aço de diversas formas, como por exemplo com uma escova de cerdas de aço ou uma lixa, com jateamento de areia, usando removedor ou tratando as peças com uma solução quente de 10% de soda cáustica, seguida de uma lavagem com água quente para remover os resíduos de solvente. O jateamento com areia é o método mais efetivo para remover ferrugem ou escamas das peças de aço. Graxa e óleo podem ser removidos com um bom solvente.

Esmalte, pintura e verniz ou oxidações pesadas em ligas de alumínio podem ser removidas usando-se uma solução a 10% de soda-cáustica ou fosfato tri-sódico. Após o tratamento, as partes podem ser imersas em uma solução a 10% de ácido nítrico, seguido de um enxágüe com água quente para remover os produtos químicos. A pintura e o verniz podem também ser removidos usando-se removedor.

A ponta da vareta de enchimento deve ser mergulhada abaixo da superfície da poça de fusão com movimento exatamente oposto ao movimento do maçarico.

Caso a vareta de enchimento seja mantida acima da superfície, ela irá derreter e pingar na poça de fusão gota a gota, estragando a solda.

O metal de enchimento deve ser adicionado até que a superfície da junta fique ligeiramente mais alta que as bordas das peças. A poça de metal fundido deve ser gradualmente movida ao longo da junta até a extremidade final.

À medida que o final da junção se aproxima, o maçarico deve ser ligeiramente erguido, resfriando o metal derretido para prevenir que ele derrame além da junção.

Cromo molibdênio

A técnica de soldagem em cromo molibdênio é praticamente a mesma usada para aço carbono, excetoquanto à área ao redor da soldagem, que deverá ser pré-aquecida a uma temperatura entre 300º e 400ºF antes do início da soldagem. Caso isto não seja feito, a aplicação súbita de calor causará a formação de rachaduras na área aquecida.

Uma chama neutra suave deve ser usada na soldagem; uma chama oxidante pode causar rachaduras na solda após o resfriamento; e uma chama carburante fará com que o metal fique quebradiço.

O volume da chama deve ser suficiente para derreter o metal base, porém não tão forte que vá enfraquecer a estrutura da área ao redor e criar tensões no metal. A vareta de enchimento deverá ser do mesmo metal que a base. Caso a solda requeira alta resistência, usa-se uma vareta especial de aço cromo molibdênio e a peça sofrerá tratamento térmico após a soldagem.

Chapas de cromo molibdênio mais finas que 0.093 polegadas são geralmente soldadas por arco-voltaico, uma vez que para esta espessura de metal, a solda a arco-voltaico produz uma zona estreita de calor; desenvolve-se assim menos tensão interna no metal, e obtém-se uma soldagem melhor, particularmente quando a parte soldada não pode sofrer tratamento térmico após a soldagem.

Aço inoxidável

O processo de soldagem de aço inoxidável é basicamente o mesmo, aplicado ao aço carbono. Há, contudo, algumas precauções especiais que devem ser tomadas para se obter melhores resultados.

Somente o aço inoxidável que não for usado em membros estruturais de aeronaves pode ser soldado satisfatoriamente; sendo ele, utilizado em membros estruturais, é trabalhado a frio ou laminado a frio; e, se aquecido, perde parte da sua resistência. Aço inoxidável não estrutural é obtido em forma de tubos ou folhas, e geralmente é aplicado em coletores de exaustão, chaminés ou tubulações. O oxigênio se combina muito rapidamente com este material, quando derretido, e deve-se ter muito cuidado para que isto não ocorra.

Uma chama ligeiramente carburante é recomendada para a soldagem de aço inoxidável.

A chama deve ser ajustada de forma que "pena" do excesso de acetileno, aproximadamente 1/16 da polegada de comprimento, forme-se ao redor do cone interno. Contudo, acetileno demais adicionará carbono ao metal, e causará o enfraquecimento da resistência a corrosão do aço. O tamanho do bico do maçarico deve ser uma ou duas medidas abaixo do tamanho especificado para uma soldagem em aço carbono de mesma espessura. O bico menor reduz as chances de superaquecimento e perda subsequente das qualidades anti-oxidantes do metal.

Para evitar a formação de óxido de cromo, deverá haver fluxo na superfície inferior da junta, e sobre a vareta de enchimento. Uma vez evitando a oxidação tanto quanto possível, deve-se adicionar um fluxo suficiente. Outro método para manter o oxigênio afastado do metal é envolver a solda com uma camada de gás hidrogênio. Esse método é discutido posteriormente. A vareta de enchimento a ser usada deverá ser do mesmo metal da base.

Uma vez que o coeficiente de dilatação linear do aço inoxidável é alto, chapas finas onde se vá fazer uma junta de topo devem ser ponteadas a intervalos de 1 1/4 a 1 1/2 polegadas, como mostrado na Figura 6-17. Esta é uma das maneiras de evitar empenamento e deformação durante o processo de soldagem.

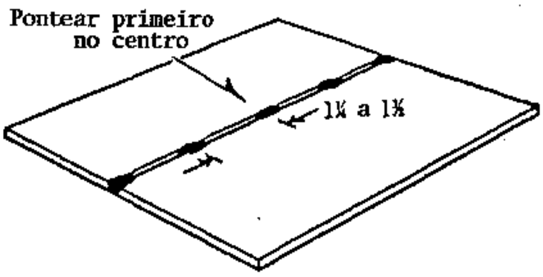


Figura 6-17 Método de soldagem de chapas de aço inoxidável.

Durante a soldagem, devemos manter a vareta de enchimento dentro do envelope da chama, de forma a derretê-la ao mesmo tempo que o metal base. Adicionamos a vareta de enchimento de forma que ela flua para dentro da poça de fusão. Se a poça de fusão for mexida, o ar penetrará na solda aumentando a oxidação. Devemos evitar resoldar qualquer peça ou soldagem pelo lado oposto à solda. Tal prática resulta em empenamento e superaquecimento do metal.

SOLDAGEM DE METAIS NÃO-FERROSOS USANDO OXIACETILENO

Metais não ferrosos são aqueles que não contêm ferro em sua composição. Exemplos de metais não-ferrosos são o chumbo, o cobre, a prata, o magnésio, e o mais importante na construção aeronáutica - o alumínio. Alguns destes metais são mais leves que os metais ferrosos; porém, na maioria dos casos, são menos resistentes.

Os fabricantes de alumínio compensaram a falta de resistência do alumínio puro, ligando-o a outros metais ou trabalhando-o a frio. Para aumentar ainda mais a resistência, algumas ligas de alumínio recebem tratamento térmico.

Soldagem em alumínio

As ligas de alumínio soldáveis usadas na construção aeronáutica são o 1100, o 3003, o 4043, e o 5052. As ligas 6053, 6061 e 6151 também podem ser soldadas, porém, uma vez que essas ligas recebem tratamento térmico, a soldagem somente será permitida se a peça puder sofrer novo tratamento térmico.

O equipamento e a técnica usados para a soldagem de alumínio diferem apenas um pouco dos métodos discutidos anteriormente. Como em todas as soldagens, o primeiro passo é limpar a superfície a ser soldada - uma palha de aço ou escova metálica podem ser usadas, ou um solvente, no caso de tinta ou graxa. O soldador deverá ter o cuidado de não arranhar a superfície do metal além da área a ser soldada; esses arranhões geram pontos de entrada de corrosão. A peça deve, então, ser pré-aquecida para reduzir as tensões causadas pelo alto coeficiente de dilatação linear do alumínio.

Numca devemos pré-aquecer o alumínio a uma temperatura maior que 800ºF, porque o calor pode derreter parte do alumínio e queimar o metal. Para chapas finas de alumínio, a simples passagem da chama do maçarico sobre a chapa três ou quatro vezes é suficiente.

Podem ser usados dois tipos de varetas de enchimento. Essa escolha é importante.

O alumínio e suas ligas combinam-se com o ar e formam óxidos muito rapidamente; os óxidos formam-se duas vezes mais rápido caso o metal esteja quente. Por esta razão é importante usar um fluxo que minimize ou evite a formação de óxidos.

A utilização do fluxo adequado na soldagem de alumínio é extremamente importante. O fluxo da soldagem do alumínio é projetado para remover o óxido de alumínio através de combinação química. Fluxos de alumínio dissolvem-se abaixo da superfície da poça de fusão e fazem com que os óxidos flutuam pela superfície da solda de onde eles possam ser retirados.

O fluxo pode ser pintado diretamente sobre o topo e o fundo da junta, caso não seja requerido o uso de vareta de enchimento; caso seja usada vareta de enchimento, ela pode ser revestida, e caso as peças a serem soldadas sejam finas, tanto o metal como a vareta devem ser revestidos com fluxo.

Após a soldagem ser terminada, é importante que todos os resíduos sejam movidos usando uma escova ou água quente. Caso o fluxo de alumínio permaneça na solda ele provocará corrosão. Uma solução diluída a 10% de ácido sulfúrico pode ser usada caso não seja possível usar água quente. A solução ácida deverá ser enxaguada com água fria.

A espessura da chapa de liga de alumínio determina o tipo de borda a ser usada. Em chapas até 0,062 polegadas as bordas são geralmente flangeadas a 90º a aproximadamente uma altura igual à espessura da chapa (Figura 6-18A). Os flanges devem ser retos e quadrados. Não é necessário adicionar vareta de enchimento neste caso.

Juntas de topo não chanfradas são geralmente usadas em liga de alumínio com espessura entre 0,062 e 0,188 polegadas. Pode ser necessário também fazer dentes nas bordas com uma lima ou um formão de maneira semelhante à apresentada na Figura 6-18B. Esses dentes no alumínio são recomendados pois ajudam a realizar uma penetração total e também evitam deformações locais. Todas as juntas de topo em materiais com espessura acima de 0,125 polegadas geralmente recebem "dentes" em suas bordas.

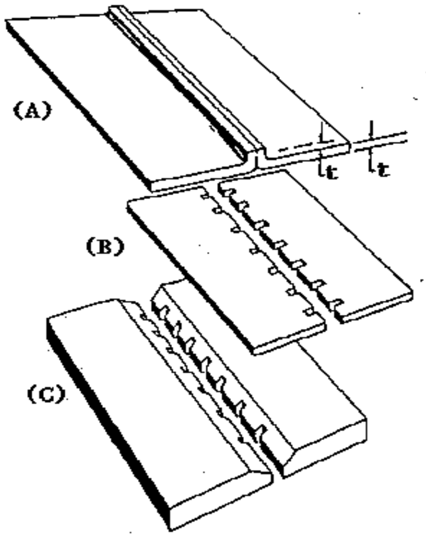


Figura 6-18 Preparação das bordas para a soldagem de alumínio.

Na soldagem de alumínio acima de 0,188 polegadas de espessura, as bordas são geralmente chanfradas e recebem dentes como mostrado na Figura 6-18C. O ângulo do chanfro deverá ser de 90º a 120º.

Uma chama neutra deve ser geralmente usada para soldar ligas de alumínio. Em alguns casos uma chama ligeiramente carburante pode ser usada. Contudo, o excesso de acetileno não deve ser demasiado, pois ele será absorvido pelo metal fundido, resultando em uma junta enfraquecida.

O maçarico deve ser ajustado para fornecer a chama mais branda possível sem estourar. O uso de uma chama forte, torna difícil controlar o metal fundido, o que ocasiona a formação de furos através do metal.

Quando estiver iniciando a soldagem, as duas bordas da junta devem começar a derreter antes de adicionar a vareta de enchimento. O trabalho deve ser observado cuidadosamente quanto a sinais de derretimento. O ponto de fusão do alumínio é baixo e o calor é conduzido rapidamente através do metal. Há uma mudança muito pequena quanto ao formato e à coloração para indicar quando chega ao ponto de fusão. Quando se atinge o ponto de fusão, o metal subitamente entra em colapso e escorre, deixando um buraco no alumínio.

Uma vareta de enchimento pode ser usada para testar as condições do metal. O alumínio começa a parecer macio e plástico logo antes de chegar ao ponto de fusão.

Qualquer tendência ao colapso do metal pode ser retificada, afastando-se rapidamente a chama do metal. Com a prática é possível desenvolver habilidade suficiente para derreter a superfície do metal sem formar um buraco.

A chama deve ser neutra e inclinada a um ângulo aproximado de 45º do metal. O cone interno deve distar aproximadamente 1/8 da polegada do metal. É necessário um movimento constante e uniforme da chama para evitar a queima do metal, formando um buraco.

A integração correta entre maçarico e vareta é importante durante a soldagem de alumínio. Após aquecer o metal, quando o derretimento começa, a vareta de enchimento é mergulhada na poça de fusão e derretida.

A vareta é erguida e o movimento do maçarico continua à medida em que a soldagem progride. A vareta nunca é retirada do envelope externo da chama; ela é mantida aí até quase derreter e, depois, é adicionada à poça de fusão.

Soldagem de magnésio

Muitas partes de aeronaves são construídas em magnésio devido à sua leveza, resistência e excelente facilidade de trabalho. Este metal pesa apenas 2/3 do peso do alumínio e, como o alumínio, quando puro, é muito macio. Por essa razão, ele é geralmente ligado ao zinco, manganês, estanho, alumínio ou combinações desses metais. O reparo do magnésio por soldagem é limitado por dois fatores:

1) Se o magnésio é usado como membro estrutural, ele geralmente sofre tratamento térmico e, como o alumínio, a seção soldada nunca fica com a mesma resistência do metal original. (como regra, as falhas não ocorrem na área soldada, mas em áreas adjacentes à solda, porque o calor aplicado ao metal enfraquece a estrutura granular naquelas áreas.)

2) É necessário usar fluxo em todas as soldagens de magnésio, e removê-lo do metal após a soldagem, ou ele provocará corrosão.

O tipo de junta fica limitado àqueles tipos que não prendem o fluxo - por isso, somente juntas de topo podem ser feitas. O magnésio não pode ser soldado a outros metais, e ligas fundidas de magnésio não são consideradas adequadas para soldas que sofrem estresse. Se for necessário soldar magnésio de várias espessuras, a parte mais grossa deve ser pré-aquecida. A vareta de enchimento deve possuir a mesma composição do metal base e produzida pelo fabricante para fundir-se a sua liga. A vareta de enchimento vem com uma proteção que deve ser retirada antes do uso.

O método de preparação da junta de topo depende da espessura do metal. Folhas de liga de magnésio até 0,040 polegadas de espessura devem ser flangeadas em ângulo até 3/32 da polegada como mostrado na Figura 6-19. Juntas de topo em metal de 0,040 a 0,125 polegadas não são nem flangeadas, nem chanfradas, mas deve-se manter um espaçamento de 1/16 da polegada entre as bordas da junta.

Para juntas de topo em metal mais espesso que 0,125 polegadas, cada uma das bordas deve ser chanfrada a 45º, para formar um "V" de 90º. Deve-se manter um espaçamento de 1/16 da polegada entre as bordas da junta, para metal de 0,125 a 0,250 polegada de espessura, e 1/8 da polegadas de espaço para metal mais grosso que 0,250 polegadas (Figura 6-19).

Removemos o óleo ou a graxa com um solvente adequado, e então usamos uma escova metálica ou uma lixa para polir o metal até uma distância de 3/4 da polegada da área soldada.

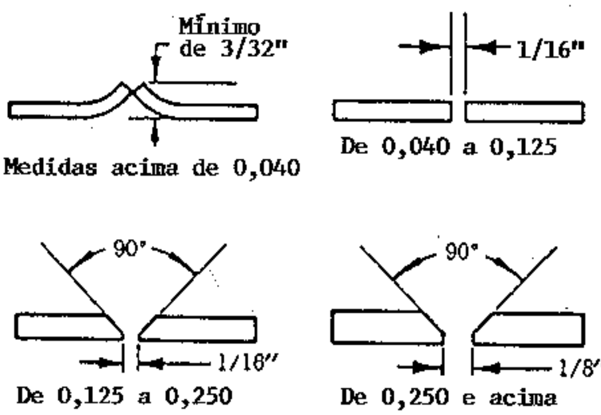


Figura 6-19 Preparação das bordas para a soldagem de chapas de magnésio.

Uma vareta de enchimento do mesmo material que a base deve ser selecionada. Tanto a vareta como ambos os lados da junta devem ser cobertos com fluxo. Usamos uma chama neutra ou levemente carburante; a seguramos em um ângulo chato com a peça, para evitar a queima do metal.

Recomenda-se duas técnicas no uso da vareta. Um método requer que a vareta seja mantida na poça de fusão todo o tempo, o outro método é o mesmo usado para soldagem de alumínio.

É preferível fazer a soldagem de uma só vez, mas se ocorrer oxidação, a soldagem deve ser interrompida, e a solda, raspada antes de continuar. As bordas da junta devem ser ponteadas nas extremidades em intervalos de 1/2 a 3 polegadas, dependendo do formato e espessura do metal.

A soldagem deve ser efetuada tão rápido e com pouco calor quanto possível. Qualquer deformação ou empenamento pode ser consertado enquanto o metal estiver quente, batendo com um macete macio. O metal deve esfriar devagar. Quando a solda estiver fria o bastante para ser manuseada, as partes acessíveis devem ser suavemente esfregadas com uma escova de cerdas e água quente, para remover o fluxo. A peça deverá ser mergulhada em água quente (160º a 200ºF) para que o fluxo que não foi removido pela escova se solte na água e bóie. Quando o banho terminar, a peça deve ser mergulhada em uma solução de ácido cítrico a 1% por aproximadamente 10 minutos.

Após o banho de ácido cítrico, a peça deve ser bem drenada e enxaguada em água fresca.

A peça deve ser seca rapidamente para evitar oxidação.

TITÂNIO

A soldagem de titânio não tem uma aplicação tão ampla quanto o aço, por isso este manual não se aprofundará no tratamento do titânio.

Soldagem de titânio

O titânio pode ser soldado por fusão com 100% de eficiência utilizando a técnica de soldagem por arco voltaico, que em muitos aspectos, são bem semelhantes às usadas para outros metais. Para que a soldagem de titânio seja bem feita é necessário que certas características sejam entendidas:

1. O titânio e suas ligas estão sujeitos a severa fragilização com relativamente baixos teores de certas impurezas. O oxigênio e o nitrogênio, mesmo em quantidades tão baixas quanto 0.5% enfraquecem tanto uma solda que ela se torna imprestável. Na medida em que o titânio é aquecido até seu ponto de fusão, ele absorve oxigênio e nitrogênio da atmosfera. Para conseguir soldar o titânio, a área da soldagem deve ser coberta com um gás inerte, tal como o argônio ou o hélio.

2. A limpeza é muito importante, uma vez que o titânio reage muito facilmente com a maioria dos materiais. O metal e a área da soldagem devem estar limpos e livres de poeira, graxa e outros contaminantes. O contato com blocos cerâmicos e outros materiais estranhos deve ser evitado durante a soldagem. Eletrodos revestidos para soldagem por arco voltaico e outros componentes para fluxo causam contaminação e enfraquecimento.

3. O titânio, quando ligado excessivamente com outros metais estruturais, reduz sua ductibilidade e sua resistência ao impacto, devido à formação de compostos intermetálicos frágeis e excessivos endurecedores de solução sólida.

4. Qualquer ciclo de soldagem por fusão, resulta em uma zona de solda contendo material fundido. Adicionalmente, o alto calor terá reduzido a ductibilidade de certas ligas de titânio que recebem alto tratamento térmico, gerando uma condição inaceitável.

Equipamento

Tanto o eletrodo não consumível como o consumível, usados em equipamento para arco-voltaico, podem ser usados na soldagem a fusão do titânio. Qualquer que seja o tipo usado, a solda deve ser protegida por uma cobertura de gás inerte, tal como o argônio ou o hélio.

O titânio pode ser ponteado com qualquer máquina que tenha um controle preciso sobre os 4 parâmetros principais da solda ponteada: a amperagem da corrente de soldagem, a duração da corrente de soldagem (a 60 ciclos por segundo), a força aplicada aos eletrodos (libras por polegada quadrada), e a geometria do eletrodo.

A complexidade do processo de soldagem do titânio, e sua limitada aplicação, fora das oficinas de fabricação especializadas em titânio, não justificam um tratamento detalhado neste manual.

A discussão precedente sobre a soldagem de titânio foi extraída do "Titanium Welding Techniques", publicado pela "Titanium Metals Corporation of America".

CORTE DE METAIS UTILIZANDO O OXIACETILENO

Este processo consiste fundamentalmente na queima ou oxidação rápida do metal em uma área localizada. O metal é aquecido ao rubro (1400º a 1600ºF), que é a temperatura de ignição, e um jato de oxigênio em alta pressão é direcionado contra ele. Esse jato de oxigênio combina-se com o metal quente e forma um óxido intensamente quente. O óxido derretido é soprado para baixo pelos lados do corte, aquecendo o metal em seu trajeto até a temperatura de ignição. O metal, assim aquecido, também queima-se formando um óxido que é soprado para fora, pelo lado inferior da peça. A ação é precisamente aquela que o maçarico realiza quando o bico misturador é substituído por um bico de corte, ou quando um maçarico especial para corte é utilizado.

A Figura 6-20 mostra um exemplo de um maçarico de corte. Ele possui as válvulas de agulha, para oxigênio e acetileno, que controlam o fluxo dos dois gases. Muitos maçaricos de corte possuem duas válvulas de agulha para o oxigênio, para que possa ser feito um ajuste mais fino de chama neutra.

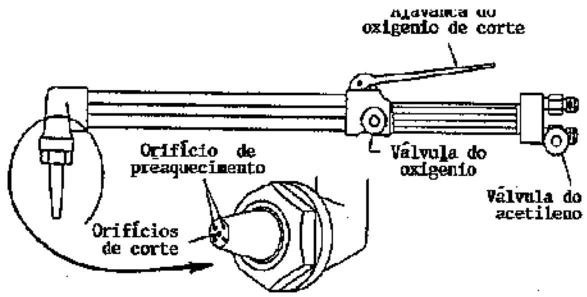


Figura 6-20 Maçarico de corte.

MÉTODOS DE BRASAGEM

O termo "brasagem" refere-se a um grupo de processos de junção de metais, nos quais o material adesivo é um metal não-ferroso ou uma liga, com ponto de fusão maior que 800ºF, porém menor que o ponto de fusão do metal a ser soldado. A brasagem inclui a solda de prata, também chamada soldagem dura, brasagem de cobre e brasagem de alumínio.

A brasagem requer menos calor que a soldagem por fusão, e pode ser usada para unir metais que seriam danificados por altas temperaturas.

Contudo, devido à baixa resistência das juntas brasadas, esse processo não é empregado em reparos estruturais de aeronave. Durante a decisão quanto a utilização da brasagem, deve-se lembrar que um metal que será submetido a altas temperaturas em condições normais de uso, não deve ser brasado.

Como a definição de brasagem pede, as partes dos metais da base não são fundidas. O metal de brasagem adere aos metais base por atração molecular e penetração intergranular, ele não se fundirá, se amalgamará com eles.

Na brasagem, as bordas das peças a serem unidas são geralmente chanfradas como na soldagem (por fusão) de aço. As superfícies adjacentes devem ser limpas de sujeira ou poeira. As partes a serem brasadas devem ser unidas bem presas, para evitar qualquer movimento relativo. A junta brasada mais forte é aquela em que o metal de enchimento derretido é absorvido por capilaridade, sendo assim as bordas devem estar bem encaixadas.

Um fluxo de brasagem é necessário para obter uma boa união entre o metal base e o metal de enchimento. Um bom fluxo para brasagem de aço é uma mistura contendo duas partes de bórax e uma parte de ácido bórico. A aplicação do fluxo pode ser em forma de pó ou dissolvido em água quente em uma solução muito saturada. Uma chama neutra deve ser usada, movida suavemente em um sentido semicircular.

O metal base deve ser pré-aquecido vagarosamente com uma chama fraca. Quando ele atinge uma coloração vermelho-escura (no caso do aço), a vareta deve ser aquecida até uma cor escura ou púrpura, e mergulhada no fluxo. Uma vez que o fluxo adere bastante à vareta, não é necessário espalhá-lo sobre a superfície do metal.

Uma chama neutra é usada para a maioria das aplicações da brassagem. Contudo, uma chama ligeiramente oxidante deve ser usada quando se usam varetas de ligas zinco/cobre, cobre/zinco/silício, ou cobre/zinco/níquel/silício. Quando brasamos alumínio, ou suas ligas, preferimos uma chama neutra, porém se fica difícil, utilizamos uma chama ligeiramente redutora, ao invés de uma chama oxidante.

A vareta de enchimento pode, agora, ser aproximada da chama do maçarico, fazendo com que o bronze derretido flua sobre uma pequena área da junta.

O metal de base deve estar na temperatura de fusão do metal de enchimento antes que ele flua pela junta.

O metal de brassagem derrete quando aplicado ao aço, e escorre entre a junta por atração capilar.

A vareta deve continuar a ser adicionada à medida que a brassagem prossegue, com uma ação rítmica de introdução, de forma que o cordão fique com uma largura e uma altura uniformes.

O serviço deve ser completado rapidamente, e com poucos passes, se possível, da vareta e do maçarico. Quando o serviço termina a solda esfria vagarosamente. Depois de esfriar, removemos o fluxo das peças, imergindo-as por 30 minutos em uma solução alcalina.

Solda de prata

O principal uso da solda de prata em aviação é na fabricação de linhas de oxigênio de alta pressão, e outras partes que devem suportar vibração e altas temperaturas. A solda de prata é usada extensivamente para unir cobre e suas ligas, níquel e prata, bem como várias combinações desses metais, e peças finas de aço.

A solda de prata produz juntas mais fortes que as produzidas por outros processos de brassagem.

É necessário usar fluxo em todas as soldas de prata devido à necessidade de ter um metal base quimicamente limpo, sem o menor vestígio de óxido que possa evitar que a solda de prata entre em contato íntimo com o metal base.

A junta deve estar fisicamente limpa, o que quer dizer que ela deve estar livre de toda sujeira, graxa, óleo e/ou tinta, e também quimicamente limpa. Depois de remover a sujeira, graxa, e/ou tinta, qualquer óxido deve ser removido, esmerilhando ou limando a peça até que o metal brilhe. Durante a soldagem, o fluxo continua o processo de manter o óxido afastado do metal, e ajuda no ritmo da soldagem.

Na Figura 6-21, três tipos de juntas para solda de prata são mostradas: Juntas flangeadas, juntas sobrepostas e juntas de aresta, nas quais o metal pode formar uma junta mais grossa que o metal base. Elas formam o tipo de junta que suportará todos os tipos de esforços. Se for usada uma junta sobreposta, a largura da sobreposição dependerá da resistência desejada na junta. Para uma resistência igual à do metal base na zona aquecida, a quantidade de sobreposição deverá ser de 4 a 6 vezes a espessura do metal, para chapas e tubos de pequeno diâmetro.

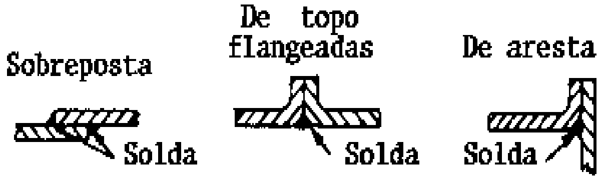


Figura 6-21 Soldagem de juntas com prata.

A chama de oxiacetileno para solda de prata deve ser neutra, porém pode conter um leve excesso de acetileno, e deve ser suave. Durante tanto o pré-aquecimento como a aplicação da solda, a ponta do cone interno da chama deve ser mantido a 1/2 polegada do serviço. A chama deve ser mantida em movimento, de forma que o metal não fique superaquecido.

Quando ambas as partes do metal base estão na temperatura certa (indicada pelo fluxo), a solda pode ser aplicada à superfície da junção. É necessário direcionar simultaneamente a chama sobre a junta, e mantê-la em movimento, de forma que o metal base mantenha a temperatura por igual.

SOLDAGEM MACIA

É usada principalmente para cobre, latão e ferro revestido, em combinação com junções mecânicas; ou seja, juntas rebitadas, parafusadas ou dobradas. É também usada onde se deseja uma junta à prova de vazamentos, e algumas vezes em juntas de encaixe para promover rigidez e evitar corrosão.

A soldagem macia é geralmente usada em serviços de reparo bem menores. Esse processo também é usado para unir condutores elétricos. Ele forma uma forte união com baixa resistência elétrica.

A solda macia cede gradualmente sob a aplicação de uma carga constante e, não deve ser usada, a menos que as cargas transmitidas sejam muito pequenas. Ela nunca deve ser usada como meio de união entre membros estruturais.

Usa-se um ferro de soldar. Ele age como uma fonte de calor para a operação de soldagem. A ponta é feita de cobre, uma vez que esse metal absorve e transmite o calor rapidamente. A Figura 6-22 mostra exemplos de ferros de soldar e suas pontas.

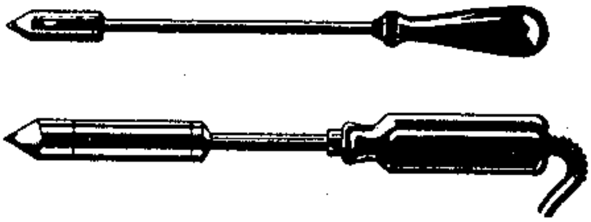


Figura 6-22 Ferros de soldar com bico de cobre e elétrico.

Para estanhar o cobre ele é primeiramente aquecido ao rubro brilhante, depois a ponta é limpa com uma lima até ficar lisa e brilhante. Não deve haver sujeira ou pontos em sua superfície. Depois disto, ele deve ser suficientemente reaquecido para derreter a solda, e ser quimicamente limpo, esfregando-o em um bloco de cloreto de amônia. A seguir, aplica-se solda à ponta e limpa-se com um pano limpo.

As duas últimas operações podem ser combinadas derretendo-se algumas gotas de solda sobre um bloco de cloreto de amônia (composto de limpeza) e, depois, esfregando o ferro de soldar sobre o bloco até que a ponta fique bem revestida com a solda. Um ferro estanhado possui um filme ininterrupto de solda sobre toda a superfície de sua ponta.

As soldas macias são principalmente ligas de estanho e chumbo. As percentagens de estanho e chumbo variam consideravelmente, com uma correspondente mudança em seus pontos de fusão, variando entre 293° e 592°F. Solda "meio-a-meio" (50-50) é uma solda de uso geral e mais freqüentemente usada. Ela contém proporções iguais de estanho e chumbo e derrete a aproximadamente 360°F.

A aplicação da solda derretida requer mais cuidados do que aparenta. As partes devem ser travadas juntas, ou seguras mecanicamente ou manualmente, durante a fixação. Para fixar a junta, o ferro quente é tocado em uma barra de solda, então, as gotas de solda aderidas ao ferro são usadas para fixar a junta em alguns pontos. O filme de solda entre as superfícies de uma junta deve ser mantido fino para que a junta fique mais forte.

Um ferro de soldar, quente e bem estanhado deve ser segurado de forma que sua ponta encoste na junta do metal, enquanto o verso da ponta faz ângulo de 45° com a superfície, e uma barra de solda encosta na ponta do ferro. À medida que a solda derrete, o ferro é movido devagar ao longo da junta. Tanta solda quanto necessário é adicionada sem remover o ferro de soldar da junta.

A solda derretida deve escorrer entre as superfícies das duas chapas e cobrir toda a largura da junta. O serviço deve progredir ao longo da junta, tão rápido quanto a solda que fluirá para dentro dela.

SOLDAGEM POR ARCO VOLTAICO

É um processo de fusão baseado no princípio de geração de calor através de um arco elétrico, saltando através do ar para completar um circuito elétrico. Esse processo desenvolve um calor consideravelmente maior que a chama de oxiacetileno.

Em algumas aplicações, ele alcança a temperatura de aproximadamente 10.000°F. Como variantes do processo, existem: a soldagem por arco metálico, a soldagem por gás inerte (hélio) e a soldagem multi-arco.

Os processos por arco metálico e hélio possuem a mais larga aplicação na manutenção de aeronaves.

O circuito de soldagem (Figura 6-23) consiste em: uma máquina de solda, dois cabos condutores, uma garra para eletrodo, um eletrodo e a peça a ser soldada.

O eletrodo, que é seguro pela garra, é conectado a um dos cabos, a peça a ser soldada é conectada ao outro cabo. Quando o eletrodo é tocado na peça a ser soldada, o circuito elétrico é completado e a corrente flui.

Quando o eletrodo é afastado do metal, forma-se um intervalo de ar entre o metal e o eletrodo. Se esse intervalo tiver o tamanho adequado, a corrente elétrica irá saltar esse intervalo formando uma centelha elétrica constante, chamada arco voltaico.

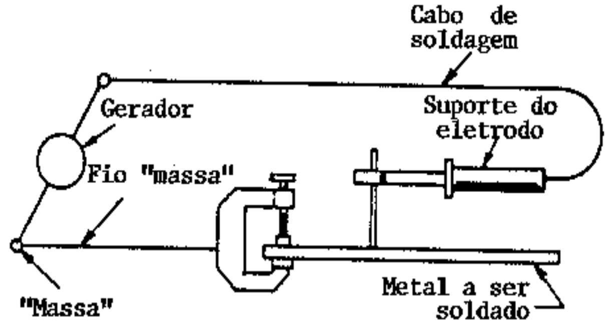


Figura 6-23 Circuito típico de soldagem por arco metálico.

Soldagem por arco metálico

Esse processo é usado principalmente para soldagem de aços de baixa liga ou baixo carbono. Contudo, muitos metais não-ferrosos, tais como as ligas de alumínio e níquel, podem ser soldados usando-se este método.

Para formar um arco entre o eletrodo e o metal, o eletrodo é aplicado ao metal e imediatamente afastado. Isso inicia um arco de calor intenso.

Para manter o arco entre o eletrodo e o metal, o eletrodo deve ser consumido numa razão uniforme ou mantendo uma distância constante do metal à medida em que derrete.

A soldagem por arco metálico é um processo de soldagem por fusão sem pressão, que desenvolve o calor da soldagem através de um arco produzido entre um eletrodo metálico e a peça a ser soldada.

Sob o intenso calor desenvolvido pelo arco, uma pequena parte do metal base, ou peça a ser soldada é elevada ao ponto de fusão instantaneamente. Ao mesmo tempo, a ponta do eletrodo metálico é também derretida, e pequenos glóbulos de gotas do metal derretido passam através do arco para o metal base.

A força do arco carrega os glóbulos do metal derretido diretamente para a poça formada no metal base, e, assim, o metal de enchimento é adicionado à peça que está sendo soldada.

Movendo-se o eletrodo ao longo da junta e em direção à peça, uma quantidade controlada de metal de enchimento pode ser depositada no metal base para formar um cordão de solda.

No instante em que o arco é formado, a temperatura da peça no ponto de soldagem chega a aproximadamente 6.500ºF.

Esse enorme calor é concentrado em um ponto da soldagem e na ponta do eletrodo, e derrete simultaneamente a ponta do eletrodo e uma pequena parte da peça, formando uma poça de metal fundido, comumente chamada de cratera. O calor gerado é concentrado, e causa menos deformações e empenamentos que a soldagem a gás.

Essa localização do calor é vantajosa quando se solda rachaduras em peças com tratamento térmico, e quando se solda em locais muito próximos.

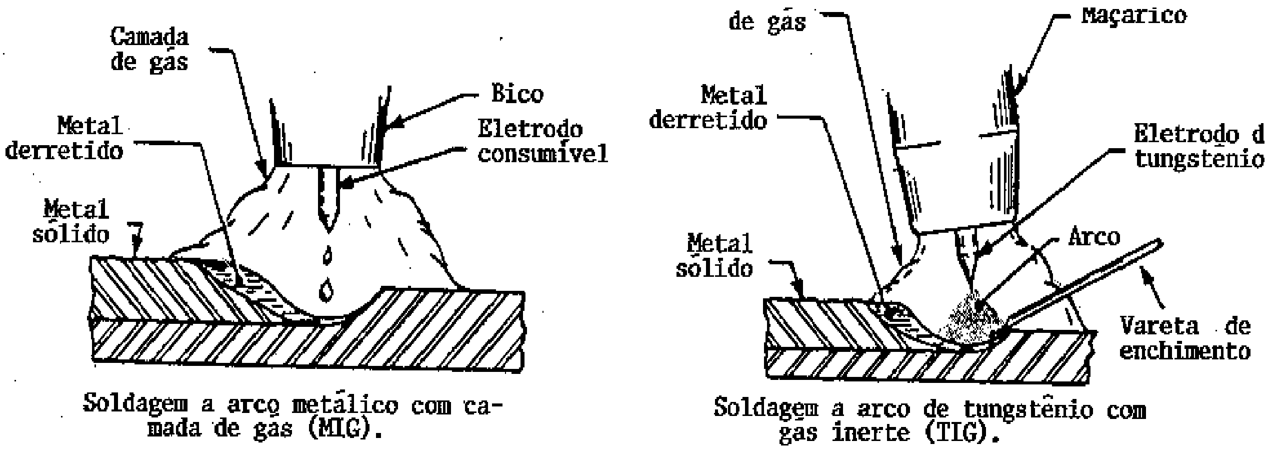
Soldagem a arco com camada de gás

Uma boa solda possui as mesmas qualidades do metal base. Tal solda é feita sem que a poça de fusão seja contaminada pelo oxigênio e pelo nitrogênio da atmosfera.

Na soldagem a arco com camada de gás, usa-se um gás como escudo protetor ao redor do arco, evitando que a atmosfera contamine a solda.

O objetivo original desse tipo de soldagem é a aplicação em metais resistentes à corrosão, e a outros, difíceis de soldar.

Hoje os diversos tipos deste processo estão sendo aplicados a todos os tipos de metais. Veja a figura 6-24 quanto a aplicações típicas.



Soldagem a arco metálico com camada de gás (MIG).

Soldagem a arco de tungstênio com gás inerte (TIG).

Figura 6-24 (A) Processos de soldagem a arco com camada de gás.

A facilidade de operação, a maior velocidade de soldagem e a superioridade da solda, levarão à substituição da soldagem por oxiacetileno e por arco-voltaico, pela soldagem a arco com camada de gás.

Vantagens

O gás protetor exclui a atmosfera da poça de fusão. A solda resultante é mais forte, mais dúctil e mais resistente à corrosão.

A soldagem de metais não-ferrosos não requer o uso de fluxo. Isso elimina a remoção do fluxo, ou a formação de bolhas de gás ou a inclusão da escória

Uma outra vantagem, é que pode-se fazer uma solda mais limpa e perfeita, porque há menor liberação de fumaça e, também, há menos centelhas a controlar. A solda pode ser observada todo o tempo.

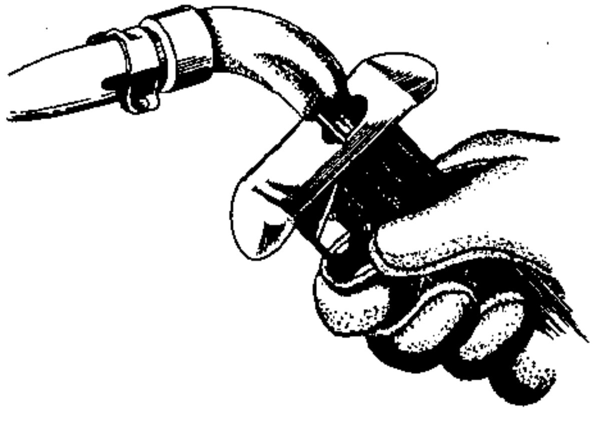


Figura 6-24 (B) Soldagem semi-automática.

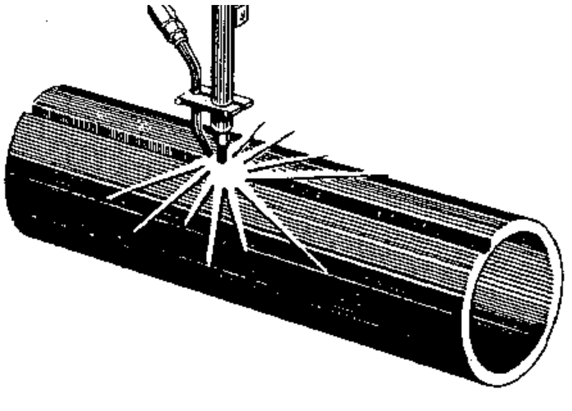


Figura 6-24 (C) Um dos muitos tipos de soldagens automáticas.

A interferência na solda é mínima, por isso o acabamento requerido é mínimo ou nenhum. Esse processo não distorce o metal base próximo à solda. Uma soldagem completa é limpa e livre das complicações, geralmente encontradas em outras formas de soldagem a gás ou por arco metálico.

Soldagem de tungstênio a gás inerte (TIG)

Nesse tipo de soldagem usa-se um eletrodo quase não-consumível de tungstênio (Figura 6-25) para provocar o arco voltaico. Durante o ciclo de soldagem, uma camada de gás inerte expele o ar da área de soldagem, e evita a oxidação do eletrodo, da poça e da zona aquecida ao redor.

Na soldagem TIG, o eletrodo é usado apenas para criar o arco. Se for preciso um metal adicional, usa-se uma vareta de enchimento do mesmo modo que na soldagem a oxiacetileno.

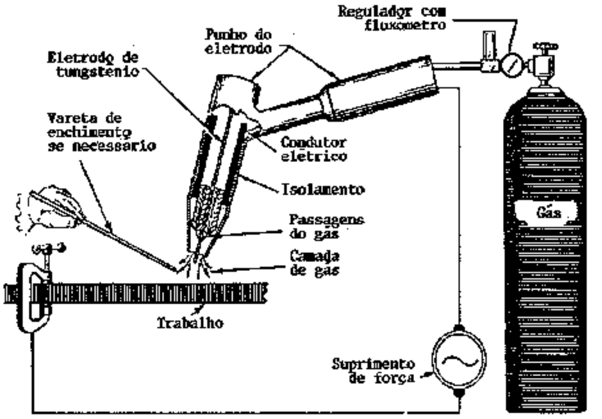

Regulador com fluxometro
Punho do eletrodo
Eletrodo de tungstenio
Vareta de enchimento se necessario
Condutor eletrico
Isolamento
Gás
Passagens do gás
Camada de gás
Trabalho
Suprimento de força

Figura 6-25 Equipamento típico de soldagem TIG.

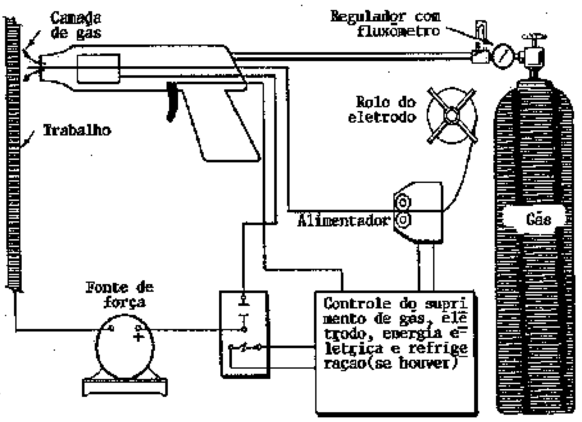

Camada de gás
Regulador com fluxometro
Rolo do eletrodo
Trabalho
Alimentador
Gás
Fonte de força
Controle do suprimento de gás, eletrodo, energia eletrica e refrigeração(se houver)

Figura 6-26 Equipamento típico de soldagem MIG.

O tipo de gás usado na soldagem TIG depende do metal a ser soldado. Usa-se argônio, hélio, ou uma mistura destes dois gases. O argônio é mais usado que o hélio por ser mais barato. Além do custo, o argônio é preferido por outros motivos. Por ser mais pesado provê uma proteção melhor. Proporciona uma ação de limpeza melhor durante a soldagem de alumínio e magnésio.

O arco voltaico é mais constante e suave. Arcos de soldagem vertical ou sobrecabeça são mais facilmente controlados. Arco voltaico é mais fácil para o inic e para uma determinada soldagem, pois a solda produzida é mais fina, com uma menor zona aquecida.

O hélio é usado primariamente em máquinas de soldagem TIG, ou durante a soldagem de peças pesadas com alta condutividade térmica.

O arco voltaico é maior com o uso do hélio, por isso um menor fluxo de corrente gera a mesma potência de arco.

Soldagem a arco metálico com gás inerte (MIG)

Com a substituição do eletrodo de tungstênio usado na TIG por um eletrodo metálico consumível de alimentação contínua, o processo de soldagem se transforma em soldagem a arco metálico com gás inerte. (Figura 6-26). O fio de eletrodo é alimentado continuamente através do centro do maçarico, em uma velocidade pré-ajustada; o gás de proteção é alimentado através do maçarico, cobrindo completamente a poça da solda com um escudo de gás. Isto tende a completar a automação do processo de soldagem. Quando se utiliza uma máquina de solda a energia, o fluxo de gás, a alimentação do fio de eletrodo e o deslocamento sobre a peça são pré-ajustados. Na soldagem semi-automática, o operador controla apenas o deslocamento sobre a peça.

O argônio é o gás mais comumente usado. Alguns metais utilizam pequenas quantidades de hélio ou oxigênio. O aço com baixo carbono utiliza dióxido de carbono ou argônio, mais 2% de oxigênio.

Soldagem a arco de plasma

A soldagem a arco de plasma é um processo que utiliza um núcleo central a altíssimas temperaturas, cercado por um revestimento de gás de carvão. O calor requerido para a fusão é gerado por um arco elétrico, que foi altamente amplificado pela injeção de um gás no fluxo do arco.

O arco superaquecido, em forma de coluna, é concentrado em um feixe estreito, e, quando direcionado para o metal, torna possíveis soldas de topo de até 1/2 polegada de espessura ou mais, de uma só passada, sem preparação das bordas ou o uso de varetas de enchimento.

Em muitos aspectos a soldagem por plasma pode ser considerada uma extensão da soldagem TIG convencional. Na soldagem por arco de plasma a coluna de arco é contraída, e é essa contração que produz a altíssima razão de transferência de calor.

O arco de plasma realmente se transforma em um jato de alta densidade de corrente. O gás do arco ao chocar-se com o metal corta-o, produzindo um pequeno furo que é carregado ao longo da junta soldada.

Durante esta ação de corte, o metal derretido em frente ao arco flui ao redor da coluna do arco, e então se junta imediatamente atrás do furo através de forças de tensão na superfície e da formação do cordão de solda.

O plasma é geralmente considerado o quarto estado da matéria. Os outros 3 são: sólido, líquido e gasoso. O plasma é gerado quando um gás é aquecido a alta temperatura e transforma átomos neutros e elétrons negativos em íons positivos. Quando a matéria passa de um estado para outro gera calor latente.

Em um maçarico de plasma o eletrodo fica localizado dentro do bico. O bico possui um orifício relativamente pequeno que contrai o arco. O gás a alta pressão flui através do arco onde é aquecido à faixa de temperatura do plasma. Uma vez que o gás não consegue expandir-se devido a construção do bico, ele é forçado através do orifício, e emerge em forma de jato supersônico. Esse calor derrete qualquer metal conhecido, e sua velocidade sopra o metal derretido para dentro da rachadura (Figura 6-27).

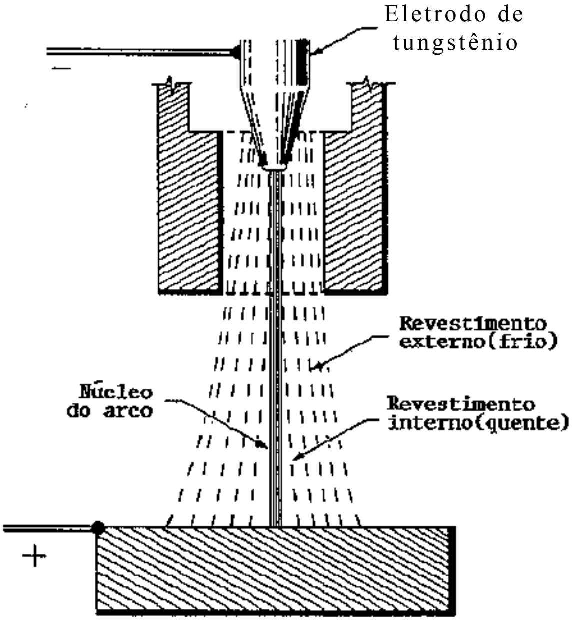


Figura 6-27 Soldagem a arco de plasma.

TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM

O primeiro passo na preparação para uma soldagem a arco voltaico é certificar-se que o equipamento necessário está disponível, e que a máquina de solda está corretamente conectada e em boas condições. Deve-se ter especial atenção quanto ao aterramento, uma vez que um aterramento deficiente vai gerar um arco flutuante, que é difícil de controlar.

O eletrodo deve ser fixado à sua garra em ângulo reto com a boca. Eletrodos revestidos têm uma ponta sem revestimento para prover um bom contato elétrico. A garra do eletrodo deve ser segurada com cuidado para evitar o contato acidental com a bancada ou a peça, uma vez que tal contato pode gerar um ponto de solda.

Antes de começar a soldagem, deve-se checar a seguinte lista de itens:

1) A máquina de solda está em ordem?
2) Todas as conexões foram adequadamente feitas? O aterramento foi adequadamente feito?
3) O tamanho e o tipo correto de eletrodo foi escolhido?
4) O eletrodo está bem encaixado na garra?
5) Você está usando roupas protetoras adequadas e em boas condições?
6) A peça metálica está limpa?
7) A polaridade da máquina coincide com a do eletrodo?
8) A máquina está ajustada para fornecer a corrente necessária à formação do arco?

O arco de soldagem é iniciado tocando-se a chapa com o eletrodo e afastando-o imediatamente para uma pequena distância. No momento em que o eletrodo tocar a placa, uma corrente de elétrons flui através do ponto de contato. Quando o eletrodo é afastado, forma-se um arco elétrico, derretendo um ponto no metal base e na ponta do eletrodo.

A principal dificuldade encontrada pelo principiante na formação do arco é o congelamento; ou seja, o eletrodo fica preso à peça. Se o eletrodo não é afastado rapidamente após o contato com o metal, a alta amperagem flui através do eletrodo e, praticamente, há um curto-circuito na máquina de solda. A alta corrente derrete o eletrodo ao tocar na chapa antes que ele possa ser afastado.

Há dois métodos semelhantes de formar o arco. O primeiro é através do toque, ilustrado na Figura 6-28, e o segundo é através de um risco, mostrado na Figura 6-29.

Quando usar o método de toque, o eletrodo deve ser segurado na posição vertical, e baixado, até que fique a uma polegada acima do ponto onde o arco deve ser iniciado. Então o eletrodo é tocado muito gentilmente e ligeiramente na peça, usando um movimento para baixo do punho, seguido imediatamente pelo afastamento do eletrodo para formar um arco longo (aproximadamente 1/8 a 3/16 da polegada de comprimento). Para formar o arco através de um risco, o eletrodo é movido para baixo até ficar bem próximo do metal, formando um ângulo de 20º a 25º, como ilustrado na Figura 6-29.

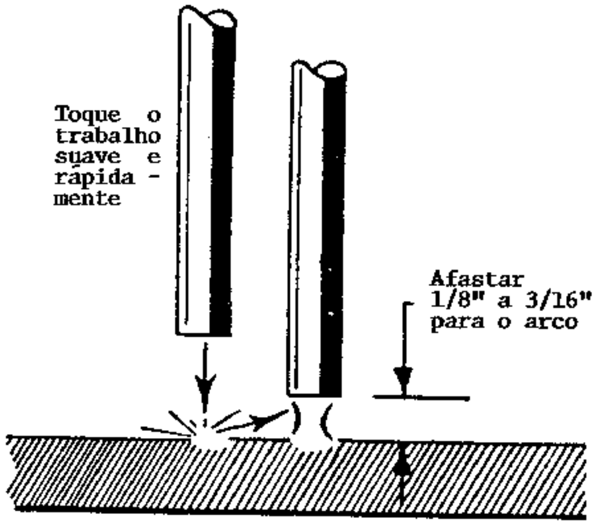

Toque o trabalho suave e rápida - mente
Afastar 1/8" a 3/16" para o arco

Figura 6-28 Início do arco no método de toque.

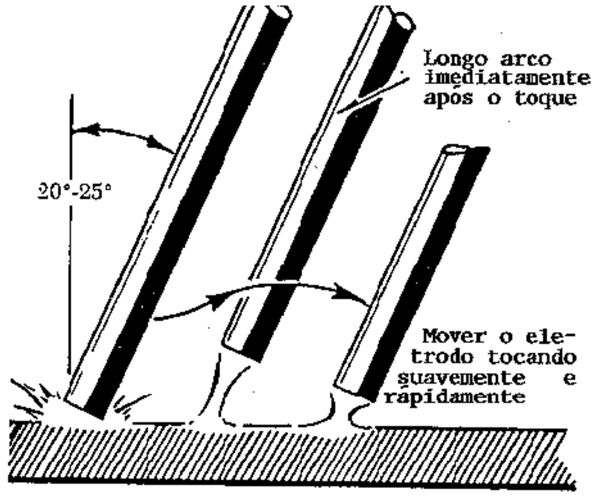

Longo arco imediatamente após o toque
20°-25°
Mover o eletrodo tocando suavemente e rapidamente

Figura 6-29 Início do arco no método do risco.

O arco deve ser formado, como um risco rápido, arranhando o metal com a ponta do eletrodo em um movimento do punho. O eletrodo é imediatamente afastado para formar um arco longo.

O motivo de formar um arco excessivamente longo, imediatamente após o toque, é prevenir as grandes gotas de metal, passando através do arco neste momento, curto-circuitando o arco e causando o congelamento.

Para formar um cordão uniforme, o eletrodo deve ser movido ao longo da chapa a uma velocidade constante, em adição ao movimento para baixo à medida que o eletrodo é consumido. A razão de avanço, se muito pequena, formará um cordão largo resultando em sobreposição, sem fusão nas bordas. Se a razão de avanço for muito grande, o cordão será muito fino com pouca ou nenhuma fusão na chapa. Quando o avanço correto é feito, não ocorre sobreposição, e assegura-se uma boa fusão.

Durante o avanço do eletrodo ele deve ser mantido a um ângulo de aproximadamente 20º a 25º na direção do percurso, como ilustrado na Figura 6-30.

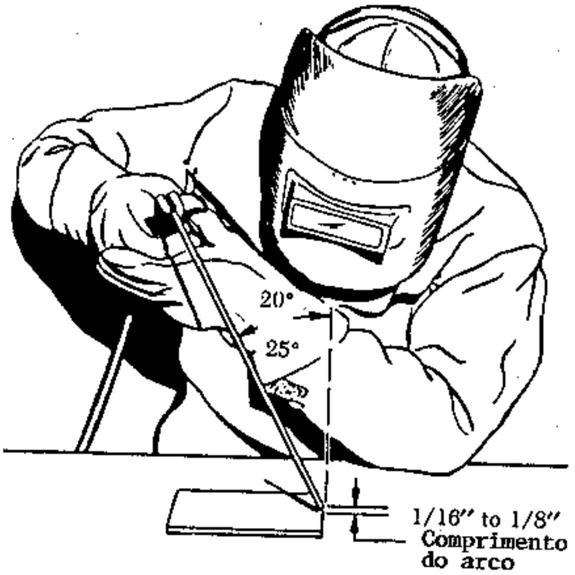

20°
25°
1/16" to 1/8"
Comprimento do arco

Figura 6-30 Ângulo do eletrodo.

Se o arco for interrompido durante a soldagem, forma-se uma cratera no ponto onde o arco terminou. O arco pode ser interrompido, alimentando-se o eletrodo muito devagar ou rapidamente, ou quando o eletrodo deve ser substituído.

O arco não deve ser reiniciado na cratera do cordão interrompido, mas logo após a cratera, na peça. Então, o eletrodo deve ser movido para cima da cratera. A partir daí a soldagem pode ser continuada, soldando-se através da cratera e pela linha de solda, como originalmente planejado. A Figura 6-31 ilustra o procedimento para reiniciar o arco.

Todas as partículas de escória devem ser removidas das vizinhanças da cratera antes de reiniciar o arco. Isto evita que a escória fique aprisionada na solda.

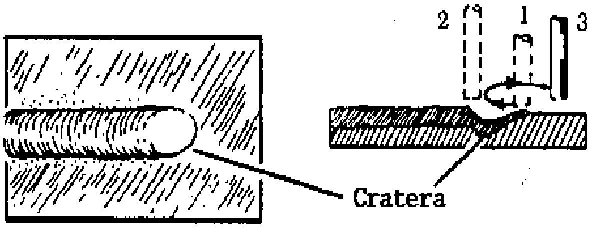

2
1
3
Cratera

Figura 6-31 Recomeçando o arco.

SOLDAGEM COM PASSE MÚLTIPLO

A soldagem de sulcos e frisos em peças pesadas, geralmente requer o depósito de um certo número de camadas para completá-la. É importante que as camadas sejam depositadas em uma pré-determinada seqüência para produzir a melhor solda, com as melhores proporções.

O número de camadas ou cordões é, logicamente, determinado pela profundidade da peça a ser soldada.

A seqüência de deposição dos cordões é determinada pelo tipo de junta e pela posição do metal.

Toda a escória deve ser removida de cada cordão, antes que o próximo cordão seja depositado.

Uma soldagem típica de um sulco por passe múltiplo em uma junta de topo é mostrada na Figura 6-32.

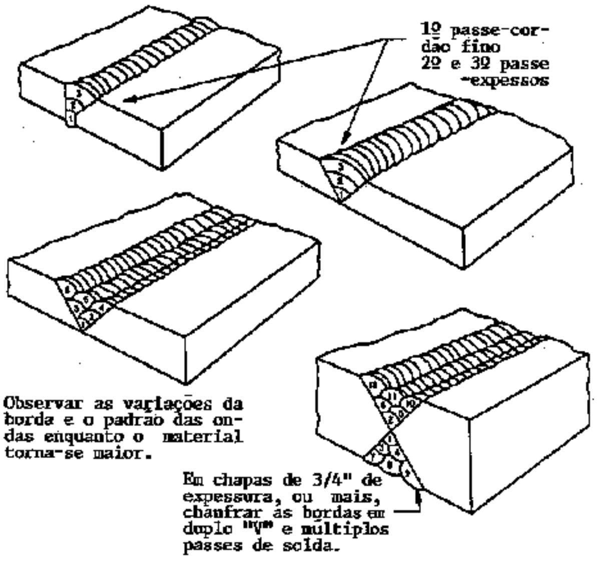

1º passe-cordão fino
2º e 3º passe -expessos
Observar as variações da borda e o padrão das ondas enquanto o material torna-se maior.
Em chapas de 3/4" de expessura, ou mais, chanfrar as bordas em duplo "V" e múltiplos passes de solda.

Figura 6-32 Múltiplos passes de solda em junta de topo chanfrada.

Técnicas de posicionamento da soldagem

Cada vez que a posição de uma junta sendo soldada, ou que o tipo da junta mudar, pode ser necessário mudar um ou uma combinação dos seguintes itens: (1) Valor da corrente, (2) eletrodo, (3) polaridade, (4) comprimento do arco, ou (5) técnica de soldagem.

O valor da corrente é determinado pelo tamanho do eletrodo e pela posição da soldagem. O tamanho do eletrodo dependerá da espessura do metal e da preparação da junta e o tipo do eletrodo dependerá da posição da soldagem. Os fabricantes especificam a polaridade a ser usada em cada eletrodo. O tamanho do arco é controlado pela combinação do tamanho do eletrodo, da posição da soldagem e da amperagem.

Uma vez que seria pouco prático citar todas as variações possíveis ocasionadas pelas diferentes condições de soldagem, somente as informações necessárias para as posições e soldas mais comumente usadas serão discutidas aqui.

Soldagem na posição chata ou plana

Há 4 tipos de soldas comumente usadas em soldagens na posição chata. São conhecidos como rebordo, ranhura, filete e sobreposta. Cada tipo é discutido separadamente nos parágrafos a seguir.

Solda de rebordo - Posição plana

A soldagem de uma junta de topo quadrada através de rebordo, envolve as mesmas técnicas utilizadas na aplicação de um cordão de solda em uma chapa plana. Juntas de topo quadradas podem ser soldadas em um, dois ou três passes. Se a junta for soldada com a deposição de um cordão, consegue-se uma fusão completa, soldando-se por um dos lados. Se a espessura do metal impede uma fusão total, soldando-se apenas por um lado, a junta terá que ser soldada por ambos os lados.

Quando os metais a serem unidos formam uma junta de topo sem chanfro, são necessários dois passes. Caso haja um espaçamento entre as peças, são necessários três passes para completar a solda. No último caso, o terceiro passe é feito diretamente sobre o primeiro, cobrindo-o completamente.

É preciso ter em mente que, cordões de solda, tanto do tipo longarina como do tipo onda, são usados em todos os tipos de juntas soldadas. Mesmo que o cordão não possa ser depositado no mesmo tipo de superfície, sua ação nas diferentes posições de soldagem e juntas, é basicamente a mesma que em uma superfície metálica plana. As mesmas regras fundamentais aplicam-se quanto ao tamanho do eletrodo e sua manipulação, valores de corrente, polaridade e comprimento do arco.

Soldas de rebordo podem ser feitas mantendo-se um arco curto, e soldando em linha reta a uma velocidade constante, com o eletrodo inclinado de 5º a 15º na direção da soldagem. O arco adequado pode ser melhor avaliado através de um som agudo de quebra, que é ouvido durante todo o tempo em que o eletrodo está sendo movido para e sobre a superfície da chapa. Algumas das características de uma boa solda de rebordo são as seguintes:

1) Ela deve deixar pouca rebarba sobre a superfície da chapa.
2) A cratera do arco, ou depressão, no cordão, quando o arco é rompido deve ter aproximadamente 1/16 da polegada de profundidade.
3) A profundidade da cratera no final do cordão pode ser usada como medida da penetração no metal base.
4) A solda de rebordo deve ser enchida suavemente, sem sobreposições na superfície da solda, que indicariam uma fusão deficiente.

A Figura 6-33 ilustra uma solda de rebordo bem executada.

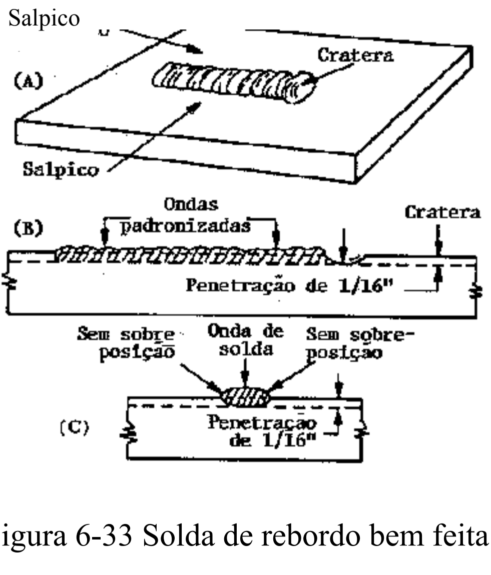


Figura 6-33 Solda de rebordo bem feita.

Solda de ranhura (junta de topo) - Posição plana

A soldagem de ranhura pode ser executada tanto em uma junta de topo como em uma junta de canto externo. Uma junta de canto externo corresponde a uma junta de topo em "V" simples, e usa-se a mesma técnica de soldagem para ambas. Por este motivo, esses dois tipos de juntas são classificadas como soldas de ranhuras. Há certos fundamentos que se aplicam às soldas de ranhuras, independentemente da posição da junta.

Soldas de ranhuras são feitas em juntas de topo, onde o metal a ser soldado tenha 1/4 da polegada ou mais de espessura. Juntas de topo com espessura menor que 1/4 da polegada não requerem uma preparação especial das bordas, e podem ser unidas com um cordão de solda em um ou ambos os lados.

As soldas de ranhura podem ser classificadas em ranhura simples ou ranhura dupla; mesmo que o formato da ranhura seja em V, U, J ou outro qualquer.

Independentemente da posição na qual uma solda de ranhura simples seja feita, ela pode ser soldada com ou sem uma contracapa. Caso seja usada uma contra-chapa, a junta pode ser soldada por apenas um lado.

Quando se faz uma solda de ranhura simples sem contracapa, se necessário a soldagem pode ser feita apenas por um lado, apesar de que uma soldagem dupla assegura uma melhor fusão.

O primeiro passe da solda pode ser de qualquer um dos lados da ranhura. O primeiro cordão deve ser depositado para estabelecer a distância entre as duas chapas, e para soldar a raiz da junta. Esse cordão, ou camada de metal soldado deve ser bem limpo para remover toda a escória, antes que a segunda camada de metal seja depositada.

Após a limpeza da primeira camada, cada camada adicional deverá ser aplicada com um movimento ondulatório, e cada uma deve ser limpa antes que a próxima seja aplicada.

O número de passes requerido para completar a soldagem dependerá da espessura do metal a ser soldado, e do tamanho do eletrodo a ser usado. Como na solda de rebordo, a ponta do eletrodo deve ser inclinada entre 5º e 15º na direção da soldagem.

Soldas de ranhura dupla, são soldadas por ambos os lados. Esse tipo de solda é usada primeiramente em metais pesados para minimizar as distorções. Isto é melhor realizado alternando o lado da soldagem; ou seja, depositando um cordão em um lado, e depois no outro. Contudo, isto faz com que a peça seja virada diversas vezes (seis vezes para chapas de 3/4 da polegada).

A distorção pode ser efetivamente controlada se a peça for virada duas vezes, como segue: (1) Solde a metade dos passes em um dos lados; (2) vire a peça e solde todos os passes do outro lado; e (3) vire novamente a peça e complete os passes no primeiro lado.

A raiz de uma solda de ranhura dupla deve ser feita com um cordão estreito, assegurando-se que o cordão está uniformemente fundido em cada uma das faces. Quando alguns passes tenham sido aplicados em um dos lados, a raiz no lado oposto deve ser desbastada até o metal para preparar a ranhura e então deve-se aplicar um único cordão de solda.

Qualquer solda de ranhura feita em mais de um passe deve ter a escória, os salpicos e o óxido cuidadosamente removidos de todas as camadas de solda anteriores, antes de soldar sobre elas.

A Figura 6-34 mostra alguns dos tipos mais comuns de soldas de ranhura realizadas em juntas de topo na posição plana.

Soldas em filete - Posição plana

As soldas em filete são usadas em juntas "T" e em juntas sobrepostas. Na soldagem de juntas em "T" na posição plana, as duas chapas são posicionadas formando um ângulo de 90º entre as superfícies, como mostrado na Figura 6-35. O eletrodo deve ser mantido a um ângulo de 45º com a superfície da chapa.

O topo do eletrodo deve ser inclinado em um ângulo de aproximadamente 15º na direção da soldagem. Chapas leves devem ser soldadas com pouco ou nenhum movimento do eletrodo, e a soldagem é feita em um passe.

A soldagem de filete de chapas pesadas pode requerer dois ou mais passes. Nesse caso, o segundo passe, ou camada, é feito com um movimento ondulatório semicircular. Na realização do cordão ondulado deve haver uma pequena pausa ao fim de cada movimento ondulatório, para obter-se uma boa fusão nas bordas das duas chapas sem rebaixá-las.

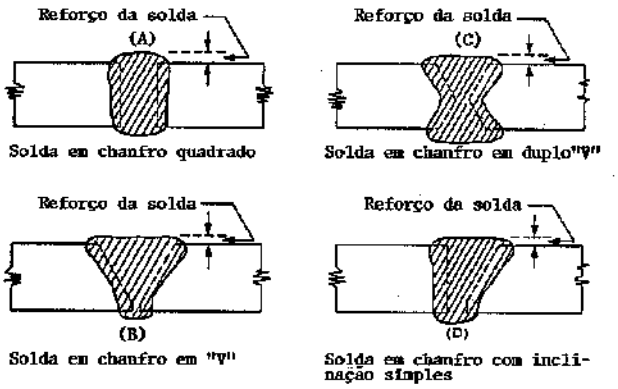

Reforço da solda
(A)
Solda em chanfro quadrado
Reforço da solda
(C)
Solda em chanfro em duplo"V"
Reforço da solda
(B)
Solda em chanfro em "V"
Reforço da solda
(D)
Solda em chanfro com inclinação simples

Figura 6-34 Soldas em chanfros de juntas de topo na posição plana.

O procedimento para a realização de uma junta sobreposta com solda de filete é semelhante ao usado na junta em "T". O eletrodo deve ser mantido em um ângulo de 30º com a vertical.

O topo do eletrodo deve ser inclinado em um ângulo de 15º na direção da soldagem.

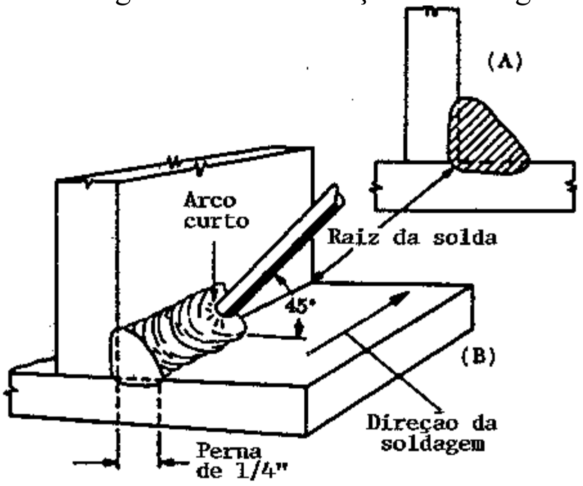

(A)
Arco curto
Raiz da solda
45°
(B)
Direção da soldagem
Perna de 1/4"

Figura 6-35 Filete de solda de uma junção em “T”.

A Figura 6-36 ilustra uma típica junta sobreposta. O movimento ondulatório é o mesmo que o usado nas juntas em "T", exceto que a demora na borda da chapa superior é prolongada para obter uma boa fusão sem rebaixamento. Quando da soldagem de chapas de diferentes espessuras, o eletrodo será mantido a um ângulo de 20º com a vertical. Deve-se tomar cuidado para não superaquecer e rebaixar a borda da chapa mais fina. O arco deve ser controlado para arrastar o metal derretido em direção a borda dessa chapa.

Soldagem na posição sobrecabeça

A posição sobre-cabeça é uma das mais difíceis, uma vez que deve-se manter um arco bem curto, para manter-se um controle completo da poça de fusão.

A força da gravidade tende a fazer com que o metal derretido pingue ou escorra na chapa. Se for usado um arco longo, a dificuldade em transferir metal do eletrodo para o metal base é acrescentada, e cairão grandes glóbulos de metal derretido do eletrodo e do metal base. A transferência de metal é acrescentada pelo encurtamento e, depois, alongamento do arco. Contudo, deve-se ter o cuidado de não formar uma poça de fusão muito grande. Os procedimentos para realização de soldas de rebordo, ranhura e filete na posição sobre-cabeça são discutidos nos próximos parágrafos.

Soldas de rebordo - Posição vertical

Para soldas de rebordo, o eletrodo deve ser mantido em um ângulo de 90º com relação ao metal base. Em alguns casos, contudo, onde se deseja observar o arco e a cratera da solda, o eletrodo pode ser mantido em ângulo de 15º na direção da soldagem.

Cordões ondulados podem ser feitos usando movimento ondulatório. Um movimento um pouco mais rápido é necessário ao fim de cada onda semicircular para controlar a deposição do metal derretido. Deve-se tomar cuidado para evitar a ondulação excessiva. Isso causará superaquecimento da solda e formará uma grande poça de fusão, difícil de controlar.

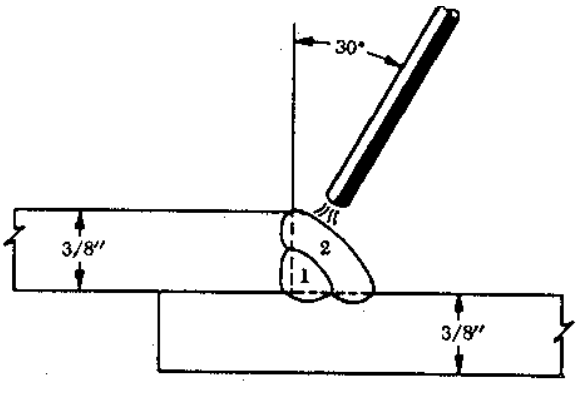


Figura 6-36 Típica justaposição dos filetes da solda de uma junta.

Soldas de ranhura (juntas de topo) - Posição sobre-cabeça

Pode-se obter melhores soldas de ranhura sobre-cabeça utilizando uma contracapa. As chapas devem ser preparadas de forma semelhante ao preparo de juntas de topo na posição plana. Se não for usada uma contrachapa e as chapas forem chanfradas em losango, haverá uma queima repetida da solda, a menos que o operador seja extremamente cuidadoso.

Soldas de filete - Posição sobre-cabeça

Na realização de soldas de filete em juntas "T" ou sobrepostas sobre-cabeça, deve-se manter um arco curto, e não deve haver movimento ondulatório do eletrodo. O eletrodo deve ser mantido em ângulo de aproximadamente 30º em relação a chapa vertical, e movido uniformemente na direção da soldagem.

O movimento do arco deve ser controlado para assegurar uma boa penetração da raiz da solda, e uma boa fusão com as paredes laterais das chapas verticais e horizontais. Se o metal fundido se tornar muito fluido, e escorrer, o eletrodo deve ser afastado rapidamente da cratera à frente da solda para alongar o arco, e permitir que o metal se solidifique. O eletrodo deve, então, ser retornado imediatamente à cratera de solda, e a soldagem deve ser continuada.

A soldagem de chapas pesadas requer muitos passes para fazer a junta. O primeiro passe é um cordão sem ondulação do eletrodo. Os segundo, terceiro e quarto passes são feitos com um suave movimento circular da ponta do eletrodo, enquanto o topo do eletrodo é mantido inclinado em ângulo de aproximadamente 15º.

Soldagem na posição vertical

A posição vertical, como a posição sobre-cabeça, já discutida, é também mais difícil que a soldagem na posição plana. Devido à força da gravidade, o metal derretido terá sempre a tendência de escorrer para baixo. Para controlar o fluxo do metal derretido, é necessário um arco curto e um ajuste cuidadoso da voltagem e da amperagem.

Na soldagem por arco metálico, os ajustes de corrente para soldagens realizadas na posição vertical deverão ser menores que aqueles usados para o mesmo tamanho e tipo de eletrodo em soldagens planas. As correntes usadas na soldagem para cima na chapa vertical são ligeiramente inferiores àquelas usadas na soldagem vertical para baixo. O procedimento para realização da solda de rebordo, ranhura e filete na posição vertical são discutidos nos parágrafos a seguir.

Soldas de rebordo - Posição sobre-cabeça

Quando da realização de soldas de rebordo na posição vertical, é necessário manter o ângulo adequado entre o eletrodo e o metal base, para depositar um bom cordão. Na soldagem para cima, o eletrodo deve ser mantido a um ângulo de 90º com a vertical.

Quando houver necessidade de ondulação, o eletrodo deve ser oscilado com um movimento em forma de batidas para cima. Na soldagem para baixo, as soldas devem ser feitas mantendo-se o topo do eletrodo em um ângulo de aproximadamente 15º abaixo da horizontal com a placa, com o arco apontado para cima contra o metal derretido.

Quando for necessário um cordão ondulado, na soldagem para baixo, um movimento suavemente semicircular do eletrodo será necessário.

Durante a deposição de uma solda de rebordo no plano horizontal sobre uma chapa vertical, o eletrodo deve ser mantido em ângulo reto com a vertical. O topo do eletrodo deve ser inclinado em ângulo de aproximadamente 15º na direção da soldagem para obter uma visão melhor do arco e da cratera. As correntes de soldagem usadas devem ser ligeiramente menores que aquelas requeridas para o mesmo tipo e tamanho de eletrodo na soldagem na posição plana.

Soldas de ranhuras (juntas de topo) - Posição vertical

Juntas de topo na posição vertical são soldadas de maneira semelhante a soldagem de juntas de topo planas. Para obter boa fusão sem rebaixamento, deve-se usar um arco curto, e o movimento do eletrodo deve ser cuidadosamente controlado.

Juntas de topo em chapas chanfradas

com 1/4 da polegada de espessura podem ser soldadas, usando um movimento ondulado triangular.

Na soldagem de ranhura de juntas de topo na posição horizontal em chapas idênticas, é necessário um arco curto todo o tempo. O primeiro passe é feito da esquerda para a direita ou vice-versa, com o eletrodo a 90º da chapa vertical. O segundo, o terceiro, e se necessário, quaisquer passes adicionais, são feitos com movimentos alternados, com o eletrodo aproximadamente paralelo à borda chanfrada, oposta àquela que está sendo soldada.

Soldas em filete - Posição vertical

Na confecção de soldas em filete, tanto em juntas em "T" como em sobrepostas, na posição vertical, o eletrodo deve ser mantido a um ângulo de 90º com as chapas, ou a um ângulo de até 15º abaixo do plano horizontal, para um melhor controle da poça de fusão. O arco também deve ser curto para obter-se boa penetração, fusão e controle do metal derretido.

Na soldagem de juntas em "T" na posição vertical, o eletrodo deve ser movido num triângulo ondulatório. A junta deve ser iniciada na parte mais baixa e a soldagem deve progredir para cima. Uma pequena demora na ondulação, como demonstrado na Figura 6-37, melhorará a penetração nas paredes laterais e permitirá uma boa fusão na raiz da junta. Se o metal da solda superaquecer, o eletrodo deve ser afastado rapidamente, a intervalos curtos e rápidos, sem interromper o arco. Isso permitirá que o metal derretido se solidifique sem escorrer. O eletrodo deve ser retornado imediatamente à cratera da solda para manter o tamanho desejado de solda.

Quando for necessário mais de uma camada para realizar uma soldagem em "T" vertical, podem ser usados movimentos ondulatórios diferentes. Uma pequena demora ao fim das ondulações resultará em uma boa fusão sem rebaixamento da chapa nas bordas da solda.

Durante soldagem de juntas sobrepostas na posição vertical, o mesmo procedimento usado na soldagem de juntas em "T" verticais será seguido, exceto quanto ao eletrodo, que é direcionado mais em direção a chapa vertical. Deve-se ter cuidado para não rebaixar nenhuma chapa, ou permitir que o metal derretido se sobreponha às bordas da ondulação. Em chapas pesadas, as juntas sobrepostas requerem mais de uma camada de metal.

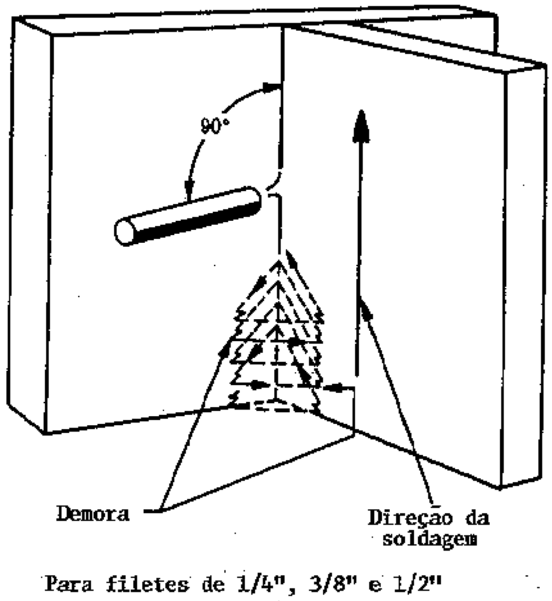


Figura 6-37 Filete de solda de junta vertical em “T”.

SOLDAGEM DE ESTRUTURAS DE AÇO

Pode-se usar soldagem por oxiacetileno ou por arco voltaico para o reparo de algumas estruturas de aeronaves, uma vez que, a maioria das estruturas de aeronave são fabricadas de uma das ligas soldáveis, contudo deve-se considerar a liga a ser soldada, pois nem todas são prontamente soldáveis. Além disso, certas partes estruturais podem ter recebido tratamento térmico e por isso, requerem cuidados especiais.

Em geral, quanto mais suscetível uma liga de aço for ao tratamento térmico, menos adequada à soldagem ela será, devido à sua tendência a se tornar quebradiça e perder sua ductibilidade na área soldada. Os seguintes aços são prontamente soldáveis: (1) Carbono simples da série 1000, (2) aço níquel da série SAE 2300, (3) ligas níquel/cromo da série SAE 31000, (4) aços cromo/molibdênio da série SAE 4100, e (5) aço baixo-cromo/molibdênio da série SAE 8600.

Partes de aço que não podem ser soldadas

Reparos de soldagem não devem ser

feitos em partes de aeronaves, cujo desempenho adequado dependa das propriedades de resistência, desenvolvidas através de trabalho a temperatura normal, tais como cabos e fios com formato aerodinâmico.

Peças braçadas ou soldadas com estanho (solda fraca) jamais deverão ser reparadas por soldagem forte (WELDING), uma vez que os metais usados naqueles tipos de soldagem podem misturar-se ao aço derretido, enfraquecendo-o.

Certas peças de aeronave, como esticadores e parafusos, que sofrem tratamento térmico para melhorar suas propriedades mecânicas, não devem ser soldados.

Reparo de membros tubulares

Tubos de aço soldados podem, geralmente, ser emendados ou reparados em qualquer junta ao longo do seu comprimento, porém deve-se dar particular atenção ao encaixe e alinhamento corretos para evitar distorções. Algumas das muitas práticas aceitáveis são descritas nos próximos parágrafos.

Mossas em um dos tubo de aço de uma junta de vários tubos podem ser reparadas, soldando-se um reparo de aço especialmente feito sobre a área amassada e nos tubos adjacentes, como mostrado na Figura 6-38.

Para preparar a chapa de reparo, uma secção de folha de aço é cortada do mesmo material e espessura do tubo mais pesado e danificado.

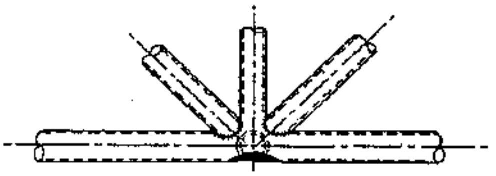
A chapa de reforço é aparada de forma que os "dedos" se estendam sobre os tubos pelo menos uma o diâmetro e meio do tubo respectivo (Figura 6-38).

A chapa de reforço pode ser formatada antes de se tentar qualquer soldagem, ou ela pode ser cortada e ponteada a um ou mais tubos da junta, depois aquecida e formatada ao redor da junta para produzir contornos suaves.

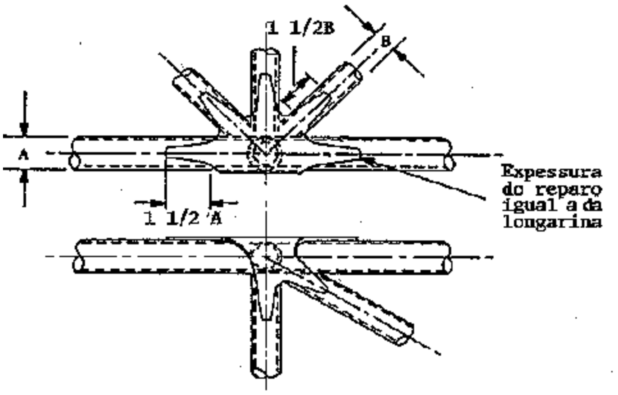
Deve-se aplicar calor suficiente à chapa durante o processo de formação para que não existam folgas.

Se houver uma folga ela não deverá exceder 1/16 da polegada medida do contorno da junta à chapa.

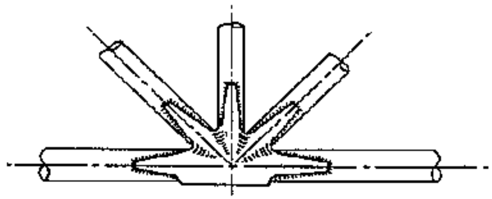
Depois da formatação e do ponteamento, todas as bordas da chapa de reforço são soldadas à junta.



Mossa na junção de uma longarina



Reparo antes da solda



Reparo moldado e soldado na junta

Figura 6-38 Reparo de mossas em membros tubulares de uma junta.

Reparo através de luva soldada

Este tipo de reparo para tubos amassados ou dobrados é ilustrado na Figura 6-39. O material de reparo selecionado deve ser um pedaço de tubo de aço com diâmetro interno aproximadamente igual ao diâmetro externo do tubo danificado, e do mesmo material e espessura da parede. Essa luva de reforço deve ser cortada com ângulo de 30º em ambas as extremidades de forma que a distância mínima entre a luva e a extremidade da rachadura ou mossa, não seja menor que um diâmetro e meio do tubo danificado.

Após os cortes em ângulo das extremidades do tubo ele deve ser cortado, no sentido do seu comprimento, em duas metades iguais (Figura 6-39).

As duas metades são presas na posição correta nas áreas afetadas do tubo original. A luva é então soldada ao longo do comprimento das duas metades, e ambas as extremidades são soldadas ao tubo danificado, como mostrado na Figura 6-39.

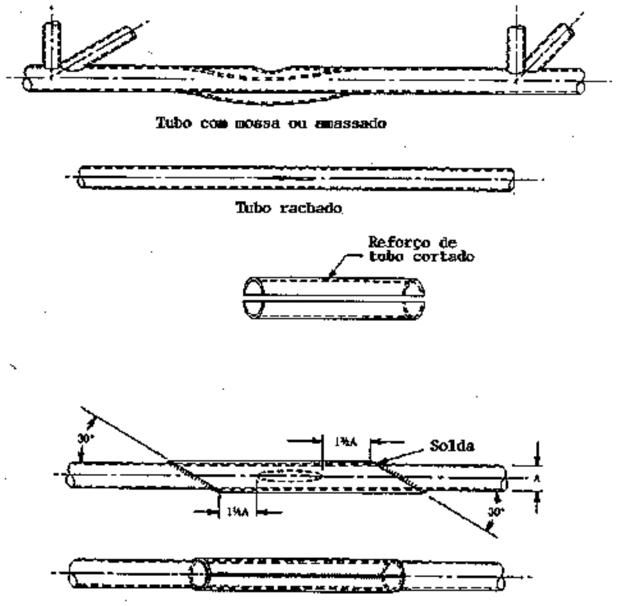


Figura 6-39 Reparo por luva soldada.

Reparo por remendo soldado

Mossas ou furos em tubos podem ser reparados com segurança através de um remendo do mesmo material, mas uma medida de espessura acima; como ilustrado na Figura 6-40, tem as seguintes exceções:

(1) Não use este tipo de reparo em mossas fundas mais que 1/10 do diâmetro do tubo, mossas que envolvam mais de 1/4 da circunferência do tubo, ou aquelas mais longas que o diâmetro do tubo.

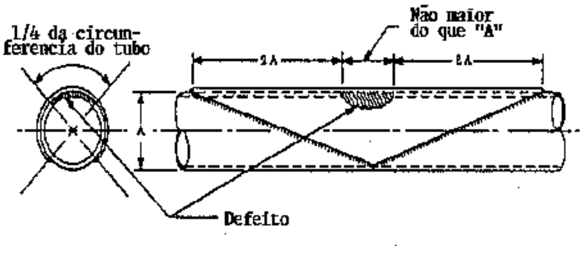


Figura 6-40 reparo com reforço soldado

(2) Só use este tipo de reparo se não houver rachaduras associadas às mossas, ou abrasões e cantos vivos.

(3) Só use este tipo de reparo quando o tubo amassado puder ser substancialmente reformado sem rachar, antes da aplicação do remendo.

(4) No caso de tubos perfurados, use este tipo de reparo se os furos não forem maiores que o diâmetro do tubo, e se não envolverem mais que 1/4 da circunferência do tubo.

Reparo por luva parafusada

Reparos por luva parafusada na estrutura tubular de aço não são recomendados, a menos que especificamente autorizados pelo fabricante ou pela Autoridade Aeronáutica. O material removido na furação deste tipo de reparo poderá enfraquecer criticamente a estrutura tubular.

Emenda de tubulações através de luva interna

Se o dano a um tubo estrutural for tal que uma substituição parcial do tubo seja necessária, a luva interna mostrada na Figura 6-41 é recomendada, especialmente onde se deseja que a superfície do tubo permaneça lisa.

Faz-se um corte diagonal para remover a parte danificada do tubo; as rebarbas das arestas dos tubos são removidas com uma lima ou algo semelhante. Um tubo de aço do mesmo material e mesmo diâmetro, e pelo menos a mesma espessura de parede, é cortado para encaixar-se no tamanho da parte removida. Em cada uma das extremidades do tubo substituto deve-se deixar uma folga de 1/8 da polegada até o tubo original.

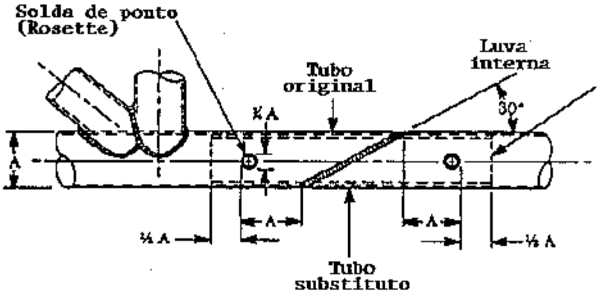


Figura 6-41 Emenda de tubo através de luva interna.

Deve-se selecionar agora, um pedaço de tubo de aço com a mesma espessura de parede e com diâmetro externo igual ao diâmetro interno do tubo danificado. Esse tubo interno deve ficar encaixado no tubo original. Cortamos duas seções desse tubo interno, de tal forma, que seus comprimentos sejam no mínimo um diâmetro e meio do tubo em distância, entre a extremidade da luva e a parte mais próxima do corte diagonal.

Caso a luva interna seja difícil de encaixar no tubo ela pode ser congelada em gelo-seco ou em água gelada. Caso este procedimento não seja adequado, o diâmetro da luva pode ser desbastado com uma lixa.

A luva interna pode ser soldada às extremidades dos tubos externos através da folga de 1/8 da polegada, formando-se um cordão de solda sobre a folga.

Reparos em berços de motor

Todas as soldagens em um berço de motor devem ser da melhor qualidade, uma vez que a vibração tende a acentuar qualquer pequeno defeito.

Os membros do berço do motor devem, preferivelmente, ser reparados usando-se um tubo de diâmetro maior sobre o membro original, usando soldas boca de peixe (“fishmonth”) e roseta (“rosette”). Contudo a solda chanfrada a 30º em lugar da “fishmonth” é geralmente considerada aceitável para o reparo de berços de motor.

Berços reparados devem ser checados quanto ao seu alinhamento correto. Quando forem usados tubos para substituir os tubos amassados ou danificados, o alinhamento original da estrutura deve ser mantido. Isto pode ser feito medindo-se a distância entre os pontos dos membros corrrespondentes que não tenham sido danificados, e usando como referência os desenhos do fabricante.

Se todos os membros estiverem desalinhados, o berço deve ser substituído por outro original, ou deve-se construir um, de acordo com os desenhos do fabricante.

O método de cheque do alinhamento dos pontos da fuselagem ou nacele pode ser solicitado ao fabricante.

Danos menores, tais como uma rachadura adjacente a um olhal de fixação do motor, pode ser reparado por resoldagem do anel, e estendendo uma cantoneira de reforço até a área danificada.

Os anéis do berço do motor que são extensivamente danificados não devem ser reparados, a menos que o método de reparo seja especificamente aprovado por um representante autorizado da Autoridade Aeronáutica, ou que seja realizado de acordo com instruções fornecidas pelo fabricante da aeronave.

Reparo de encaixes embutidos na fuselagem

A Figura 6-42 mostra um exemplo do que deve ser feito. Há diversos métodos aceitáveis para fazer esse tipo de reparo. O método da Figura 6-42 utiliza uma luva de maior diâmetro que o tubo original. Isto requer que os furos da longarina sejam alargados. A junta dianteira é um chanfro de 30º. A longarina traseira é cortada aproximadamente 4 polegadas da linha central da junta, e um espaçador de 1 polegada é encaixado sobre a longarina. O espaçador e a longarina têm suas bordas soldadas. Um corte cônico em "V" de aproximadamente 2 polegadas de comprimento é feito na extremidade traseira da luva externa, e a extremidade da luva externa é encaixada à longarina e, então, soldada.

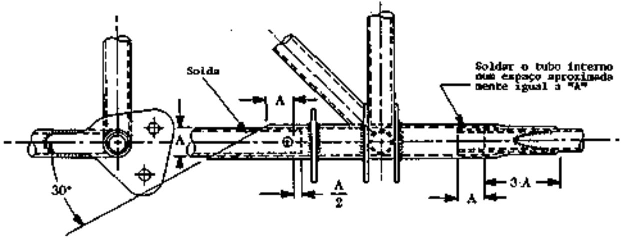

Solda
A
A
30°
Soldar o tubo interno num espaço aproximadamente igual a "A"
A/2
A
3·A

Figura 6-42 Reparo em estrutura da fuselagem de encaixes embutidos.

Reparo de trem de pouso

Trens de pouso fabricados de tubos redondos, são geralmente reparados, usando remendos e reforços (ilustrados nas Figura 6-39 e 6-42). Um método de reparo de trem de pouso fabricado com tubos aerodinâmicos é mostrado na Figura 6-43.

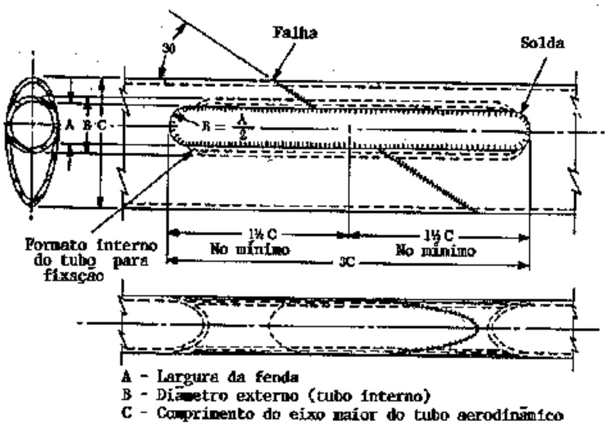

Falha
Solda
30
A
B
C
R = A/2
Formato interno do tubo para fixação
1½ C
No mínimo
1½ C
No mínimo
3C
A - Largura da fenda
B - Diâmetro externo (tubo interno)
C - Comprimento do eixo maior do tubo aerodinâmico

Figura 6-43 Reparos em tubos aerodinâmicos, do trem de pouso, usando tubo redondo.

A Figura 6-44 mostra alguns exemplos de eixos de trem de pouso reparáveis e não reparáveis. Os tipos mostrados em A, B e C são formados por tubos de aço e podem ser reparados através de qualquer dos métodos descritos nesta seção. Contudo, sempre será necessário certificar-se se um membro sofreu ou não tratamento térmico. Os conjuntos que receberam esse tratamento devem sofrê-lo novamente após a soldagem.

O eixo mostrado em "D" é, em geral, não-reparável pelas seguintes razões:

1) O eixo geralmente é de uma liga de aço-níquel altamente tratada termicamente, e cuidadosamente trabalhada com medidas precisas. Geralmente são substituídos quando danificados.
2) A perna hidráulica geralmente recebe tratamento térmico após a soldagem e é perfeitamente fabricada para assegurar o funcionamento correto do amortecedor. Essas peças podem ser danificadas pela soldagem.

A mola de aço mostrada em “E” suporta a roda do trem principal na maioria das aeronaves leves. Em geral, não são reparáveis e devem ser substituídas quando se tornarem excessivamente abertas ou, se danificadas.

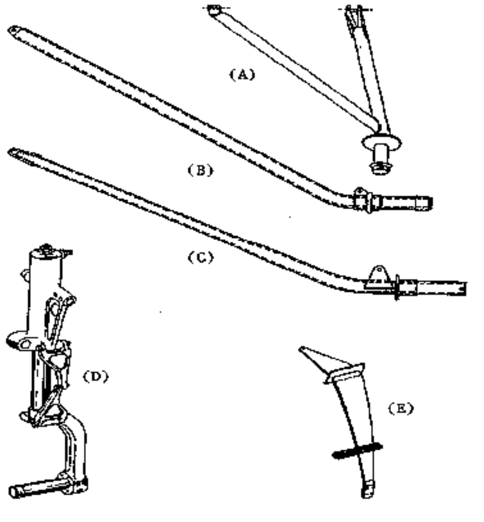


Figura 6-44 Apresentação dos tipos de conjuntos reparáveis e não reparáveis.

Reparo em tubos de asas ou longarinas da superfície da cauda

Podem ser reparados através de qualquer um dos métodos descritos na soldagem de estruturas de aeronave em aço, desde que as longarinas não tenham sofrido tratamento térmico. Neste caso toda a longarina deverá receber novo tratamento, de acordo com o fabricante após o reparo.

Montantes das asas e cauda

Em geral é mais vantajoso substituí-los, sejam de seção circular ou aerodinâmicos. Contudo, geralmente não há objeção, do ponto de vista da aeronavegabilidade, quanto ao reparo desses montantes. Os montantes de seção circular com encaixe padrão podem ser reparados como nas Figuras 6-39 ou 6-41.

Os montantes de aço podem ser reparados em qualquer ponto ao longo de seu comprimento, desde que o reparo não se sobreponha ao encaixe da ponta. O encaixe do montante secundário não é considerado um encaixe de ponta, por isso, pode-se fazer um reforço nesse ponto. Deve-se evitar ao máximo distorções geradas pela soldagem. O montante reparado deve ser observado durante os primeiros vôos, para assegurar que as características de vibração do montante e os componentes de fixação não foram adversamente afetados pelo reparo. Deve-se cobrir uma ampla gama de ajustes de potência e velocidades durante esta verificação.

NOVOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

Na soldagem por ultra-som as peças são submetidas a pressão e a vibração de alta freqüência, responsável pela fusão das superfícies.

A aparência das máquinas de soldagem por ultra-som lembra as de soldagem a ponto por resistência. Trabalham na faixa de 5 a 100KHz; a pressão mecânica é da ordem de dezenas ou centenas de quilogramas; o tempo de soldagem é de 0,5 a 1,5 segundos. O sistema de produção das ondas ultra-sônicas - por magnetoestrição e por piesoeletricidade - está em franco aperfeiçoamento, permitindo soldagem de ligas altamente refratárias em espessuras de 2,5 mm, e alumínio até 6mm.

A explicação metalúrgica para o que se passa é variada:

a) fusão interface muito localizada e seguida de ressolidificação
b) deformação e destruição da superfície por

ter ultrapassado limite elástico e conseqüente interligação mecânica

c) ligação interface em nível atômico

d) reação química interface com difusão em estado sólido

O fato é que com esse processo, solda-se hoje metais e ligas dissimilares tais como Molibdênio, Titânio, Zircônio, Inoxidável, aços ao carbono.

SOLDAGEM POR BOMBARDEAMENTO ELETRÔNICO ("ELECTRON BEAM")

Concentra-se um feixe de eletrons de alta energia sobre a junta a soldar, realizando a fusão localizada com características inusitadas de penetração.

Costuma-se classificar os equipamentos de bombardeamento eletrônico sob vácuo como "de alta tensão" (75 a 150 Kv); a tensão é a responsável direta pela penetração.

O maior sucesso tem sido soldagem de ligas de berílio, titânio, molibdênio e tungstênio.

A aplicação tem-se estendido a ligas menos sofisticadas, em atmosfera gasosa de ar, hélio e mistura hélio-argônio, conforme os exemplos da Figura 6-45.

A excepcional performace de penetração - em relação à largura do cordão de velocidade e de características mecânicas, tem aguçado o interesse dos pesquisadores, que procuram agora soldar juntas espessas fugindo da limitação da câmara de vácuo.

Liga de Base	**Espessura mm**	**Tensão Kv**	**Corrente m. ampère**	**Velocidade cm/min**	**Atmosfera**
Aço Calmado	3,2	175	30	210	Ar
Aço SAE 1010	0,25	150	2,5	360	Ar
Aço SAE 4620	10,0	175	40	66	Ar
Aço AISI 304	10,0	170	35	25	Ar
Inconel X	3,2	150	25	46	Ar
Cobre	0,2	150	8	360	Ar
Liga de Alumínio 2219	9,5	175	40	140	He

Figura 6-45 Soldagem por bombardeamento eletrônico.

SOLDAGEM POR FRICÇÃO

A velha experiência do homem da caverna com a produção de calor por atrito, foi retomada em 1957 pelo Instituto Central de Pesquisa sobre soldagem Elétrica de Leningrado com interessantes resultados para ligas dissimilares - alumínio e cobre, cobre e bronze, níquel e aço - sendo soldadas em barras redondas de até 100 mm de diâmetro.

A fricção entre duas superfícies pode ser obtida por deslizamento, rolamento ou rotação. A soldagem por fricção utiliza esta última: se mantiver uma superfície estacionária e a outra em revolução, o contato das duas criará uma elevação de temperatura que associada a uma pressão promoverá a solda topo das duas superfícies. A conservação de energia cinética é obtida com ajuda de volantes.

O processo é particularmente daptado a corpos com eixo de rotação (tubos, eixos, barras, etc.) e a produções em série. Têm sido soldados aços ao carbono, inoxidável, aços ferramenta e liga, cobre, alumínio, titânio,(mesmo em juntas dissimilares).

É extremamente atraente pela simplicidade do equipamento, adaptabilidade a automatização e baixo custo operacional (inclusive energético). Ver a Figura 6-45.

As máquinas atuais estão na faixa de 1800 a 5000 rpm, carga axial até 275 toneladas, consumo: 10 HP por polegada quadrada a soldar.

Solda-se hoje superfícies de 1/8" a 6" de diâmetro.

Há crescente interesse pelo processo nas indústrias automobilística, elétrica e de ferramentas.

POTÊNCIA NOMINAL	- 10 Kw	20 Kw	2,5 Kw
Rotação r.p.m.	1430	930	4000
pressão de ar ($4,5\ Kg/cm^2$)	pneumática	hidro-pneumática	pneumática
carga axial Kg	500 a 4500	1000 a 10000	50 a 400

Figura 6-46 Alguns dados das máquinas originais:

SOLDAGEM POR LASER

"Laser" significa "Light amplification through stimulated emission of radiation", ou ainda, uma emissão de raios de freqüência constante e de alta concentração.

Pode-se obter o laser, por exemplo, incidindo uma luz brilhante de lâmpada de xenônio, de queima de magnésio ou alumínio - sobre um rubi sintético; os elétrons da estrutura cristalina serão estimulados e ao voltarem ao seu nível energético normal, emitirão radiações correntes, de pequena dispersão (um raio laser disparado em direção à Lua - a quase 400.000 Km de distância - cobrirá apenas uma área de 5 Km de diâmetro na superfície lunar), e cuja energia independerá do meio material intermediário. O feixe laser e o eletrônico constituem emissões de alta intensidade energética por superfície específica, e daí seu interesse na soldagem.

Pode-se soldar "pontualmente" com o laser, a relação penetração - diâmetro do ponto, atingindo valores 200/1.

Sua melhor aplicação tem sido nas soldagens de metais e ligas para fins aeroespaciais (titânio, columbio, molibdênio).

FONTE DE ENERGIA	**INTENSIDADE watt/cm^2**
Chama Oxiacetilênica	**1×10^3**
Arco Elétrico (argônio - 200 A)	**$1,5 \times 10^4$**
Bombardeamento Eletrônico	**maior que 10^9**
Laser	**maior que 10^9**
Radiação Corpo Negro a 6500^0 K	**10^4**
Radiação Corpo Negro a 11500^0 K	**10^5**
Radiação Corpo Negro a 20500^0 K	**10^6**
Radiação Corpo Negro a 36500^0 K	**10^7**
Radiação Corpo Negro a 65000^0 K	**10^8**
Radiação Corpo Negro a 11500^0 K	**10^9**

Figura 6-47 Comparação dos tipos de soldagem.

CAPÍTULO 7

PROTEÇÃO CONTRA CHUVA E GELO

INTRODUÇÃO

Chuva, neve e gelo são velhos inimigos dos transportes. Em vôo, é adicionada uma nova dimensão, particularmente com respeito ao gelo. Sob certas condições atmosféricas, o gelo pode formar-se rapidamente nos aerofólios e entradas de ar.

Os dois tipos de gelo encontrados durante o vôo são: o gelo opaco e o vítreo. O gelo opaco forma uma superfície áspera nos bordos de ataque da aeronave, porque a temperatura do ar é muito baixa e congela a água antes que ela tenha tempo de espalhar-se. O gelo vítreo forma uma camada lisa e espessa sobre os bordos de ataque da aeronave. Quando a temperatura está ligeiramente abaixo do ponto de congelamento, a água tem mais tempo para fluir antes de congelar-se.

Deve ser esperada a formação de gelo, sempre que houver umidade visível no ar, e a temperatura estiver próxima ou abaixo do ponto de congelamento. Uma exceção é o congelamento no carburador que pode ocorrer durante o tempo quente sem a presença visível de umidade. Se for permitido o acúmulo de gelo no bordo de ataque das asas e da empenagem, ele irá destruir as características de sustentação do aerofólio. O acúmulo de gelo ou chuva no pára-brisas, interfere na visibilidade.

Efeitos do gelo

Gelo acumulado em uma aeronave afeta a sua performance e a sua eficiência de várias maneiras. A formação de gelo aumenta a resistência ao avanço (arrasto) e reduz a sustentação. Ele causa vibrações destrutivas e dificulta a leitura verdadeira dos instrumentos. As superfícies de controle ficam desbalanceadas ou congeladas. As fendas (slots) fixas são preenchidas e as móveis emperradas. A recepção de rádio é prejudicada e o desempenho do motor é afetado (Figura 7-1).

Os métodos usados para evitar a formação de gelo (antigelo) ou para eliminar o gelo que foi formado (degelo) varia com o tipo de aeronave e com o modelo.

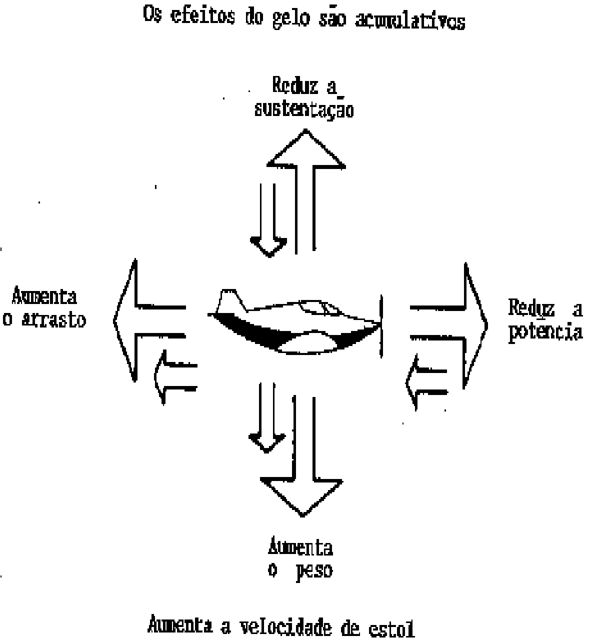


Figura 7-1 Efeitos da formação de gelo.

Neste capítulo, serão discutidas a prevenção contra o gelo e a eliminação do gelo formado, usando pressão pneumática, aplicação de calor e a aplicação de fluido.

Prevenção contra a formação de gelo

Vários meios de evitar ou controlar a formação de gelo são usados hoje em dia em aeronaves: (1) aquecimento das superfícies usando ar quente, (2) aquecimento por elementos elétricos, (3) remoção da formação de gelo, feito normalmente por câmaras infláveis (boots), e (4) álcool pulverizado.

Uma superfície pode ser protegida contra a formação de gelo; ou mantendo a superfície seca pelo aquecimento, para uma temperatura que evapore a água próxima à colisão com a superfície; ou pelo aquecimento da superfície, o suficiente para evitar o congelamento, mantendo-a constantemente seca; ou ainda sendo a superfície degelada, após permitir a formação do gelo e removê-lo em seguida.

Sistemas de eliminação ou prevenção contra o gelo, asseguram a segurança do vôo quando existir uma condição de congelamento.

O gelo pode ser controlado na estrutura da aeronave pelos seguintes métodos:

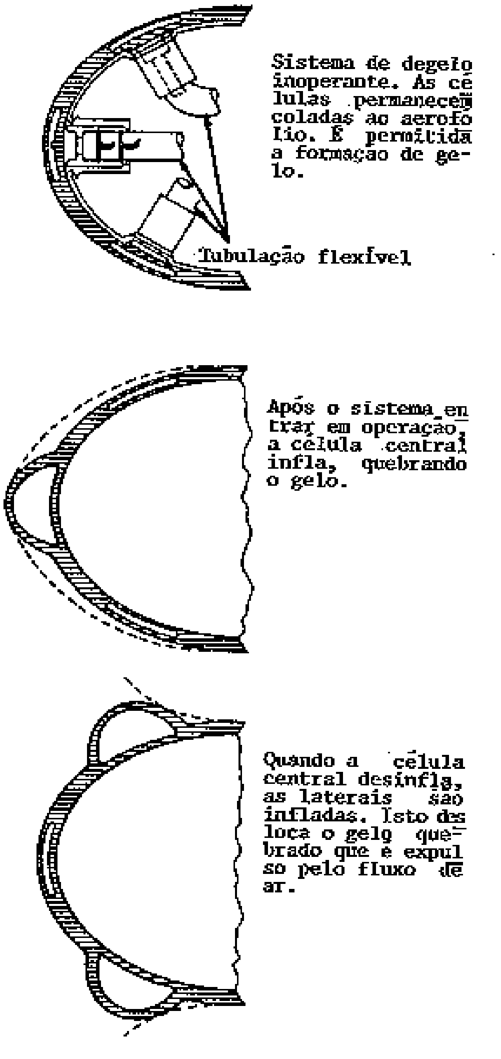
Localização do gelo	Método de controle
1. Bordos de ataque das asas.	Pneumático e térmico
2. Bordos de ataque dos estabilizadores vertical e horizontal.	Pneumático e térmico
3. Pára-brisas, janelas e cúpulas de radar.	Elétrico e álcool
4. Aquecedores e entradas de ar do motor.	Elétrico
5. Transmissor de aviso de stol	Elétrico
6. Tubos de pitot	Elétrico
7. Controles de vôo	Pneumático e térmico
8. Bordo de ataque das pás da hélice	Elétrico e álcool
9. Carburadores	Térmico e álcool
10. Drenos dos lavatórios	Elétrico

SISTEMAS PNEUMÁTICOS DE DEGELO

Os sistemas pneumáticos de degelo usam degeladores de borracha chamados de polainas ou botas, presos ao bordo de ataque das asas e dos estabilizadores. Os degeladores são compostos por uma série de tubos infláveis. Durante a operação os tubos são inflados com ar pressurizado, e desinflados por um ciclo alternado, como é mostrado na Figura 7-2. Inflação e a deflação causam a ruptura e quebra do gelo, que é, então, removido pelo fluxo de ar.

Os tubos de degelo são inflados por uma bomba girada pelo motor (bomba de vácuo), ou pelo ar sangrado do compressor de um motor a turbina de gas. A sequência de inflação é controlada, tanto por uma válvula distribuidora localizada em uma posição central, como por válvulas operadas por solenóide, localizadas próximo as entradas de ar do degelo.

Os degeladores são instalados em seções ao longo da asa, com as diferentes seções operando alternadamente e simetricamente ao redor da fuselagem. Isto é feito para que algum distúrbio do fluxo de ar, causado pela inflação de um tubo, seja mantido a um mínimo de inflação, somente em pequenas seções de cada asa, de cada vez.



Sistema de degelo inoperante. As células permanecem coladas ao aerofolio. É permitida a formação de gelo.

Após o sistema entrar em operação, a célula central infla, quebrando o gelo.

Quando a célula central desinfla, as laterais são infladas. Isto desloca o gelo quebrado que é expulso pelo fluxo de ar.

Figura 7-2 Ciclo de inflação da polaina degeladora.

CONSTRUÇÃO DAS POLAINAS DEGELADORAS

As polainas degeladoras são feitas de borracha macia e flexível ou de tecido emborrachado, e contendo células de ar tubulares. A saída do degelador é de neoprene, para proporcionar resistência à deterioração pelos elementos e produtos químicos. O neoprene também proporciona uma superfície condutora para dissipar as cargas de eletricidade estática. Essas cargas, se permitidas a se acumularem, eventualmente serão descarregadas através da polaina para a superfície metálica, sob ela, causando interferência com o equipamento rádio.

As polainas são fixadas ao bordo de ataque da asa e superfícies da empenagem com cola especial, tiras de metal e parafusos, ou uma combinação de ambos.

As polainas de degelo que são presas à superfície com tiras de carenagens e parafusos, ou com uma combinação deste processo mais cola especial, espaços regulares, e um fio em cada bordo longitudinalmente. Neste tipo de instalação, os parafusos passam através de uma das tiras de carenagem e a polaina de degelo, logo à frente do fio de arame, e são fixados nos rebites (rivnuts) tipo porca, localizados permanentemente no revestimento da aeronave.

O novo tipo de polainas de degelo (Figura 7-3) são coladas na superfície com cola especial. Os bordos de fuga deste tipo de polainas são adelgaçados para permitir um aerofólio mais liso. Pela eliminação das tiras de carenagens e parafusos, este tipo de instalação reduz o peso do sistema de degelo.

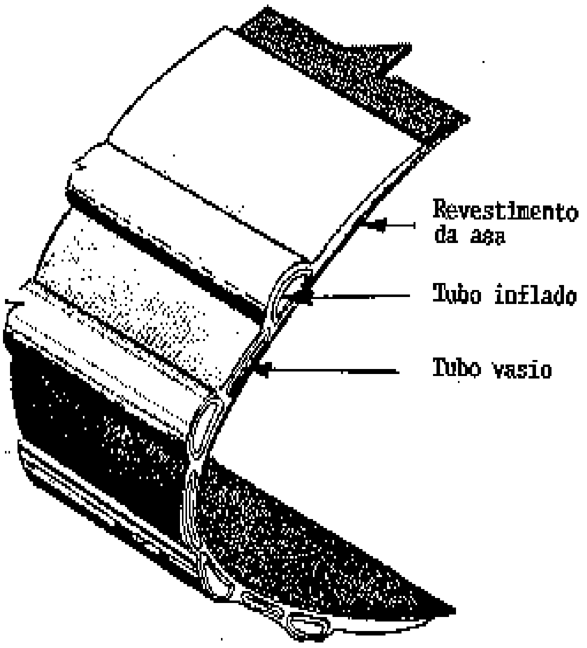


Figura 7-3 Secção de um degelador de asa.

As células de ar das polainas de degelo, são conectadas ao sistema de pressão e linhas de vácuo por tubos flexíveis a prova de torção.

Além das polainas de degelo, os principais componentes de um típico sistema pneumático de degelo, são: uma fonte de ar presurizado, um separador de óleo, válvulas de alí- vio de sucção e de pressão de ar, uma válvula de corte e reguladora da pressão, um controlador de tempo de inflação e uma válvula distribuidora ou uma válvula de controle.

Um típico sistema é mostrado esquematicamente na Figura 7-4.

Nesse sistema, a pressão de ar para a operação dele é suprida pelo ar sangrado do compressor do motor. O ar sangrado do compressor é conduzido para um regulador de pressão. Esse regulador reduz a pressão do ar de sangria para a pressão do sistema de degelo. Um ejetor colocado na linha após o regulador, fornece o vácuo necessário para manter as polainas desinfladas.

As válvulas de alívio da sucção e da pressão do ar, e o regulador, mantêm a sucção e a pressão do sistema pneumático em uma desejada medida. O controlador de tempo (timer) é essencialmente uma série de circuitos interruptores atuados sucessivamente por um interruptor rotativo, que por sua vez é atuado por solenóide. Esse controlador de tempo é energizado quando o interruptor de degelo é colocado para a posição "ligado" (on).

Quando o sistema entra em operação, a entrada de degelo da válvula distribuidora é fechada para o vácuo, e a pressão de operação do sistema é aplicada para os degeladores conectados naquela entrada. Ao final do período de inflação a passagem de pressão para o degelo é fechada, e o ar de degelo flui para fora através da passagem de saída.

Quando o ar que está saindo dos degeladores atinge uma baixa pressão (aproximadamente 1 p.s.i.) a passagem de saída é fechada. O vácuo é reaplicado para retirar o ar remanescente no degelador.

O ciclo é repetido enquanto o sistema estiver operando. Se o sistema for desligado, o controlador de tempo automaticamente retorna para a sua posição de partida.

Um sistema pneumático de degelo que usa uma bomba de ar acionada pelo motor, é mostrado na Figura 7-5.

Somente a parte do lado direito do sistema está ilustrado, porque o lado esquerdo é idêntico.

Devemos observar que os degeladores infláveis estão disponíveis para o bordo de ataque das asas e para o bordo de ataque do estabilizador horizontal. Incluídos no sistema estão duas bombas de ar giradas pelo motor (vácuo), dois separadores primários de óleo, duas unidades combinadas, seis válvulas distribuidoras, um controlador de tempo eletrônico e os interruptores no painel de controle do degelo.

Para indicar a pressão do sistema, um indicador de sucção e um indicador de pressão estão incluídos no sistema.

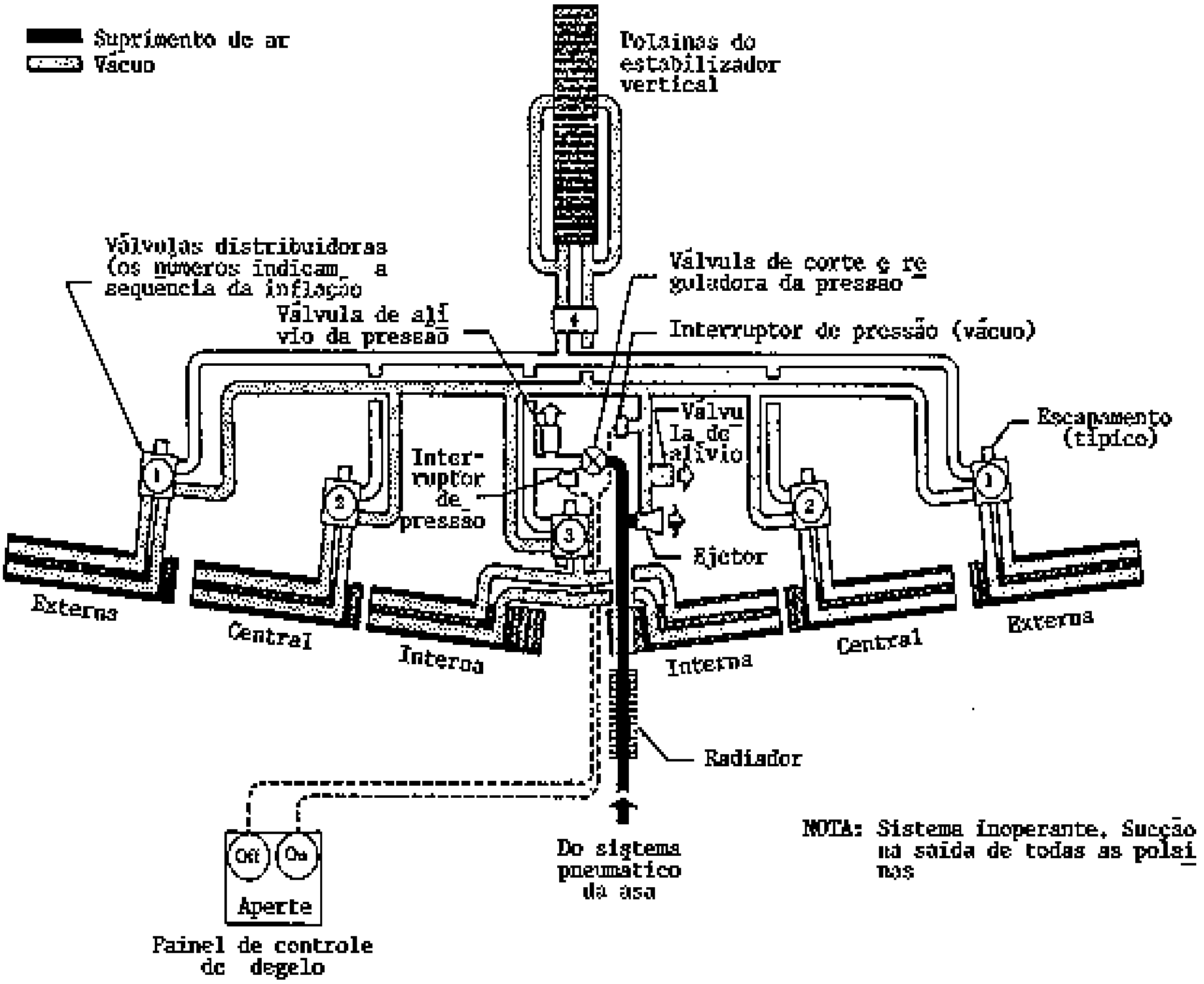

Suprimento de ar
Vácuo
Polainas do estabilizador vertical
Válvulas distribuidoras (os números indicam a sequencia da inflação
Válvula de alívio da pressão
Válvula de corte e reguladora da pressão
Interruptor de pressão (vácuo)
Escapamento (típico)
Interruptor de pressão
Válvula de alívio
Ejetor
1
2
3
4
Externa
Central
Interna
Interna
Central
Externa
Radiador
Off
On
Aperte
Painel de controle de degelo
Do sistema pneumatico da asa
NOTA: Sistema inoperante. Sucção na saída de todas as polainas

Figura 7-4 Esquema de um sistema pneumático de degelo.

Operação do sistema pneumático

Como mostra a Figura 7-5, as polainas degeladoras estão arranjadas em seções. A polaina da asa direita inclui duas seções: (1) uma seção interna (polaina interna A1 e a polaina externa B2); e (2) uma seção externa (polaina interna A3 e polaina externa B4).

O estabilizador horizontal direito tem duas seções de polainas (polaina interna A5 e polaina externa B6).

Uma válvula distribuidora atende cada seção de polainas da asa, e uma outra válvula atende ambas as seções de polainas do estabilizador horizontal.

Observamos que cada válvula distribuidora tem uma passagem de entrada da pressão, uma de saída da sucção, uma de alijamento e mais duas passagens adicionais (A e B). Na válvula distribuidora as passagens A e B são conectadas às respectivas aberturas da polaina (A e B).

A pressão e a sucção podem ser alternadas através das aberturas A e B pelo movimento de uma válvula servo, operada à solenóide, da válvula distribuidora.

Observamos também, que cada válvula distribuidora está conectada a uma linha de pressão comum e a uma linha de sucção comum. Quando o sistema pneumático de degelo é ligado (ON), a pressão ou sucção é aplicada por uma ou ambas as bombas de ar (vácuo) giradas pelo motor.

O lado de sucção de cada bomba está conectado à linha de sucção de pressão, através conectado à linha de sucção de pressão, através de uma válvula de alívio à linha de pressão. A válvula de alívio da pressão mantém na linha uma pressão de 17 p.s.i.

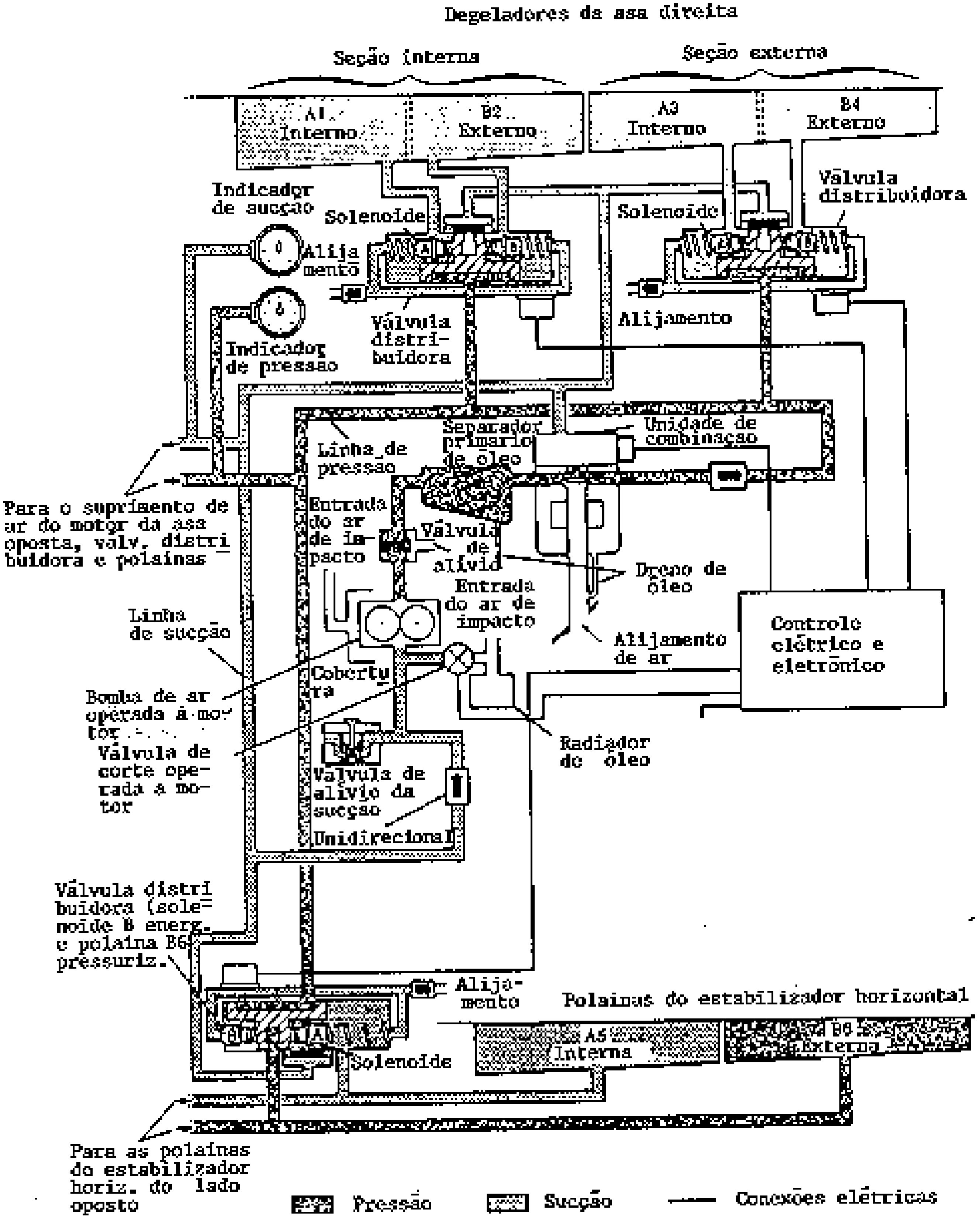

Degeladores da asa direita
Seção interna
Seção externa
A1 Interno
B2 Externo
A3 Interno
B4 Externo
Indicador de sucção
Solenoide
Alijamento
Válvula distribuidora
Solenoide
Válvula distribuidora
Alijamento
Indicador de pressão
Linha de pressão
Separador primário de óleo
Unidade de combinação
Para o suprimento de ar do motor da asa oposta, valv. distribuidora e polainas
Entrada do ar de impacto
Válvula de alívio
Dreno de óleo
Entrada do ar de impacto
Alijamento de ar
Controle elétrico e eletrônico
Linha de sucção
Bomba de ar operada a motor
Cobertura
Válvula de corte operada a motor
Radiador de óleo
Válvula de alívio da sucção
Unidirecional
Válvula distribuidora (solenoide B energ. e polaina B6 pressuriz.
Alijamento
Polainas do estabilizador horizontal
A5 Interna
B6 Externa
Solenoide
Para as polainas do estabilizador horiz. do lado oposto
Pressão
Sucção
Conexões elétricas

Figura 7-5 Sistema de degelo pneumático usando uma bomba de ar movida a motor.

O ar pressurizado passa então para o separador de óleo primário, o qual tem a função de remover qualquer óleo que o ar contenha. O ar livre do óleo é então liberado para a unidade combinada. Essa unidade dirige, regula para 15 p.s.i, e filtra o suprimento de ar, que vai para a válvula distribuidora.

Quando o sistema de degelo pneumático é desligado, a sucção da bomba de ar, regulada para 4 polegadas de mercúrio, por meio de uma válvula de alívio da sucção ajustável, mantém as polainas de degelo desinfladas.

A pressão da bomba de ar é então dirigida para o exterior, pela unidade combinada.

COMPONENTES DO SISTEMA DE DEGELO

Bomba de ar girada pelo motor

A bomba de ar girada pelo motor é do tipo deslocamento positivo, quatro palhetas, rotativa, e está montada na caixa de engrenagens dos acessórios do motor.

O lado de compressão de cada bomba, fornece pressão de ar para inflar as polainas de degelo das asas e da empenagem.

A sucção é suprida do lado de entrada de cada bomba para manter as polainas vazias, quando não estiverem sendo infladas, enquanto a aeronave estiver em vôo.

Um tipo de bomba utiliza o óleo do motor para sua lubrificação e está montada de modo que o eixo de comando esteja engrazado com a caixa de engrenagens de acionamento dos acessórios.

O óleo que entra na bomba para lubrificação e selagem é descarregado através do lado de pressão para o separador de óleo. Neste ponto, a maior parte do óleo é separado do ar e é mandado de volta pra o sistema de óleo do motor.

Quando estivermos instalando uma nova bomba, devemos nos segurar de que a passagem de óleo da gaxeta, da bomba e do motor estão alinhados (ver a Figura 7-6).

Se a passagem de óleo não estiver alinhada, a bomba que está sendo instalada será danificada por deficiência de lubrificação.

Um outro tipo de bomba de vácuo, chamada de "bomba seca", depende, especialmente para sua lubrificação, das partes feitas de um composto de carbono.

A bomba é construída com palhetas de carbono para o rotor.

Esse material também é usado para os rolamentos do rotor.

O material usado nas palhetas de carbono, em uma controlada proporção, fornece adequada lubrificação.

No que elimina a necessidade de lubrificantes externos.

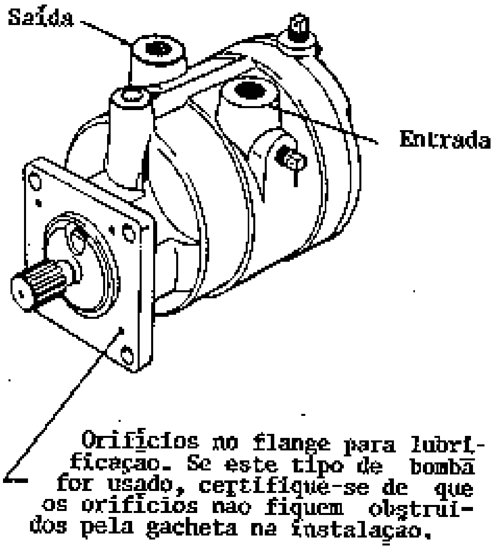

Saída
Entrada
Orifícios no flange para lubrificaçao. Se este tipo de bomba for usado, certifique-se de que os orifícios nao fiquem obstruidos pela gacheta na instalaçao.

Figura 7-6 Lubrificação da bomba de vácuo.

Quando estivermos usando a bomba do tipo seco, óleo, graxa, ou fluidos desengordurantes, não devem entrar no sistema. Isto é importante durante a instalação e durante a subseqüente manutenção.

A manutenção das bombas giradas pelo motor é limitada à inspeção das conexões e segurança de montagem.

Válvulas de segurança

Uma válvula de segurança da pressão do ar é instalada no lado da pressão de alguns tipos de bombas de ar giradas pelo motor. Esquematicamente, essa válvula é colocada no lado da pressão de ar da bomba, entre o separador de óleo primário e a bomba. A válvula de segurança elimina o ar em excesso durante a alta rotação da bomba, quando uma predeterminada pressão é atingida.

A válvula é pré-regulada e não depende de ajustagens.

Separador de óleo

Um separador de óleo está previsto para cada bomba de ar do tipo "molhado".

Cada separador possui uma abertura para a entrada de ar, e uma outra para a saída; e uma linha de dreno do óleo, o qual é levado de volta ao sistema de lubrificação do motor.

Como a bomba de ar é lubrificada internamente, há necessidade de fornecer meios de separar o óleo do ar pressurizado. O separador remove aproximadamente 75% do óleo contido no ar. A única manutenção requerida para o separador de óleo, é uma lavagem do seu interior com um conveniente solvente de limpeza. Isto deverá ser feito em intervalos prescritos no aplicável manual de manutenção.

Combinação de regulador, válvula descarregadora e separador de óleo

A combinação de regulador, válvula descarregadora e separador de óleo, consiste de uma válvula descarregadora, carregada por mola e controlada por diafragma, um filtro de óleo e um dreno; uma válvula reguladora da pressão de ar, do tipo diafragma, com um parafuso de ajuste; e uma válvula seletora a solenóide.

O conjunto tem uma abertura de entrada da pressão de ar, uma abertura de escapamento, uma saída para o solenóide das válvulas distribuidoras, uma saída para o lado de sucção das bombas de ar giradas pelo motor, e um dreno de óleo.

A unidade combinada tem três funções: (1) remover todo o óleo residual deixado no ar pelo separador de óleo primário, antes da entrada na linha de pressão; (2) controlar, dirigir e regular a pressão do ar no sistema; e (3) descarregar o ar para a atmosfera quando o sistema de degelo não está em uso, permitindo, desse modo, que a bomba de ar opere sem carga de pressão.

A manutenção dessa unidade consiste em substituir o elemento do filtro, como prescrito pelo aplicável manual de manutenção.

O regulador de pressão pode ser ajustado, se o indicador de pressão do sistema de degelo não registrar a pressão específica. O parafuso de ajustagem deverá ser girado no sentido contrário dos ponteiros do relógio para aumentar a pressão, e no sentido dos ponteiros do relógio para diminuir a pressão do sistema.

Válvula de regulagem da sucção

Uma ajustável válvula de regulagem da sucção está instalada em cada nacele do motor. Um lado de cada válvula está ligado com tubo ao lado de entrada (sucção) da bomba de ar girada pelo motor, e o outro lado para a linha coletora de sucção principal. A finalidade da válvula de sucção é manter automaticamente a sucção do sistema de degelo.

A manutenção dessa válvula consiste na remoção da tela do filtro de entrada de ar, e da limpeza, como prescrito pelo aplicável manual de manutenção.

Essa válvula pode ser ajustada para obter-se a desejada sucção do sistema de degelo. A sucção do sistema de degelo é aumentada, girando-se o parafuso de ajuste no sentido contrário dos ponteiros do relógio; e diminuida, girando-se no sentido dos ponteiros do relógio.

Válvula seletora a solenóide

A válvula seletora a solenóide, é normalmente localizada próxima ao grupo de polainas de degelo o qual ela serve. Cada válvula distribuidora incorpora uma abertura para a entrada da pressão, uma para a saída de sucção, duas aberturas ("A" e "B") para as polainas, e uma abertura que está ligada por tubulações à área de baixa pressão. Cada distribuidora possui também dois solenóides, A e B.

A abertura de entrada de pressão faz parte da linha principal de pressão, e por meio disso, mantém uma pressão de aproximadamente 15 p.s.i, disponível todo o tempo em que o sistema de degelo estiver operando. A abertura de sucção é conectada à linha principal de sucção. Isto permite que aproximadamente 4 polegadas de mercúrio (4 in.hg.) estejam disponíveis todo o tempo na válvula distribuidora. As aberturas "A"e "B" conectam as linhas de sucção e de pressão das polainas, de acordo com o controle da válvula distribuidora.

A abertura ligada por tubos à área de baixa pressão permite que o ar sob pressão, nas polainas seja alijado para o exterior, de acordo com o controle da válvula distribuidora.

A válvula distribuidora, normalmente permite um suprimento de sucção, para que as polainas sejam mantidas desinfladas em vôo. No entanto, quando o selenóide na válvula distribuidora está energizado pelo controle eletrônico, cíclico, de tempo, ele move uma válvula servo, mudando a entrada para a seção da polaina, de sucção para pressão. Isto permite a total inflação da polaina por um tempo predeterminado. Este intervalo é controlado pelo temporizador eletrônico.

Quando o solenóide for desenergizado o fluxo de ar através da válvula será cortado. O ar então é descarregado para fora da polaina, através de uma válvula unidirecional integral, até que a pressão atinja aproximadamente 1 in. hg., a polaina é ligada à linha principal de sucção e o ar remanescente é evacuado, mantendo, novamente, dessa forma, a polaina esvaziada por sucção.

Controle eletrônico de tempo

Um temporizador eletrônico é usado para o controle da sequência de operação, e os intervalos de tempo do sistema de degelo. Quando o sistema de degelo é ligado, o controle de tempo energiza um solenóide na válvula de descarga.

O solenóide fecha uma válvula servo, e por esse meio, dirige a pressão de ar para a válvula de descarga, fechando-a até que a válvula reguladora da unidade combinada assuma. A válvula reguladora, tende a manter todo o sistema a aproximadamente 15 p.s.i de pressão, e descarrega qualquer suprimento de ar ao separador, lançando-o para o exterior. A linha de pressão principal é então dirigida para as válvulas distribuidoras. O temporizador eletrônico controla a sequência de operação das válvulas distribuidoras.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA PNEUMÁTICO DE DEGELO

A manutenção nos sistemas pneumáticos de degelo varia com cada modelo de aeronave.

As instruções do fabricante da aeronave ou do componente do sistema deverão ser seguidas em todos os casos. Dependendo da aeronave, a manutenção usualmente consiste de cheques operacionais, ajustagens, pesquisas de panes e inspeção.

Checagens operacionais

Uma checagem operacional do sistema pode ser feita pela operação dos motores da aeronave, ou usando uma fonte externa de ar. A maioria dos sistemas é projetada com um plugue de testes para permitir uma checagem do sistema no solo, sem a operação dos motores. Quando utilizamos uma fonte externa de ar, certificamo-nos de que a pressão não exceda a pressão de teste, estabelecida para o sistema.

Antes de ligar o sistema de degelo, observamos os instrumentos operados a vácuo. Se algum dos instrumentos começa a operar, isto é uma indicação de que uma ou mais unidirecionais não fecharam, e está ocorrendo um fluxo reverso através dos instrumentos.

Corrija a dificuldade antes de prosseguir a checagem. Se não houver qualquer movimento dos ponteiros dos instrumentos, então ligamos o sistema de degelo. Com o controle de sistema de degelo na posição adequada, checamos a sucção e o instrumento de pressão, quanto a indicação apropriada.

Os indicadores de pressão flutuarão quando os tubos de degelo inflarem e desinflarem. Uma leitura, relativamente estável, deverá ser mantida no indicador de vácuo. O que devemos observar é que nem todos os sistemas utilizam um indicador de vácuo. Se as operações da pressão e do vácuo estiverem satisfatórias, observamos os degeladores quanto a atuação.

Com um observador estacionado fora da aeronave, checamos a sequência de inflação para nos certificar de que coincide com a sequência indicada no manual de manutenção da aeronave.

Checamos a frequência do sistema através de alguns ciclos completos. Se o tempo do ciclo varia mais do que o permitido, determinamos a dificuldade e corrigimos o defeito. A inflação dos degeladores deve ser rápida, para permitir um degelo eficiente. A deflação das polainas, sendo observada, deve estar completa antes do próximo ciclo de inflação.

Ajustes

Exemplos de ajustes que podem ser necessários, incluem os ajustes das ligações e cabos de controle do sistema de degelo, ajustes das válvulas de alívio do sistema de pressão e do sistema de vácuo (sucção).

Uma válvula de alívio de pressão, atua como um mecanismo de segurança, aliviando o excesso de pressão no caso de falha da válvula reguladora. Para ajustar essa válvula, devemos operar o motor da aeronave e ajustar um parafuso na válvula até que o instrumento de pressão de degelo indique a pressão especificada, na qual a válvula deveria aliviar.

As válvulas de alívio do vácuo estão instaladas em um sistema, que usa uma bomba de vácuo, para manter uma sucção constante durante as variações de velocidade da bomba.

Para ajustar a válvula de alívio do vácuo, o motor deve estar em operação. Enquanto o instrumento de vácuo (sucção), estiver sendo monitorado, um auxiliar deverá ajustar a válvula de alívio da sucção, ajustando o parafuso para obter a correta sucção especificada para o sistema.

Pesquisa de panes

Nem todas as panes que ocorrem em um sistema de degelo podem ser corrigidas pela ajustagem dos componentes dos sistemas.

Alguns problemas podem ser corrigidos pelo reparo ou substituição dos componentes do sistema, ou pelo aperto de conexões frouxas. Várias panes comuns do sistema pneumático de degelo são mostradas na coluna da esquerda, na tabela da Figura 7-7.

Observamos que as causas dos problemas, e o remédio para cada defeito, está listado na tabela.

Além da utilização da tabela de pesquisa de panes, os cheques operacionais são, muitas vezes, necessárias para determinar a possível causa do problema.

Inspeção

Durante cada pré-vôo e inspeção programada, checamos as polainas de degelo quanto a cortes, rupturas, deterioração, furos e segurança; e durante as inspeções periódicas, fazemos e checamos os componentes do sistema de degelo e as tubulações, quanto a rachaduras.

Se, rachaduras causadas pelo tempo, forem encontradas, aplicamos uma camada de cimento condutor.

O circuito, além de selar as polainas contra o tempo, dissipa a eletricidade estática, para que ela não fure as polainas pelo arco formado com as superfícies metálicas.

Manutenção das polainas de degelo

A vida dos degeladores pode ser grandemente estendida, se eles forem estocados quando não estiverem em uso, e pela observaçào das regras a seguir quando estiverem em uso:

1. Não arrastar mangueiras de gasolina sobre os degeladores durante os reabastecimentos.

2. Manter os degeladores livres de gasolina, óleo, graxa, sujeira e outras substâncias que causem deterioração.

3. Não colocar ferramentas ou apoiar equipamentos de manutenção contra os degeladores.

4. Prontamente repare ou faça um recapeamento nos degeladores quando forem notadas abrasão ou deterioração.

5. Embrulhe os degeladores em papel ou lona quando forem estocados.

Assim, foi discutida a manutenção preventiva. O trabalho posterior nos degeladores consiste de limpeza, recapeamento e reparo. A limpeza normalmente é feita ao mesmo tempo em que a aeronave é lavada, usando um sabão neutro dissolvido na água.

Graxa e óleo devem ser removidos com um agente de limpeza, semelhante a nafta, seguindo-se da água com sabão bem esfregados.

Sempre que o grau de desgaste indicar que a condutibilidade elétrica da superfície do degelador está sendo destruída, pode ser necessário recapear o degelador.

O recapeador é uma substância negra, de cimento de neoprene condutor. Antes de aplicar o material recapeador, o degelador deve ser rigorosamente limpo, e a superfície deve ficar áspera.

Reparos a frio podem ser feitos em um degelador danificado.

O degelador deverá estar aliviado da sua tensão de instalação antes da aplicação do remendo.

A área a ser remendada deverá ser limpa camurçada para tornar-se ligeiramente áspera.

Uma desvantagem, de um sistema degelador pneumático, é a perturbação do fluxo de ar sobre a asa e empenagem, causada pelos tubos inflados.

Esta desnecessária função do sistema de polainas degeladoras, tem levado ao desenvolvimento de outros métodos de controle do gelo, um dos quais é o sistema antigelo térmico.

SISTEMAS TÉRMICOS DE ANTIGELO

Os sistemas térmicos usados com a finalidade de evitar a formação de gelo,ou para degelar o bordo de ataque do aerofólio, usualmente usa aquecimento do ar, canalisado ao longo da parte interna do bordo de ataque do aerofólio, e distribuido em volta da sua superfície interna.

Passe	Causa provável	Solução
Instrumento de pressão oscilando	Falhas nas linhas ou conexões.	Repare ou substitua as linhas. Aperte as conexões frouxas.
	Polainas de degelo rasgadas ou furadas.	Repare as polainas danificadas.
	Panes do instrumento.	Substitua o instrumento.
	Falha da válvula de alívio	Ajuste ou substitua a válvula.
	Falha do regulador de ar.	Ajuste ou substitua o regulador.
Instrumento de pressão oscila; pique a uma especificada pressão enquanto o instrumento de vácuo não dá indicação nenhuma.	Válvulas unidirecionais de vácuo mal instaladas.	Reinstale corretamente.
	Válvulas de alívio de vácuo mal ajustadas ou falhando.	Ajuste ou substitua as válvulas como necessário.
	Falhas da linha entre a bomba e o indicador.	Aperte, repare, ou substitua as linhas ou conexões com defeito.
Instrumento de pressão não indica pressão, enquanto indicador de vácuo com leitura normal.	Falha na linha de pressão do instrumento.	Repare ou substitua a linha.
	Falha do indicador de pressão	Substitua o instrumento.
	Falha da válvula de alívio de pressão.	Ajuste ou substitua como necessário.
	Falha do regulador de pressão	Ajuste ou substitua como necessário.
Período cíclico irregular.	Tubulação ou conexões frouxas.	Aperte, repare, ou substitua como necessário.
	Polainas com rupturas ou furos.	Repare as polainas danificadas.
	Falhas do temporizador eletrônico.	Substitua o temporizador.

Figura 7-7 Pesquisa de panes dos sistemas pneumáticos de degelo

Mas, elementos aquecidos eletricamente são também usados para o degelo e o antigelo do bordo de ataque do aerofólio.

Existem diversos métodos usados para fornecer ar aquecido. Neles estão incluídos a sangria do ar quente vindo do compressor de um motor a turbina, ar aquecido por trocadores de calor do escapamento do motor, e ar de impacto aquecido por combustão

Em instalações onde a proteção está prevista pela prevenção da formação de gelo, o ar aquecido é suprido continuamente para o bordo de ataque durante o tempo em que o sistema de antigelo esteja ligado.

Quando um sistema está destinado para degelar bordos de ataque, muitos aquecedores de ar são supridos por pequenos períodos em um sistema cíclico.

O sistema incorporado em algumas aeronaves incluem um controle automático de temperatura.

A temperatura é mantida dentro de uma gama predeterminada pela mistura do ar aquecido com o ar frio.

Um sistema de válvulas está previsto em algumas instalações, para possibilitar, certas partes do sistema de antigelo, de serem desligadas.

No caso de falha de um motor essas válvulas também permitem suprimento para o sistema completo de antigelo, com o ar aquecido vindo de um, ou mais, dos motores remanescentes. Em outras instalações, as válvulas estão dispostas de tal modo que, quando uma porção crítica da asa estiver sendo degelada, o ar aquecido possa ser desviado para uma área menos crítica a fim de eliminar o gelo ali formado. Também, em condições de gelo anormais, o total fluxo de ar pode ser dirigido para as áreas mais críticas.

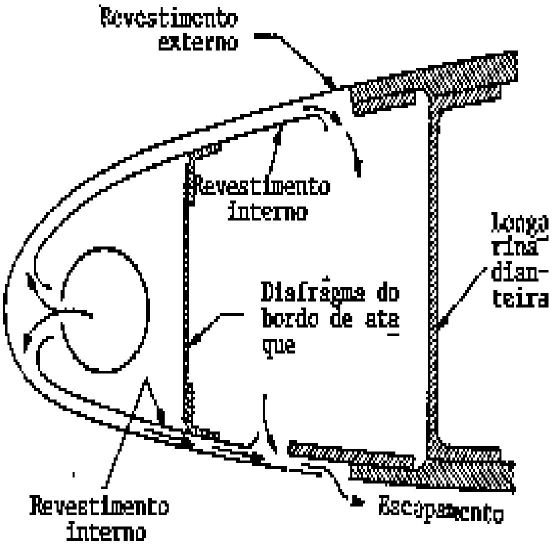


Figura 7-8 Um típico bordo de ataque com aquecimento.

As porções dos aerofólios que devem ser protegidas da formação de gelo são, usualmente providas de um revestimento duplo (Figura 7-8), entre os quais, o ar quente circula. Isto fornece suficiente calor ao revestimento externo para derreter a camada de gelo próximo, ou impedir a sua formação.

O ar, é então, desviado para a atmosfera, pela ponta da asa ou em locais onde a formação de gelo é mais crítica; por exemplo, no bordo de ataque das superfícies de controle.

Quando o ar é aquecido por aquecedores à combustão, usualmente um ou mais aquecedores são previstos para as asas. Um outro aquecedor está localizado na área da empenagem, para permitir ar quente para o bordo de ataque dos estabilizadores vertical e horizontal.

Quando o motor é a fonte de aquecimento, o ar é dirigido para a empenagem através de tubos, os quais são normalmente localizados sob o piso.

Antigelo usando aquecedores à combustão

O sistema de antigelo usando aquecedores à combustão, usualmente possuem um sistema separado para cada asa e empenagem. Um sistema típico deste tipo, tem o necessário número de aquecedores à combustão localizados em cada asa e na empenagem.

Um sistema de tubulações e válvulas controlam o fluxo de ar.

O sistema antigelo é automaticamente controlado por interruptores de superaquecimento, interruptores de ciclagem térmica, um controle de balanceamento e um interruptor de segurança da pressão do tubo principal. Os interruptores de superaquecimento e o de ciclagem, permitem que os aquecedores operem a intervalos periódicos, e eles também interrrompem completamente a operação de aquecimento se ocorrer um superaquecimento.

Uma completa descrição dos aquecedores à combustão e sua operação, é discutida no capítulo 14 (Sistema de ar condicionado e pressurização), deste manual.

O controle de balanceamenteo é usado para manter um aquecimento igual em ambas as asas.

O interruptor de segurança do duto de pressão, interrompe os circuitos de ignição do aquecedor, se a pressão do ar de impacto falhar abaixo de uma especificada quantidade. Isto protege o aquecedor quanto ao superaquecimento, quando a quantidade do ar de impacto que passa por ele não for suficiente.

Um diagrama do fluxo de ar, de um típico sistema de asa e empenagem, usando aquecedores a combustão, está mostrado na Figura 7-9.

Antigelo usando aquecedores a gás da exaustão

O antigelo do bordo de ataque da asa e da empenagem, é efetuado por um fluxo controlado de ar aquecido das camisas, que envolvem o tubo de escapamento de um motor convencional. Em algumas instalações este conjunto é conhecido como “um aumentador de calor”.

Como ilustrado na Figura 7-10, uma aleta ajustável em cada seção traseira do aquecedor pode ser controlada em toda uma gama de posições, desde fechada até aberta. `

Parcialmente fechada, cada aleta restringe o fluxo de ar frio e gases do escapamento. Isto causa o aumento da temperatura na camisa de aquecimento, antes da aleta. Isto proporciona uma fonte de calor para o sistema de antigelo.

Normalmente o ar aquecido, vindo de cada um dos motores, supre o sistema de antigelo do bordo de ataque da mesma seção de asa.

Durante a operação monomotor, um sistema cruzado interconecta os dutos dos bordos de ataque da asa esquerda com os da direita.

Antigelo usando aquecedores a gás da exaustão

O antigelo do bordo de ataque da asa e da empenagem, é efetuado por um fluxo controlado de ar aquecido das camisas, que envolvem o tubo de escapamento de um motor convencional.

Em algumas instalações este conjunto é conhecido como “um aumentador de calor”. Como ilustrado na Figura 7-10, uma aleta ajustável em cada seção traseira do aquecedor pode ser controlada em toda uma gama de posições, desde fechada até aberta.

Parcialmente fechada, cada aleta restringe o fluxo de ar frio e gases do escapamento. Isto causa o aumento da temperatura na camisa de aquecimento, antes da aleta. Isto proporciona uma fonte de calor para o sistema de antigelo.

Normalmente o ar aquecido, vindo de cada um dos motores, supre o sistema de antigelo do bordo de ataque da mesma seção de asa.

Durante a operação monomotor, um sistema cruzado interconecta os dutos dos bordos de ataque da asa esquerda com os da direita. Esse duto suprirá de ar aquecido a seção da asa, que era normalmente suprida pelo motor agora inoperante.

Válvulas unidirecionais no duto de cruzamento evitam o fluxo reverso de ar quente e também evitam a penetração do ar frio que entra pelo sistema de antigelo do motor inoperante.

A Figura 7-11 é um esquema de um típico sistema de antigelo que usa aquecedores a gás da exaustão.

Observamos que, normalmente, o sistema de antigelo da asa e da empenagem é controlado eletricamente pela operação do botão de comando do antigelo ("heat anti-ice").

Quando o botão está na posição desligada ("OFF"), as válvulas da fonte de aquecimento externa e as válvulas do antigelo da empenagem estão fechadas.

Enquanto o sistema de antigelo estiver desligado, as válvulas da fonte de calor interna serão controladas pelo sistema de temperatura da cabine.

Além disso a aleta do aquecedor pode ser controlada pelo interruptor de comando ("augmentor vane switch").

Empurrando o botão de aquecimento do antigelo para a posição "ligado" ("ON"), as válvulas da fonte de aquecimento são abertas, assim como a válvula do antigelo da empenagem. Uma bobina de um solenóide mantém o botão na posição "ligado".

Além disso, os circuitos de controle da aleta do aquecedor são automaticamente armados.

As aletas podem ser fechadas pelo posicionamento do interruptor ("closed"). Isto permite o máximo de calor para o sistema.

Um circuito de segurança, controlado por interruptores de limite termostático (não mostrados), nos dutos do sistema antigelo, soltam o botão de antigelo para a posição desligado ("OFF") sempre que um duto tornar-se superaquecido.

Quando um superaquecimento ocorrer, as válvulas da fonte de calor e a válvula de corte do antigelo da empenagem fecham e a aleta do aquecedor vai para a posição aberta ("trail").

As válvulas da fonte de calor podem ser fechadas manualmente pelo punho de corte manual do aquecimento do antigelo. A operação manual pode ser necessária se os circuitos dos controles elétricos para as válvulas falharem.

Neste sistema, o punho está conectado às válvulas por um sistema de cabos e mecanismo de travamento.

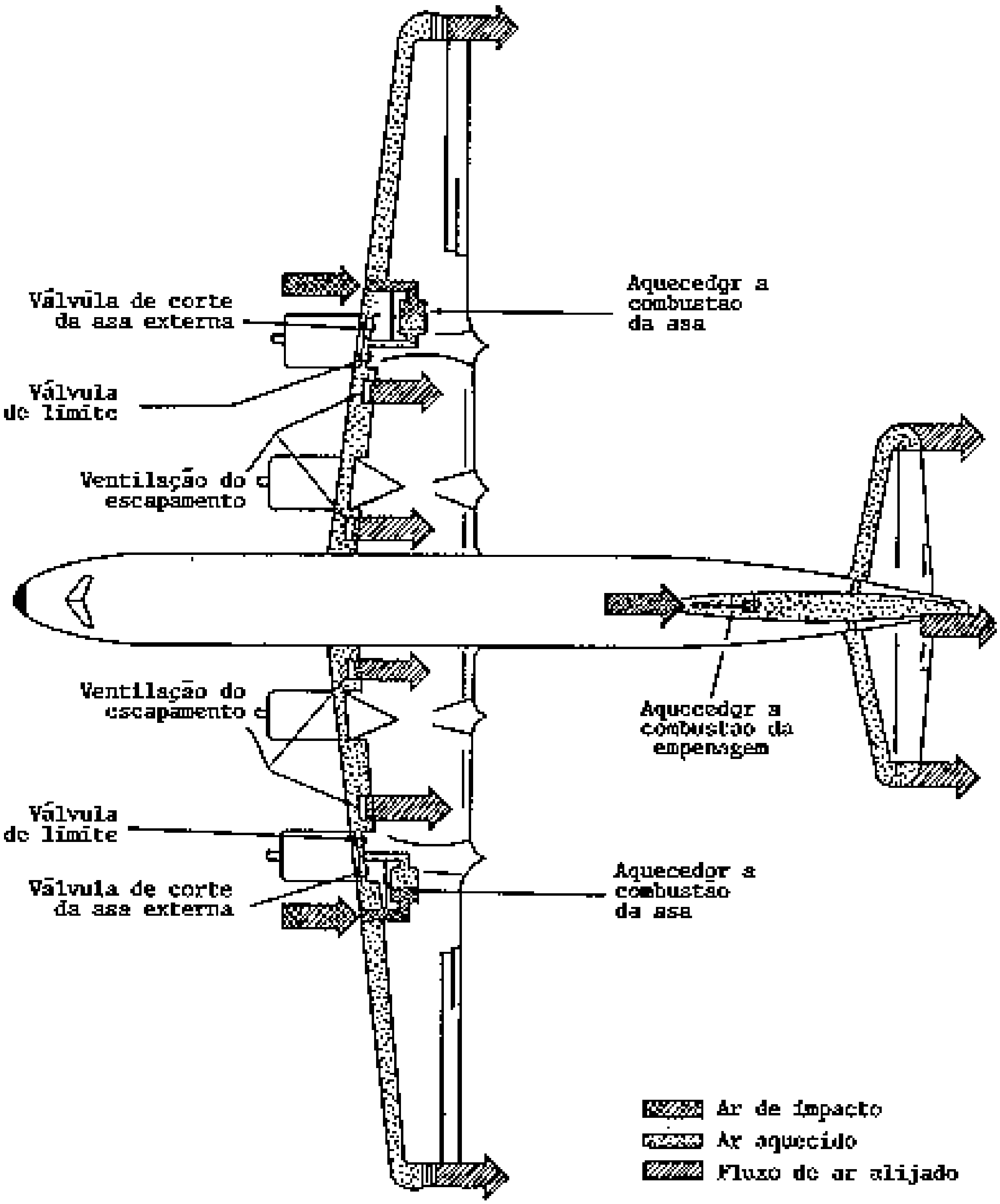

Válvula de corte da asa externa
Válvula de limite
Ventilação do escapamento
Aquecedor a combustao da asa
Ventilação do escapamento
Aquecedor a combustao da empenagem
Válvula de limite
Válvula de corte da asa externa
Aquecedor a combustao da asa
Ar de impacto
Ar aquecido
Fluxo de ar alijado

Figura 7-9 Diagrama do fluxo de ar de um sistema típico de antigelo.

Quando as válvulas da fonte de aquecimento forem operadas manualmente, até que o sistema manual seja rearmado, elas não poderão ser operadas eletricamente.

Antigelo usando o ar de sangria do motor

O ar aquecido para o antigelo é obtido pela sangria de ar do compressor do motor. A razão para o uso desta fonte, é que uma grande quantidade de ar muito quente pode ser retirada do compressor, fornecendo uma satisfatória fonte de calor para o degelo e antigelo. Um típico sistema desse tipo é mostrado na Figura 7-12.

Este sistema está dividido em seis seções. Cada seção inclui (1) uma válvula de corte, (2) um indicador de temperatura, e (3) uma lâmpada de aviso de superaquecimento.

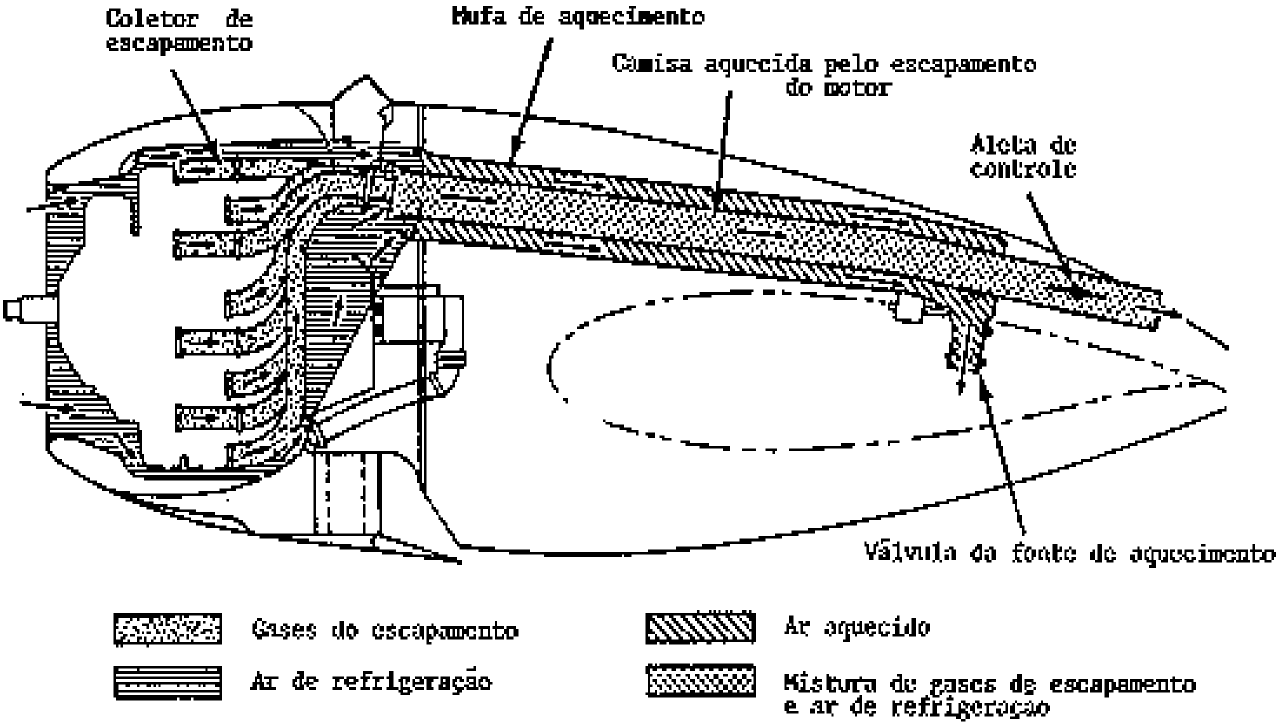

Coletor de escapamento
Mufa de aquecimento
Camisa aquecida pelo escapamento do motor
Aleta de controle
Válvula da fonte de aquecimento
Gases do escapamento
Ar aquecido
Ar de refrigeração
Mistura de gases de escapamento e ar de refrigeração

Figura 7-10 Fonte de calor para o sistema de antigelo.

A válvula de corte para cada seção de antigelo é do tipo reguladora de pressão. A válvula controla o fluxo de ar do sistema de sangria para os ejetores, através de pequenos bicos dentro das câmaras de mistura.

O ar de sangria aquecido é misturado com o ar ambiente. A mistura, a aproximadamente 175º C (350º F), flui através de passagens próximas do revestimento do bordo de ataque.

Cada uma das válvulas de corte é pneumaticamente atuada e eletricamente controlada. Elas atuam para interromper o antigelo e controlar o fluxo de ar, quando o antigelo é necessário.

Um interruptor térmico, conectado ao solenóide de controle da válvula de corte causa o fechamento da válvula e o corte, do fluxo do ar sangrado do compressor quando a temperatura no bordo de ataque atinge aproximadamente 85ºC (185ºF). Quando a temperatura cai, a válvula abre, e o ar quente entra no bordo de ataque.

O indicador de temperatura de cada seção de antigelo está localizado no painel de controle deste.

Cada indicador está conectado a um bulbo de temperatura, do tipo resistência, localizado na área do bordo de ataque.

O bulbo está colocado, de modo a sentir a temperatura do ar na área, atrás do revestimento do bordo de
ataque, mas não do ar quente passado próximo do revestimento.

Sistemas de aviso de superaquecimento estão disponíveis para proteger a estrutura da aeronave contra danos causados pelo excessivo calor.Se o sistema cíclico normal falhar, os sensores de temperatura operarão para abrir o circuito controlando as válvulas de corte de antigelo. As válvulas fecham automaticamente para cortar o fluxo de ar quente.

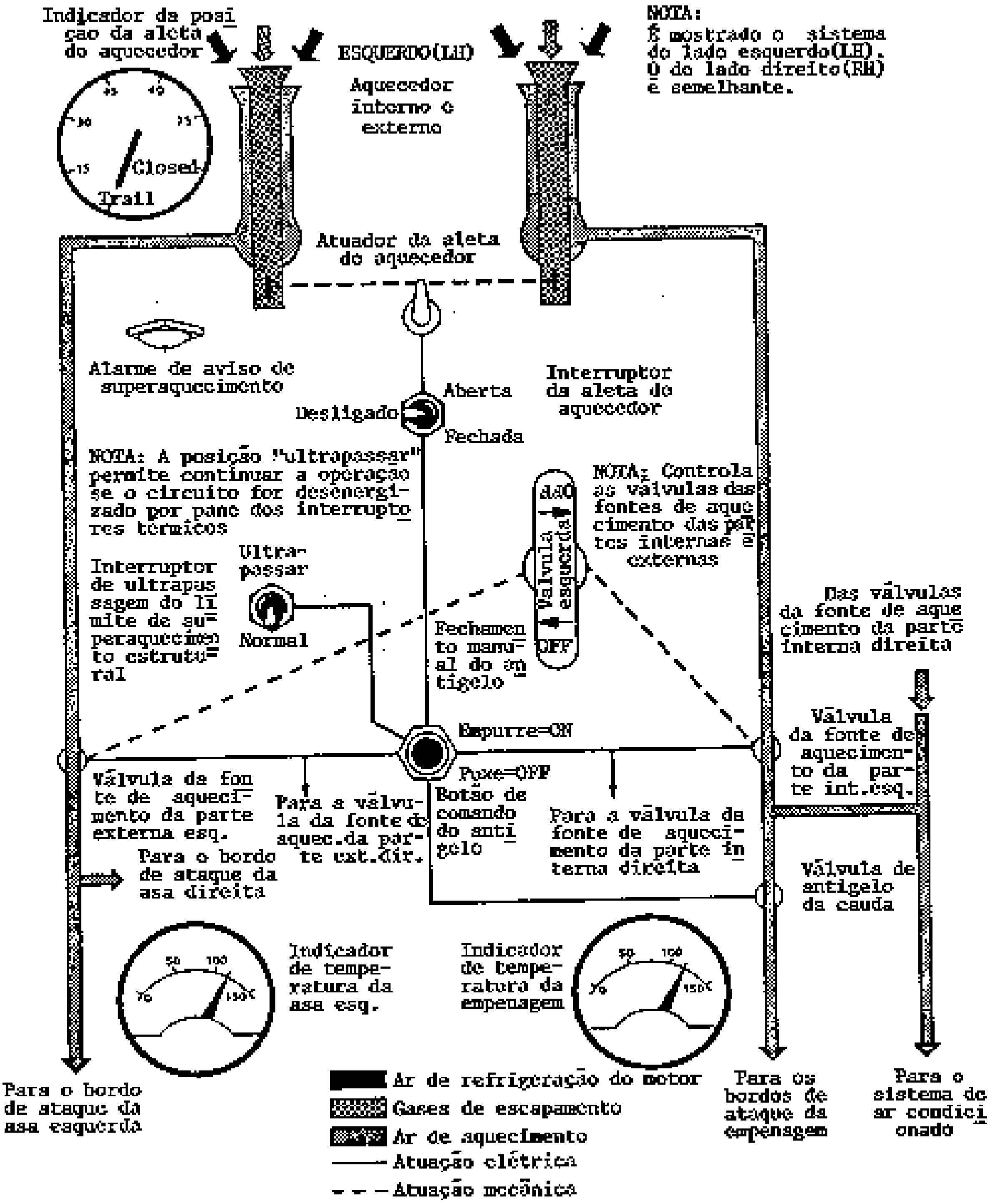

Indicador da posição da aleta do aquecedor
ESQUERDO(LH)
NOTA: É mostrado o sistema do lado esquerdo(LH). O do lado direito(RH) é semelhante.
15
20
25
30
35
40
Closed
Trail
Aquecedor interno e externo
Atuador da aleta do aquecedor
Alarme de aviso de superaquecimento
Aberta
Desligado
Fechada
Interruptor da aleta do aquecedor
NOTA: A posição "ultrapassar" permite continuar a operação se o circuito for desenergizado por pane dos interruptores térmicos
NOTA: Controla as válvulas das fontes de aquecimento das partes internas e externas
AAO
Válvula esquerda
OFF
Ultrapassar
Normal
Interruptor de ultrapassagem do limite de superaquecimento estrutural
Fechamento manual do antigelo
Das válvulas da fonte de aquecimento da parte interna direita
Empurre=ON
Puxe=OFF
Válvula da fonte de aquecimento da parte int.esq.
Válvula da fonte de aquecimento da parte externa esq.
Para a válvula da fonte de aquec.da parte ext.dir.
Botão de comando do antigelo
Para a válvula da fonte de aquecimento da parte interna direita
Para o bordo de ataque da asa direita
Válvula de antigelo da cauda
Indicador de temperatura da asa esq.
Indicador de temperatura da empenagem
50
100
70
150
Para o bordo de ataque da asa esquerda
Para os bordos de ataque da empenagem
Para o sistema de ar condicionado
Ar de refrigeração do motor
Gases de escapamento
Ar de aquecimento
Atuação elétrica
Atuação mecânica

Figura 7-11Esquema de um sistema de antigelo de asa e empenagem.

DUTOS DO SISTEMA PNEUMÁTICO

Os dutos usualmente são feitos de liga de alumínio titânico, aço inoxidável ou tubos moldados em fibra de vidro. As seções de tubos, ou dutos, são fixadas umas nas outras por flanges aparafusados ou por braçadeiras. Os tubos são envolvidos com um material isolante de calor e resistente ao fogo, semelhante à fibra de vidro. Em algumas instalações, a tubulação é intercalada com foles de expansão. Esses foles estão localizados em posições estratégicas para absorver alguma distorção ou expansão dos dutos que podem ocorrer devido as variações da temperatura. As uniões das seções dos dutos são hermeticamente seladas por anéis de vedação.

Esses selos de vedação são fixados em recessos anulares nas faces de junção dos dutos.

Quando estamos instalando uma seção de tubo, devemos nos certificar de que o selo está devidamente instalado, de encontro, e comprimido pelo flange da junta.

Quando especificado, os tubos deverão ser testados quanto à resistência da pressão, recomendada pelo fabricante da aeronave.

O teste de pressão é particularmente importante com a aeronave pressurizada, tendo em vista que um vazamento na tubulação pode resultar na impossibilidade de manter a pressão da cabine.

Porém, esses testes são feitos mais frequentemente para detectar defeitos no duto, os quais permitirão o escape de ar quente.

A razão do vazamento, a uma determinada pressão, não deverá exceder as recomendações do manual de serviços ou de manutenção da aeronave.

Os vazamentos de ar, muitas vezes podem ser detectados por orifícios no revestimento ou no material isolante térmico. Porém, se forem encontradas dificuldades em localizar os vazamentos, uma solução de água com sabão poderá ser usada.

Todas as tubulações deverão ser inspecionadas quanto a segurança, condições gerais ou distorções.

O revestimento ou camada isolante deve ser checado quanto a segurança; e deve estar livre de produtos inflamáveis como óleo ou fluido hidráulico.

DEGELO DA AERONAVE NO SOLO

A presença de gelo em uma aeronave pode ser o resultado da direta precipitação, formação de geada nos tanques integrais de combustível após um vôo prolongado a grande altitude, ou, acúmulos no trem de pouso após o táxi sobre neve ou lama.

Algum depósito de neve, gelo, ou geada, nas superfícies externas de uma aeronave, podem afetar drasticamente seu desempenho.

Isto pode ser devido a redução da sustentação aerodinâmica e o aumento do arrasto aerodinâmico, resultante de um perturbado fluxo de ar sobre a superfície do aerofólio; ou pode ser devido ao peso do depósito sobre a aeronave por inteiro.

A operação de uma aeronave pode também ser afetada seriamente pelo congelamento de umidade nos controles, articulações, válvulas, microinterrruptores, ou pela ingestão de gelo pelo motor.

Quando a aeronave está no hangar para remoção da neve ou da geada, alguma neve ou gelo derretidos podem congelar outra vez, se a aeronave for movimentada subsequentemente em temperatura abaixo de zero graus. Algumas medidas tomadas, para remover depósitos congelados enquanto a aeronave estiver no solo, devem também evitar a possibilidade do recongelamento do líquido.

Remoção de geada

Depósitos de geada podem ser removidos pela colocação da aeronave em um hangar aquecido, ou usando um removedor de geada ou fluido degelador.

Esses fluidos normalmente contêm etileno glicol e álcool isopropílico, e podem ser aplicados tanto por borrifadores como com a mão.

Ele deverá ser aplicado dentro de 2 horas do vôo.Fluidos degeladores podem afetar as janelas ou o acabamento externo da aeronave. Portanto, somente o tipo de fluido recomendado pelo fabricante da aeronave deverá ser usado.

Remoção de depósitos de neve e gelo

Provavelmente, o depósito mais difícil de ser removido é a neve úmida, quando a temperatura ambiente está ligeiramente acima do ponto de congelamento. Esse tipo de depósito deverá ser removido com uma escova ou rodo.

Devemos ter cuidado para evitar danos nas antenas, suspiros, mecanismos de aviso de estol, gerandores de vortex, etc. os quais podem estar ocultos pela neve.

Neve seca e leve, em temperatura abaixo de zero, deverá ser removida com jato de ar sempre que possível; o uso de ar quente não é recomendado porque ele derrete a neve, que logo depois se congela, requerendo posterior tratamento.Gelo moderado ou pesado, e depósito de neve residual, deverão ser removidos com um fluido antigelo.

Nenhuma tentativa para remover depósitos de gelo ou quebrar um gelo grudado, usando a força, deve ser feita.

Após completar as operações de degelo, inspecionamos a aeronave para nos certificarmos de que as condições são satisfatórias para o vôo..

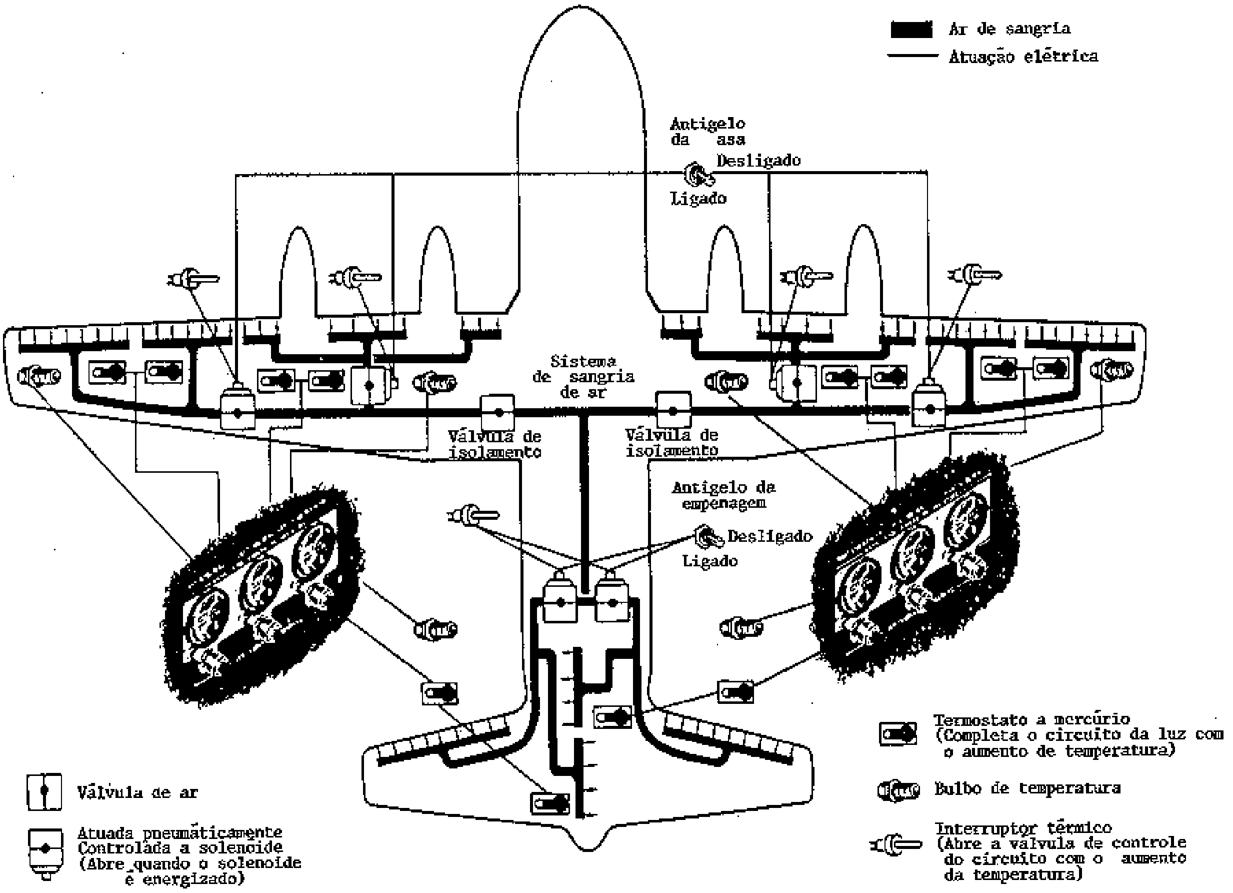

Ar de sangria
Atuação elétrica
Antigelo da asa
Desligado
Ligado
Sistema de sangria de ar
Válvula de isolamento
Válvula de isolamento
Antigelo da empenagem
Desligado
Ligado
Termostato a mercúrio (Completa o circuito da luz com o aumento de temperatura)
Bulbo de temperatura
Interruptor térmico (Abre a válvula de controle do circuito com o aumento da temperatura)
Válvula de ar
Atuada pneumaticamente Controlada a solenoide (Abre quando o solenoide é energizado)

Figura 7-12 Esquema de um sistema típico de antigelo térmico.

Todas as superfícies externas deverão ser examinadas por sinais de resíduos de neve ou gelo, particularmente nas vizinhanças das superfícies de comando, nos espaços entre as superfícies e nas articulações. Checamos o dreno e os sensores de pressão quanto à obstrução dos orifícios. Quando se tornar necessário remover fisicamente uma camada de neve, todas as protuberâncias e suspiros deverão ser examinados por sinais de danos.

As superfícies de controle devem ser movimentadas para nos certificarmos de que elas têm livre e total movimento. O mecanismo do trem de pouso, portas e alojamento das rodas, e freios das rodas, deverão ser inspecionados por depósitos de neve ou gelo; e a operação da trava do trem de pouso em cima, e os microinterruptores, devem ser checados.

Neve ou gelo podem entrar nas entradas de ar dos motores à turbina e congelar no compressor. Se o compressor não girar com a mão, por esta razão, o ar quente deverá ser dirigido à entrada do motor, até que as partes giratórias estejam livres.

SISTEMAS DE CONTROLE DO GELO DO PARA-BRISAS

Com a finalidade de manter as áreas das janelas livres de gelo, geada, etc. são usados sistemas de antigelo, degelo, contra geada e nevoeiro das janelas. O sistema varia de acordo com o tipo de aeronave e do fabricante. Alguns para-brisas são fabricados com painéis duplos, havendo um espaço entre eles que permite a circulação de ar aquecido entre as superfícies, para controlar a formação de gelo e de névoa. Outros utilizam limpadores mecânicos e fluido antigelo borrifado no para-brisas.

Um dos mais comuns métodos para controlar a formação de gelo e névoa nas janelas das modernas aeronaves, é o uso de um elemento de aquecimento elétrico entre as lâminas do material da janela. Quando esse método é usado em aeronaves pressurizadas, uma camada de vidro temperado dá resistência para suportar a pressurização. Uma camada de material condutor transparente (óxide stannic) é o elemento de aquecimento, e uma camada de plastico vinil transparente adiciona uma qualidade de não estilhaçamento à janela.

As placas de vinil e de vidro (Figura 7-13) estão coladas pela aplicação de pressão e calor. A união é obtida sem o uso de cimento devido a afinidade natural do vinil e do vidro. A camada condutiva dissipa a eletricidade estática do pára-brisas, além de fornecer o elemento de aquecimento.

Em algumas aeronaves, interruptores termoelétricos, automaticamente ligam o sistema quando a temperatura do ar está baixa o suficiente para ocorrer formação de geada ou gelo. O sistema pode manter-se ligado durante todo o tempo em que se mantiver essa temperatura; ou em algumas aeronaves, ela pode operar com um dispositivo pulsativo de liga-desliga.

Interruptores térmicos de superaquecimento, automaticamente desligam o sistema no caso de uma condição de superaquecimento, a qual danificaria a transparência da área.

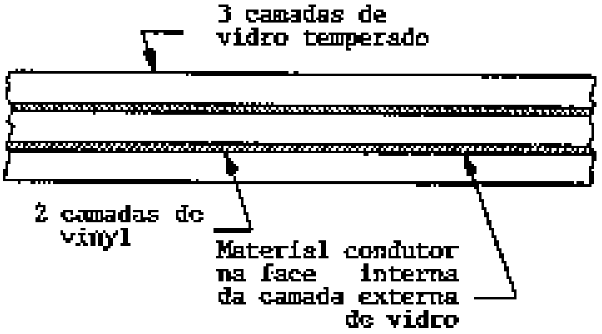

3 camadas de vidro temperado
2 camadas do vinyl
Material condutor na face interna da camada externa do vidro

Figura 7-13 Secção de um pára-brisas.

Um sistema de aquecimento elétrico do pára-brisas inclui o seguinte:

1) Pára-brisas autotransformadores e relés de contole de aquecimeto.

2) Interruptor de mola de controle de aquecimento.

3) Luzes de indicação.
4) Unidades de controle do pára-brisas.
5) Elementos sensores de temperatura (termistores) laminados no painel.

Um sistema típico é mostrado na Figura 7-14. O sistema recebe energia elétrica das barras de 115 volts C.A. através dos disjuntores ("circuit breakers") de controle do aquecimento do pára-brisas, e quando o interruptor de controle for selecionado para "High", 115 V., 400 Hz C.A., são supridos para os amplificadores da esquerda e da direta na unidade de controle do pára-brisas. O relé de controle de aquecimento do pára-brisas é energizado, aplicando por este meio 200 V., 400Hz C.A. para os autotransformadores de aquecimento do pára-brisas.

Esses autotransformadores fornecem 218V., C.A. para a barra coletora da corrente de aquecimento do pára-brisa através dos relés da unidade de controle. O elemento sensor em cada pára-brisas possui um resistor com o coeficiente térmico positivo, e forma uma das pernas de um circuito de ponte.

Quando a temperatura do pára-brisas estiver acima do valor calibrado, o elemento sensor terá um valor de resistência maior do que o necessário para equilibrar a ponte. Isto diminui o fluxo de corrente através dos amplificadores, e os relés da unidade de controle são desenergizados. Quando a temperatura do pára-brisas diminui, o valor da resistência dos elementos sensores também diminui e a corrente, através dos amplificadores, atingirão novamente suficiente magnitude para operar os relés na unidade de controle, energizando então, os aquecedores do pára-brisas.

Quando o interruptor de controle do aquecimento do pára-brisas estiver selecionado para "Low", 115 volts, 400 Hz C..A. são supridos para os amplificadores esquerdo e direito na unidade de controle e para os autotransformadores de aquecimento do pára-brisas. Nestas condições, os transformadores fornecem 121 V. C.A. para a barra coletora de corrente de aquecimento do pára-brisas através dos relés da unidade de controle.

Os elementos sensores no pára-brisas operam da mesma maneira como foi descrito para a operação de grande aquecimento ("High-heat"), para manter um adequado controle de temperatura no pára-brisas.

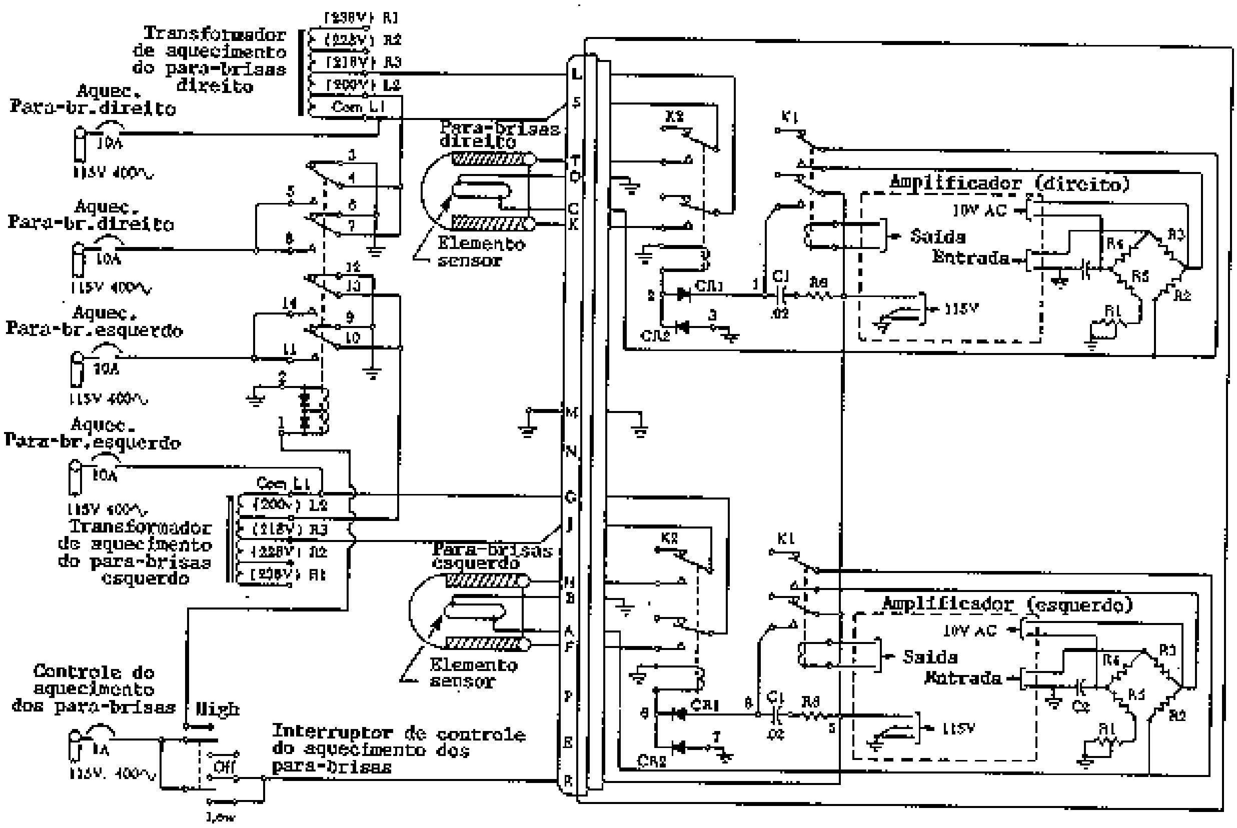

Transformador de aquecimento do para-brisas direito
(230V) R1
(225V) R2
(218V) R3
(200V) L2
Com L1
Aquec. Para-br.direito
10A
115V 400~
Aquec. Para-br.direito
10A
115V 400~
Aquec. Para-br.esquerdo
10A
115V 400~
Aquec. Para-br.esquerdo
10A
115V 400~
Transformador de aquecimento do para-brisas esquerdo
Com L1
(200~) L2
(218V) R3
(228V) R2
(230V) R1
Controle do aquecimento dos para-brisas
High
Off
Low
1A
115V. 400~
Interruptor de controle do aquecimento dos para-brisas
Para-brisas direito
Elemento sensor
Para-brisas esquerdo
Elemento sensor
L
S
T
D
C
K
M
N
G
J
H
B
A
F
P
E
R
K2
K1
Amplificador (direito)
10V AC
Saída
Entrada
R1
R2
R3
R4
R5
C1
C2
R6
CR1
CR2
.02
115V
Amplificador (esquerdo)
10V AC
Saída
Entrada
115V

Figura 7-14 Circuito de controle de temperatura do pára-brisas.

A unidade de controle de temperatura contém dois relés hermeticamente selados, e dois amplificadores eletrônicos de três estágios. A unidade está calibrada para manter uma temperatura no pára-brisas de 40º a 49º C. (105º a 120ºF). O elemento sensor em cada painel do pára-brisas possui um resistor com o coeficiente térmico positivo e forma uma das pernas de uma ponte que controla o fluxo da corrente nos amplificadores associados. O estágio final do amplificador controla o relé selado, o qual fornece corrente alterado para a barra coletora da corrente de aquecimento do pára-brisas.

Quando a temperatura do pára-brisas estiver acima do valor calibrado, o elemento sensor terá um valor de resistência maior do que o necessário para equilibrar a ponte . Isto diminui o fluxo de corrente através dos amplificadores, e os relés da unidade de controle são desenergizados.

Quando a temperatura do pára-brisas diminui, o valor da resistência dos elementos sensores também diminui, e a corrente, através dos amplificadores, atinge suficiente magnitude para operar os relés na unidade de controle, energizando então o circuito.

Existem vários problemas associados com os aquecedores elétricos de pára-brisas. Eles incluem a delaminação, rachaduras centelhamento e descoloração.

A delaminação (separação dos painéis), embora indesejável, não é estruturalmente prejudicial, desde que esteja dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante da aeronave, e não esteja em uma área que afete as qualidades óticas do painel. O centelhamento em um painel de pára-brisas, usualmente indica que houve uma quebra da película condutora.

Onde lascas ou diminutas rechaduras são formadas, na superfície dos painéis de vidro, simultâneas folgas na compressão da superfície e esforço de tensão no vidro altamente temperado, podem resultar em rachaduras nas bordas e ligeiras separações na película condutora. O centelhamento é produzido onde a corrente salta esta falha, particularmente onde essas rachaduras estão paralelas às barras da janela.

Onde há centelhamentos, eles estão invariavelmente a certa distância de um local superaquecido, o qual, dependendo da sua severidade e localização, pode causar posterior dano ao painel.

Centelhamento nas proximidades de um elemento sensor de temperatura é um particular problema, pois ele pode prejudicar o sistema de controle do aquecimento.

Pára-brisas eletricamente aquecidos são transparentes para a transmissão direta da luz, mas eles têm uma cor distinta quando vistos pela luz refletida.

A cor varia do azul-claro ao amarelo, ou rosa claro, dependendo do fabricante do painel da janela. Normalmente, a descoloração não é um problema, a menos que afete as qualidades óticas.

Rachaduras no pára-brisas são mais constantes no vidro externo onde os limpadores são indiretamente a causa desses problemas. Alguma areia presa na palheta do limpador, pode converter-se em um eficiente cortador de vidro quando em movimento.

A melhor solução contra arranhões no pára-brisas é a prevenção; limpar as palhetas do limpador de pára-brisas tão frequentemente quanto possível. Incidentalmente os limpadores nunca deverão ser operados com o painel seco, porque isso aumenta as chances de danificar a superfície.

Se a visibilidade não estiver sendo afetada, arranhões ou cortes nos painéis de vidro são permitidos, dentro das limitações previstas nos apropriados manuais de serviço ou de manutenção.

A tentativa de aumentar a visibilidade por meio de polimento nos cortes e arranhões não é recomendável. Isto é por causa da imprevisível natureza das concentrações de esforço residual, que o vidro temperado adquiriu durante a fabricação.

O vidro temperado é mais forte do que o vidro comum, devido ao esforço de compressão na superfície do vidro, o qual tem que ser superado antes que a falha possa ocorrer do esforço de tensão no seu interior.

O polimento que remove uma apreciável camada da superfície pode destruir este equilíbrio do esforço interno, e pode até resultar em uma imediata falha do vidro.

A determinação da profundidade dos arranhões sempre tem causado algumas dificuldades. Um micrômetro ótico pode ser usado para esta finalidade.

Ele é essencialmente um microscópio suportado por pequenas pernas, ao contrário do tipo familiar montado em uma base sólida. Quando focalizado em algum ponto, a distância focal da lente (distância da lente ao objeto) pode ser lida em uma escala micrométrica do instrumento.

A profundidade de um arranhão ou fissura no painel do pára-brisas, por exemplo, pode então ser determinada pelo obtenção da distância focal para a superfície do vidro e para o fundo do arranhão ou fissura.

A diferença entre essas duas leituras dará a profundidade do arranhão. O micrômetro ótico pode ser usado na superfície de painéis planos, convexos ou côncavos, estando eles instalados ou não na aeronave.

Sistema de descongelamento das janelas

O sistema de descongelamento das janelas direciona o ar, aquecido do sistema de aquecimento da cabine (ou de um aquecedor auxiliar, dependendo da aeronave), para o pára-brisas do piloto e do co-piloto, e das janelas laterais por meio de uma série de tubos e saídas.

Em tempo quente, quando o ar aquecido não é necessário para o descongelamento, o sistema pode ser usado para desembaçar as janelas. Isto é feito, ventilando ar ambiente nas janelas, usando o sistema de ventilação.

Sistemas de degelo a álcool no pára-brisas e no carburador

Um sistema de degelo a álcool é previsto em algumas aeronaves para remover o gelo do pára-brisas e do carburador.

A Figura 7-15 ilustra um sistema típico de um bimotor, no qual três bombas de degelo (uma para cada carburador e uma para o pára-brisas) são usadas.

O fluido, vindo do tanque de álcool, é controlado por uma válvula solenóide a qual é energizada quando alguma das bombas de álcool está ligada.

O fluxo de álcool da válvula solenóide é filtrado e dirigido para as bombas e daí distribuído através de um sistema de tubulações para os carburadores e pára-brisas.

Interruptores de mola controlam a operação das bombas de álcool para o carburador.

Quando os interruptores são colocados na posição "ON", as bombas de álcool são ligadas e a válvula de corte, operada a solenóide, é aberta.

A operação da bomba de degelo do pára-brisas e da válvula de corte do álcool, operada a solenóide, são controladas por um interruptor tipo reostato, localizado na estação do piloto.

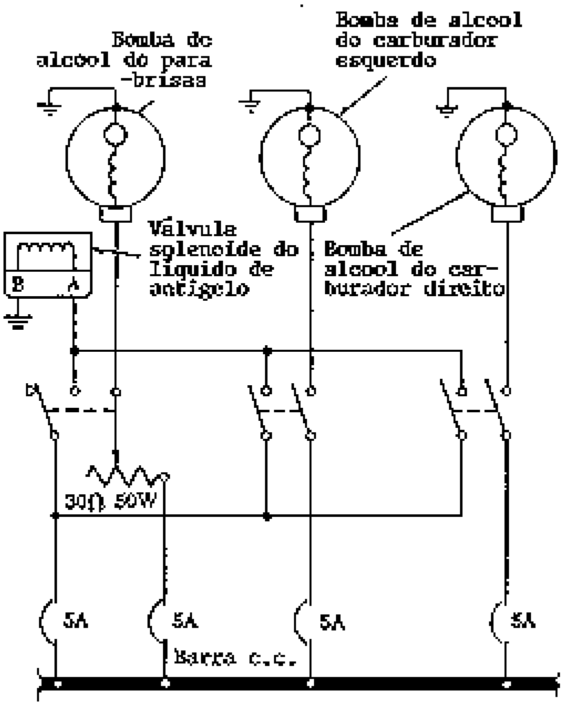

Bomba do alcool do para -brisas
Bomba de alcool do carburador esquerdo
Válvula solenoide do liquido de antigelo
Bomba de alcool do carburador direito
B
A
30Ω 50W
5A
5A
5A
5A
Barra c.c.

Figura 7-15 Sistema de degelo do carburador e do pára-brisas.

Quando o reostato é movido para fora da posição "OFF", a válvula de corte é aberta, fazendo com que a bomba de álcool leve o fluido para o pára-brisas na razão selecionada pelo reostato.

Quando o reostato é retornado para a posição "OFF", a válvula de corte fecha e a bomba interrompe a operação.

Antigelo do tubo de pitot

Para evitar a formação de gelo sobre a abertura do tubo de pitot, está previsto um elemento de aquecimento elétrico embutido. Um interruptor localizado na cabine, controla a energia para o aquecimento.

Precisamos de cautela para checar o tubo de pitot no solo, porque o aquecedor não deve ser operado por longos períodos, a menos que a aeronave esteja em vôo. Informações adicionais, referentes ao tubo de pitot são encontradas no capítulo 12 (Instrumentos) deste livro.

Os elementos de aquecimento deverão ser checados quanto ao funcionamento, para assegurar que a cabeça do pitot começa a aquecer, quando a energia elétrica é aplicada.

Se um ohmímetro (medidor de carga) for instalado no circuito, a operação do aquecedor pode ser verificada pela indicação de consumo de corrente quando o aquecedor for ligado.

AQUECEDORES DE DRENOS DO LAVATÓRIO E DA ÁGUA

Aquecedores estão previstos para as linhas de dreno do lavatório, linhas de água, mastros de dreno e drenos de água servida, quando estão localizados em uma área que está sujeita a temperaturas de congelamento em vôo. Os tipos de aquecedores usados são: tubos aquecidos integralmente, tiras, forro, remendos aquecedores que envolvem as linhas e gaxetas aquecedoras (ver na Figura 7-16). Nos circuitos aquecedores estão previstos termostatos onde for indesejável excessivo aquecimento ou para reduzir o consumo. Os aquecedores têm uma baixa voltagem de saída e uma operação contínua não causará superaquecimento.

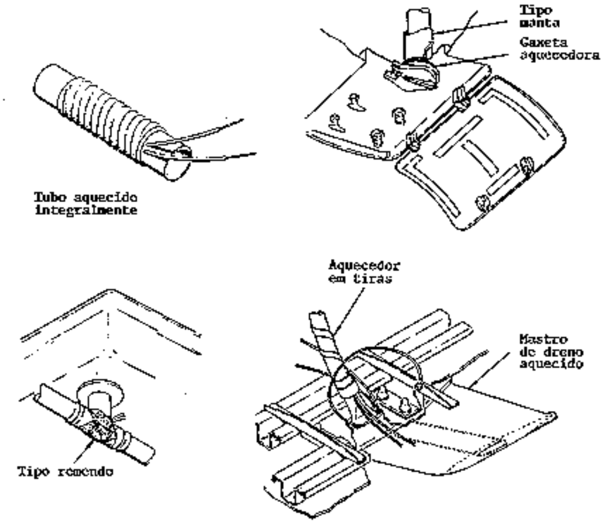

Tipo manta
Gaxeta aquecedora
Tubo aquecido integralmente
Aquecedor em tiras
Mastro de dreno aquecido
Tipo remendo

Figura 7-16 Aquecedores típicos de linhas de água e de dreno.

SISTEMAS DE ELIMINAÇÃO DOS EFEITOS DA CHUVA

Quando se forma um acúmulo de chuva no pára-brisas durante o vôo, ele torna-se um perigo que deve ser eliminado.

Para proporcionar um pára-brisas limpo, os efeitos da chuva são eliminados, limpando ou assoprando a água para fora do pára-brisas. Um terceiro método de remoção envolve a aplicação de repelentes de chuva. A chuva é assoprada do pára-brisas de algumas aeronaves por jatos de ar de bicos, localizados abaixo do pára-brisas. Em outras aeronaves, limpadores de pára-brisas são usados para eliminar os efeitos da chuva. Eles executam as mesmas funções daqueles de um automóvel. Em cada um dos casos, lâminas de borracha limpam através do pára-brisas para remover a água da chuva e a lama de gelo.

Sistemas elétricos limpadores de pára-brisas

Em um sistema elétrico, limpador de pára-brisas, as palhetas limpadoras são giradas por um ou mais motores, que recebem energia do sistema elétrico da aeronave. Em algumas aeronaves, os limpadores de pára-brisas do piloto e o do co-piloto são operados por sistemas separados, para assegurar que será mantida uma boa visão em uma das partes do pára-brisas se um dos sistemas falhar.

A Figura 7-17 mostra uma típica instalação elétrica de limpador de pára-brisas.

Um limpador operado eletricamente está instalado em cada painel do pára-brisas. Cada limpador é girado por um conjunto motor-conversor. Os conversores mudam o movimento rotativo do motor para um movimento alternado, para operar os braços de comando. Um eixo do conjunto fornece os meios de fixação do braço de comando.

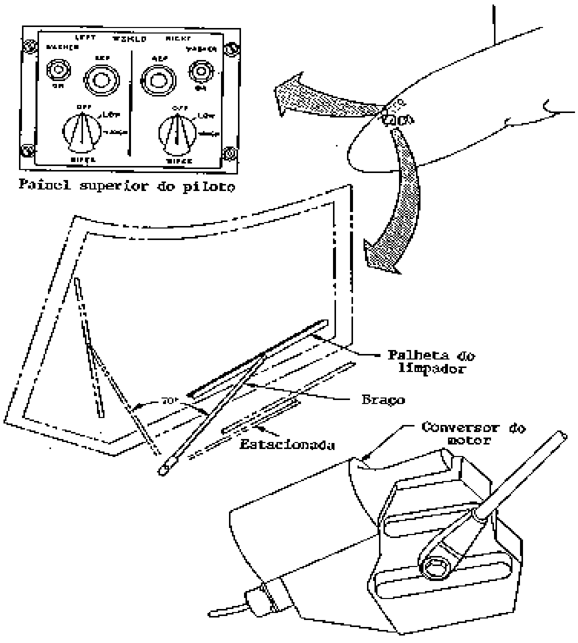


Figura 7-17 Sistema elétrico de limpador de pára-brisas.

O limpador de pára-brisas é controlado pela seleção do interruptor de controle, para a velocidade desejada. Quando a posição "HIGH" é selecionada (Figura 7-18), os relés 1 e 2 são energizados. Com ambos os relés energizados, o campo 1 e o campo 2 são energizados em paralelo.

O circuito é completado e o motor opera a uma velocidade aproximada de 250 golpes por minuto. Quando a posição "LOW" é selecionada, o relé 1 é energizado. Isto faz com que o campo 1 e o 2 sejam energizados em série. O motor, então, opera a aproximadamente 160 golpes por minuto. Selecionando o interruptor para a posição "OFF", ele permite aos contatos do relé retornarem às suas posições normais. No entanto, o motor do limpador continua a girar até que o braço de comando atinja a posição "PARK". Quando ambos os relés estiverem abertos e o interruptor "PARK" estiver fechado, a excitação do motor será revertida. Isto causa o movimento do limpador fora da borda inferior do pára-brisas, abrindo o interruptor de parqueamento, operado por ressalto. Isto desenergiza o motor e solta o solenóide do freio e assegura de que o motor não deslizará, tornando a fechar o interruptor de parqueamento.

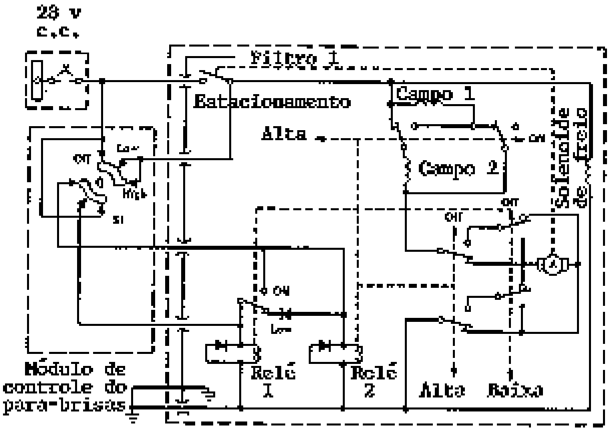


Figura 7-18 Circuito do limpador de pára-brisas.

Sistemas hidráulicos limpadores de pára-brisas

Os limpadores de pára-brisas hidráulicos são girados por pressão, vinda do sistema hidráulico principal da aeronave.

A Figura 7-19 mostra os componentes representando um sistema limpador de pára-brisas hidraulicamente comandado.

A válvula de controle da velocidade é usada para dar partida, parar e controlar a velocidade de operação do limpador de pára-brisas. A válvula de controle da velocidade é do tipo restritora variável.

Girando o punho desta válvula no sentido contrário dos ponteiros do relógio, aumenta o tamanho da abertura para o fluido, e o fluxo do fluido para a unidade de controle, e portanto a velocidade do limpador de pára-brisas.

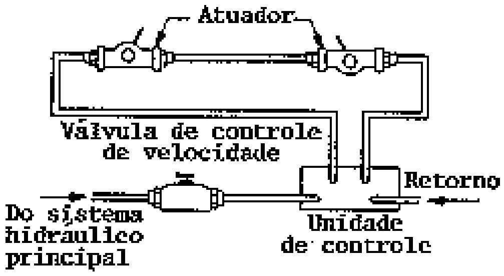

Atuador
Válvula de controle de velocidade
Retorno
Do sistema hidráulico principal
Unidade de controle

Figura 7-19 Esquema de limpador de pára-brisas hidráulico.

A unidade de controle direciona o fluxo do fluido hidráulico para o atuador do limpador, e retorna o fluido descarregado dos atuadores para o sistema hidráulico principal.

A unidade de controle também alterna a direção do fluxo de fluido hidráulico para cada um dos dois atuadores do limpador, os quais convertem energia hidráulica em movimento recíproco, para movimentar os braços dos limpadores para a esquerda e para a direita.

A Figura 7-20 mostra a construção e as tubulações dos atuadores.

Devemos observar que cada atuador consiste de uma carcaça com duas aberturas, um pistão cremalheira e uma engrenagem pinhão.

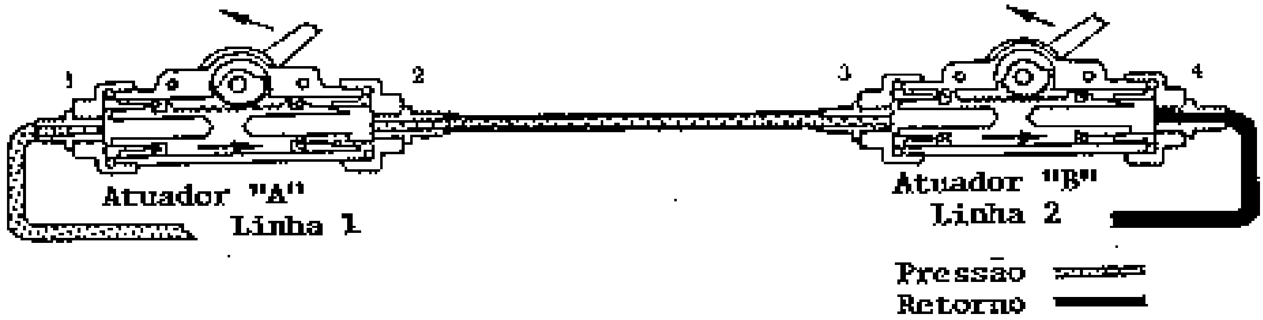


Figura 7-20 Atuadores do limpador de pára-brisas.

Os dentes do pinhão engrazam com os da cremalheira do pistão. Assim, sempre que o fluido pressurizado entrar no atuador e mover o pistão, o pinhão será girado uma fração de uma volta. Como o pinhão está conectado à palheta do limpador através de um eixo, a palheta gira através de uma arco.

Observamos que uma linha da unidade de controle está conectada na abertura número 1 do atuador "A", enquanto a outra linha está conectada na abertura 4 do atuador "B".

Observamos também, que uma linha conecta a abertura 2 com a 3 dos atuadores.

A válvula de controle de velocidade, ao ser ligada, dirige um fluxo de fluido do sistema hidráulico principal para dentro da unidade de controle, a qual dirige a pressão primeiro dentro de uma linha e depois na outra.

Quando a linha número 1 estiver sob pressão, o fluxo de fluido passará pela abertura 1 e penetrará na câmara da esquerda do atuador "A".

Isto movimenta o pistão cremalheira para a direita, fazendo com que o pinhão e o braço de comando, girem no sentido contrário dos ponteiros do relógio, formando um arco.

Quando o pistão cremalheira se move para a direita, força o fluido da câmara da direita do atuador "A" a sair pela abertura 2, e através da linha de conexões e abertura 3, penetrar no atuador "B". Isto faz com que o pistão cremalheira do atuador "B" se mova para a direita, girando o pinhão e o braço de atuação no sentido contrário dos ponteiros do relógio.

Quando o pistão cremalheira se move para a direita, ele força o fluido da câmara direita do atuador "B" a sair pela abertura 4, entrando na linha 2, e através da unidade de controle, passar para a linha de retorno do sistema hidráulico principal. Quando a linha número 2 estiver pressurizada pelo fluido da unidade de controle, o fluxo do fluido e a ação dos atuadores será revertida.

Sistema pneumático de remoção de chuva

Os limpadores de pára-brisas, caracteristicamente têm problemas em duas áreas básicas. Uma delas, é a tendência das forças aerodinâmicas do fluxo de ar reduzirem a carga de pressão do limpador de pára-brisas no painel, causando deficiente limpeza ou mantendo estrias de água. A outra é a de atingir a rápida e suficiente oscilação da palheta, para uma satisfatória operação sob forte precipitação de chuva, durante um forte temporal. Como resultado, a maioria dos sistemas de limpadores de pára-brisas falham para permitir uma visão satisfatória durante tempestades.

Com o advento das aeronaves com motores a turbina, o sistema pneumático de remoção de chuva torna-se praticável. Este método utiliza a alta pressão e alta temperatura do ar sangrado do compressor do motor, em jatos sobre o pára-brisas (Figura 7-21). As rajadas de ar formam uma barreira que evita que os pingos da chuva toquem a superfície do pára-brisas.

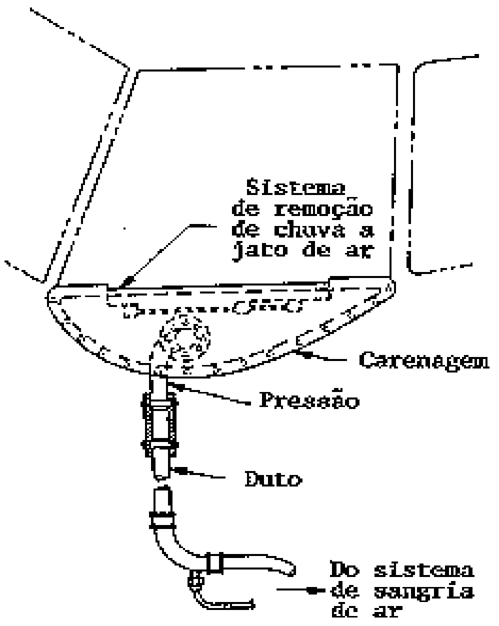

Sistema de remoção de chuva a jato de ar
Carenagem
Pressão
Duto
Do sistema de sangria de ar

Figura 7-21 Sistema pneumático de remoção de chuva.

Repelente de chuva de pára-brisas

Quando a água é derramada sobre um vidro limpo, ela espalha-se uniformemente. Quando o vidro é mantido em uma posição angular, ou sujeito à velocidade do ar, o vidro permanece molhado por uma fina camada de água.

Mas, quando o vidro é tratado com certos produtos químicos, uma fina camada é formada, fazendo com que a água fique de maneira muito semelhante a do mercúrio no vidro. A água escorre em gotas, as quais cobrem apenas uma parte do vidro, e a área entre os fios de gotas é seca. A água é facilmente removida do vidro. Este princípio por si só e naturalmente, remove a água da chuva dos pára-brisas das aeronaves. A alta velocidade do fluxo de ar remove as gotas da água, mantendo seca uma grande parte do painel do pára-brisas.

Um sistema repelente de chuva permite a aplicação de repelentes químicos, por meio de um interruptor ou botão na cabine. A quantidade adequada de repelente é de acordo com o tempo de acionamento do comando. O repelente é adquirido em embalagens pressurizadas e descartáveis, que são atarrachadas no sistema da aeronave e possuem a própria força propelente para aplicação. Atuando o interruptor de controle abre-se uma válvula solenóide eletricamente operada, que permite ao fluxo, sair para os bicos pulverizadores. O líquido repelente é borrifado sobre a parte externa do pára-brisas, e utiliza a própria chuva como um agente transportador para distribuir o produto químico sobre a superfície do pára-brisas.

O sistema repelente de chuva não deverá ser operado em vidro seco, porque a consistência do repelente não dissolvido restringe a visibilidade do vidro. Caso o sistema seja operado inadvertidamente, não operamos o limpador de pára-brisas nem o sistema limpador de chuva, porque a tendência será a de aumentar a mancha. Do mesmo modo, os resíduos causados pela aplicação do repelente com tempo seco ou com chuva de pouquíssima intensidade, poderão causar manchas ou pequenas corrosões no revestimento da aeronave. Para evitar isto, algum concentrado de repelente ou resíduos, deverá ser removido por uma lavagem com água fresca na primeira oportunidade.

Após a aplicação, a película de repelente lentamente se dissolve com a continuidade dos pingos da chuva. Isto torna necessário uma reaplicação periódica.

O intervalo de tempo entre aplicações depende da intensidade da chuva, o tipo de repelente usado e se o limpador de pára-brisas está em uso.

MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE ELIMINAÇÃO DOS EFEITOS DA CHUVA

Sistemas limpadores de pára-brisas

A manutenção executada nos sistemas limpadores de pára-brisas consiste de checagens operacionais, ajustes e pesquisas de panes.

Uma checagem operacional deverá ser executada sempre que um componente do sistema for substituído, ou sempre que o sistema esteja suspeito de um funcionamento irregular. Durante a checagem, certificamo-nos de que a área do pára-brisas, coberta pelo limpador, está livre de materiais estranhos e molhada.

Os ajustes de um sistema de limpador de pára-brisas, consistem da ajustagem da tensão da palheta, e a correta posição de estacionamento dela.

A Figura 7-22 ilustra os pontos de ajustagem na instalação de um típico limpador de pára-brisas.

Uma das ajustagens é o comprimento da haste de comando. A porca de ajustagem do comprimento é mostrada na Figura 7-22. A haste de regulagem está conectada ao suporte da palheta por um parafuso-eixo, próximo ao eixo de comando.

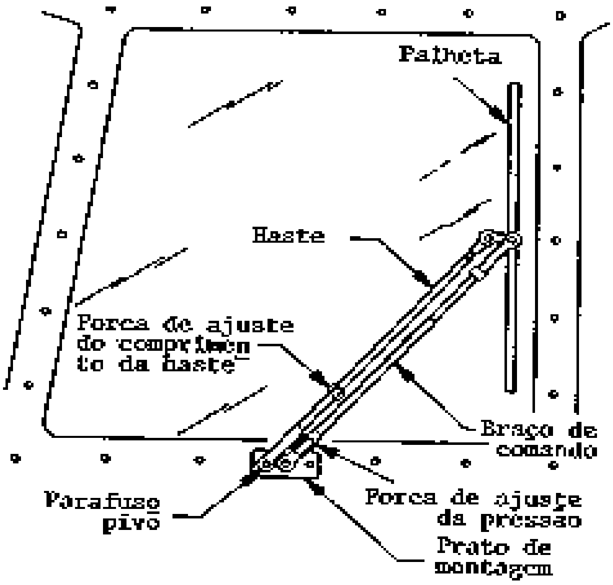

Palheta
Haste
Porca de ajuste do comprimento da haste
Braço de comando
Parafuso pivo
Porca de ajuste da pressão
Prato de montagem

Figura 7-22 Ajuste dos componentes do limpador de pára-brisas.

Com o braço de comando e a haste de regulagem conectados à palheta, é formado um paralelogramo entre o suporte da palheta e o conversor do limpador.

Este arranjo permite que a palheta do limpador permaneça paralela com as laterais do pára-brisas durante o seu percurso de um lado para o outro. O comprimento da haste de regulagem pode ser ajustado para variar o ângulo, no qual a palheta deslisa no pára-brisas.

Um dos tipos de ajuste, é o que mantém a palheta na correta posição de estacionamento.

Quando ele não está em operação, as palhetas deverão permanecer em uma posição que não interfira na visão do piloto. Se o limpador não estaciona como deveria, o ressalto, no qual atua o microinterruptor no conversor, deverá ser ajustado.

O outro ajuste a ser feito, é a tensão da mola do limpador de pára-brisas. Para fazer o ajuste, colocamos sob o braço de comando uma balança de mola adequada, no ponto em que a palheta é fixada, e puxamos a balança a 90º do braço de comando até que a palheta desencoste do vidro.

Se a pressão estiver ajustada, a escala da balança deverá indicar de 5 a 6 libras. Se a leitura não estiver dentro desses limites, então ajustamos a pressão, (na porca de ajustagem mostrada na Figura 7-22), até que a tensão apropriada esteja indicada na escala.

Sistemas pneumáticos

A manutenção de um sistema de jato de ar no pára-brisas, consta da substituição dos componentes defeituosos; o teste (com as mãos) das conexões dos tubos e válvulas quanto a vazamentos; e uma checagem operacional do sistema.

CAPÍTULO 8

SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

SISTEMAS HIDRÁULICOS DE AERONAVES

A palavra hidráulica é baseada na palavra água, e, originalmente, significa o estudo do comportamento físico da água em repouso e em movimento. Hoje o significado foi expandido para incluir o comportamento físico de todos os líquidos, incluindo fluido hidráulico.

Sistemas hidráulicos não são novidades na aviação. As primeiras aeronaves tinham sistemas de freio hidráulico. Conforme as aeronaves se tornaram mais sofisticadas, novos sistemas utilizando potência hidráulica, foram desenvolvidos.

Apesar de alguns fabricantes de aeronaves utilizarem mais sistemas hidráulicos que outros, o sistema hidráulico de uma aeronave moderna, na média executa diversas funções. Entre as unidades comumente acionadas por sistemas hidráulicos estão os trens de pouso, os flapes, os freios das rodas e os aerodinâmicos, e as superfícies de controle de vôo.

Os sistemas hidráulicos apresentam muitas vantagens como fonte de potência para acionamento de várias unidades da aeronave. Os sistemas hidráulicos combinam as vantagens de pouco peso, facilidade de instalação, simplicidade de inspeção, e requisitos mínimos de manutenção. As operações hidráulicas são também quase que 100% eficientes, com somente uma perda desprezível devido ao atrito do fluido.

Todos os sistemas hidráulicos são essencialmente semelhantes. Independentemente da aplicação, cada sistema hidráulico tem um número mínimo de componentes e algum tipo de fluido hidráulico.

FLUIDO HIDRÁULICO

Os líquidos dos sistemas hidráulicos são usados, primeiramente, para transmitir e distribuir potência a várias unidades a serem acionadas. Os líquidos são capazes de fazer isso por serem praticamente incompressíveis.

A Lei de Pascal afirma que a pressão aplicada em qualquer parte de um líquido confinado é transmitida sem perda de intensidade para todas as outras partes. Assim, se um número de passagens existe em um sistema, a pressão pode ser distribuída por todas elas através do líquido.

Geralmente, o fabricante de dispositivos hidráulicos especifica o tipo de líquido mais apropriado para os seus equipamentos de acordo com as condições de funcionamento, o serviço requerido, as temperaturas esperadas no interior e no exterior dos sistemas, as pressões que o líquido deve suportar, as possibilidades de corrosão e outras condições que devem ser consideradas.

Se as únicas qualidades requeridas fossem incompressibilidade e fluidez, qualquer líquido não muito grosso poderia ser utilizado num sistema hidráulico. Algumas das propriedades e características que devem ser consideradas quando da seleção de um líquido satisfatório para um sistema em particular, são discutidas nos parágrafos seguintes.

Viscosidade

Uma das mais importantes propriedades de qualquer fluido hidráulico é sua viscosidade, que é a resistência interna ao escoamento. Um líquido como a gasolina escoa facilmente (tem viscosidade baixa) enquanto que, um líquido como o alcatrão escoa lentamente (tem alta viscosidade). A viscosidade aumenta com a diminuição da temperatura.

Um líquido satisfatório para um dado sistema hidráulico deve ser encorpado o suficiente para permitir uma boa vedação nas bombas, válvulas e pistões; mas não pode ser tão grosso que ofereça resistência ao escoamento, levando a perdas de potência e temperaturas de operação mais altas. Esses fatores se somarão à carga e ao desgaste excessivo das partes. Um fluido muito fino também levará a um rápido desgaste das partes móveis ou de partes com altas cargas.

A viscosidade de um líquido é medida com um viscosímetro. Existem vários tipos, mas o instrumento mais usado por engenheiros nos EUA é o viscosímetro universal de Saybolt (figura 8-1). Esse instrumento mede o tempo em que uma quantidade fixa de líquido (60cm^3) leva para escoar através de um pequeno orifício de comprimento e diâmetro padrões a uma temperatura específica. Esse tempo é medido em segundos, e a viscosidade é expressa em SSU (segundos, Saybolt universal). Por exemplo, um certo líquido pode ter uma viscosidade de 80 SSU a 130º F.

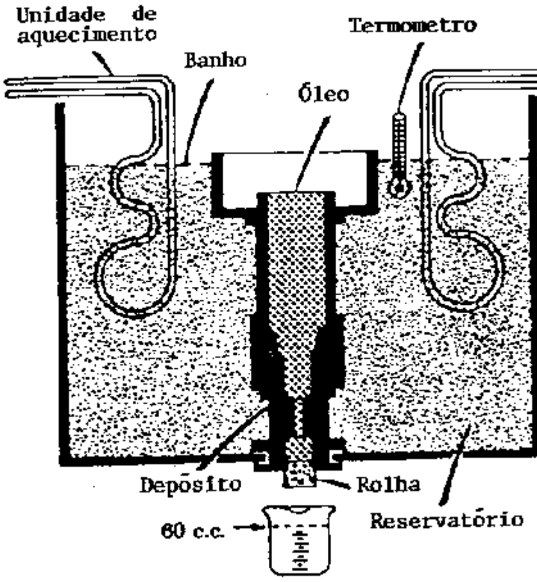


Figura 8-1Viscosímetro de Saybolt.

Estabilidade Química

Estabilidade química é outra propriedade que é extremamente importante na seleção de um fluido hidráulico. É a habilidade do fluido de resistir a oxidação e deterioração por longos períodos. Todos os líquidos tendem a passar por transformações químicas, desfavoráveis sob condições severas de operação. Esse é o caso, por exemplo, quando um sistema opera por um período considerável a altas temperaturas.

Temperaturas excessivas têm um grande efeito sobre a vida de um líquido. Deve ser notado que a temperatura do líquido, no reservatório de um sistema hidráulico em operação, nem sempre representa o estado verdadeiro das condições de operação. Pontos quentes localizados ocorrem em rolamentos, dentes de engrenagens ou em pontos onde o líquido sob pressão é forçado a passar através de um pequeno orifício.

A passagem contínua de um líquido por esses pontos pode produzir temperaturas locais altas o suficiente para carbonizar ou engrossar o líquido, ainda que o líquido no reservatório não indique uma temperatura excessivamente alta. Líquidos com alta viscosidade têm maior resistência ao calor do que líquidos leves ou de baixa viscosidade, que tenham sido derivados da mesma fonte. O líquido hidráulico médio tem baixa viscosidade. Felizmente, há uma vasta gama de opções de líquidos disponíveis para uso dentro de uma faixa de viscosidade requerida para fluidos hidráulicos.

Líquidos podem decompor-se quando expostos à água, ao sal, ou a outras impureza, especialmente se estiverem em constante movimento ou sujeitos ao calor. Alguns metais como zinco, grafite, bronze e cobre têm reações químicas indesejáveis com certos líquidos.

Esses processos químicos resultam em formação de gomas, carbono ou outros depósitos que obstruem passagens, causam engrossamento ou vazamento em válvulas e pistões e dão má lubrificação a partes móveis.

Logo que pequenas quantidades de depósitos são formados, a taxa de formação geralmente aumenta mais rapidamente. Ao serem formados, ocorrem algumas alterações nas propriedades físicas e químicas do líquido. O líquido geralmente fica mais escuro, com viscosidade mais alta e com formação de ácidos.

Ponto de Ignição (Flash Point)

Ponto de ignição ("Flash point") é a temperatura na qual um líquido libera vapor em quantidade suficiente para ignizar-se momentaneamente, ou, espocar quando uma chama é aplicada. Um alto ponto de ignição é desejável para fluidos hidráulicos, uma vez que indica boa resistência a combustão e baixo grau de evaporação a temperaturas normais.

Ponto de fogo (Fire Point)

Ponto de fogo é a temperatura na qual uma substância libera vapor em quantidade suficiente para ignizar-se e para continuar a queimar, quando exposta a uma fagulha ou chama. Como o ponto de ignição, um alto ponto de fogo é requerido para os fluidos hidráulicos desejáveis.

TIPOS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS

Para assegurar uma operação adequada do sistema, e para prevenir danos aos componentes não-metálicos do sistema hidráulico, o fluido correto deve ser usado.

Quando adicionando fluido a um sistema, usamos o tipo especificado no manual de manutenção do fabricante da aeronave, e na placa de instrução afixada no reservatório da unidade a ser servida.

Existem três tipos de fluido hidráulico, atualmente em uso nas aeronaves civis.

Fluido Hidráulico à Base de vegetal

O fluido hidráulico à base de vegetal (MIL-H-7644) é composto essencialmente de óleo de mamona e álcool. Ele tem um odor alcóolico penetrante e geralmente pigmentado em azul. Embora o MIL-H-7644 tenha uma composição similar ao fluido hidráulico tipo automotivo, ele não é intercambiável.

Esse fluido foi usado primitivamente nos antigos tipos de avião. Selos em borracha natural são usados com fluido hidráulico à base vegetal. Se ele for contaminado com fluidos à base de petróleo ou éster fosfato, o selo irá inchar, quebrar e bloquear o sistema. Esse tipo de fluido é inflamável.

Fluido Hidrállico à Base de mineral

O fluido hidráulico à base de mineral (MIL-H-5606) é processado do petróleo. Ele tem um odor similar ao óleo penetrante e a pigmentação vermelha. Selos de borracha sintetica são usados com fluidos à base de petróleo. Não o misturamos com fluidos hidráulicos à base de éster fosfato ou base vegetal. Este tipo de fluido é inflamável.

FLUIDO À BASE DE ÉSTER FOSFATO

Fluidos hidráulicos não derivados de petróleo foram introduzidos em 1948 para obter-se resistência ao fogo, quando usados em aeronaves com motores a pistão de alta performance e em aeronave turboélice.

A resistência ao fogo desses fluidos foi testada pela vaporização sobre uma chama de maçarico de solda (6.000º). Não houve combustão, apenas alguns lampejos de fogo. Estes e outros testes provaram que fluidos não derivados do petróleo (SKYDROL) não sustentam a combustão. Ainda que eles possam queimar em temperaturas excessivamente altas, os fluidos SKYDROL não poderiam propagar o fogo porque a combustão estaria localizada na fonte de calor. Uma vez que a fonte de calor tenha sido removida ou o fluido afastado da fonte, não ocorrerà mais a queima ou combustão.

Vários tipos de fluidos hidráulicos à base de éster fosfato (SKYDROL) têm sido descontinuados. Correntemente usados em aeronaves são os SKYDROL 500B - um líquido púrpura-claro, tendo boas características de temperaturas doperação e baixo efeito colateral corrosivo; e o SKYDROL LD - um fluido púrpura-claro leve, formulado para uso em grandes aeronaves de transporte a jato, jumbo, onde o peso é um fator primordial.

Mistura de Fluidos

Devido à diferença na composição, fluidos à base de vegetal, petróleo ou éster fosfato não serão misturados. Os selos para cada tipo de fluido não são tolerantes aos fluidos dos outros tipos.

Se o sistema hidráulico de uma aeronave for abastecido com o tipo de fluido errado, imediatamente drenamos e lavamos com jato forte o sistema, e mantemos o selo de acordo com as especificações do fabricante.

Compatibilidade com os materias da Aeronave

Os sistemas hidráulicos de aeronaves projetados para fluidos SKYDROL deveriam ser virtualmente livres de defeitos, se adequadamente mantidos.

O SKYDROL não afeta apreciavelmente os metais das aeronaves em geral, tais como: alumínio, prata, zinco, magnésio, cádmio, aço, aço-inoxidável, bronze, cromo, e outros, enquanto os fluidos são mantidos livres de contaminação.

Devido à base éster fosfato dos fluidos SKYDROL, as resinas termoplásticas, incluindo compostos de vinil, lacas nitrocelulose, pinturas à base de óleo, linóleo e asfalto, podem ser amolecidos quimicamente por fluidos SKYDROL. Contudo, essa ação química usualmente requer mais tempo que uma exposição momentânea. Respingos que sejam limpos com sabão e água não causam danos nesses materiais.

As pinturas resistentes ao SKYDROL incluem epoxies e poliuretanos. Hoje, os poliuretanos são o padrão da indústria aeronáutica devido à sua capacidade de manter um brilho e acabamento por longos períodos de tempo, e pela facilidade com a qual eles podem ser removidos.

O SKYDROL é uma marca registrada da Monsanto Company.

O fluido SKYDROL é compatível com as fibras naturais e com um nú
mero de sintéticos, incluindo nylon e poliester, os quais são usados extensivamente na maioria das aeronaves.

Os selos de neoprene ou Buna-N, do sistema hidráulico de óleo à base de petróleo, não são compatíveis com SKYDROL e devem ser substituídos com selos de elastômetros de borracha butil ou etileno-propileno. Esses selos estão prontamente disponíveis em qualquer fornecedor.

Saúde e Manuseio

O fluido SKYDROL não apresenta qualquer particular dano à saúde em seus usos recomendados. Ele tem uma taxa de toxidade muito baixa quando ingerido ou aplicado sobre a pele em forma de líquido; e causa dor quando em contato com o tecido dos olhos, mas os estudo em animais e experiências humanas indicam que o fluido SKYDROL não causa danos permanentes. O tratamento de primeiros socorros para contato com os olhos inclui lavagem dos olhos imediatamente com água em abundância, e aplicação de solução anestésica oftálmica. Se a dor persistir, o indivíduo deve ser encaminhado ao médico.

Na forma de vapor ou névoa, o SKYDROL é ligeiramente irritante às vias respiratórias, e geralmente produz tosse e espirro. Tal irritação não persiste cessando-se a exposição. Ungüentos de silicone, luvas de borracha e, procedimentos de uma cuidadosa lavagem, devem ser utilizados para evitar uma repetição excessiva do contato do SKYDROL, de modo a evitar o efeito solvente sobre a pele.

Contaminação do Fluido Hidrállico

A experiência tem mostrado que, a ocorrência de problemas em um sistema hidráulico é inevitável, sempre que for permitido ao líquido contaminar-se. A natureza do problema, um simples mau funcionamento ou a completa destruição de um componente, depende de alguma forma do tipo de contaminante.

Dois contaminantes gerais são:

1) Abrasivos, incluindo partículas tais como grão de areia, salpico de solda, rebarbas de usinagem e ferrugem.
2) Não abrasivos, incluindo aqueles resultantes da oxidação do óleo e fragmentos ou partículas provenientes do desgaste dos selos e outros componentes orgânicos.

Verificação de contaminação

Sempre que se suspeitar que um sistema hidráulico tenha sido contaminado, ou o sistema tenha sido operado em temperaturas além do máximo especificado, uma verificação deve ser feita. Os filtros, na maioria dos sistemas, são projetados para remover partículas estranhas que são visíveis a olho nú. O fluido hidráulico que parece limpo a olho nú pode estar contaminado ao ponto de estar inadequado para o uso.

Uma inspeção visual do fluido hidráulico não determina a quantidade total de contaminação no sistema. Grandes partículas de impureza no sistema hidráulico são indicações de que um ou mais componentes estão sujeitos a desgaste excessivo.

O isolamento do componente defeituoso requer um processo sistemático de eliminação. O fluido que retorna ao reservatório pode conter impurezas de qualquer parte do sistema. Para determinar qual o componente que está defeituoso, amostras do fluido devem ser tomadas do reservatório e de vários outros locais do sistema.

As amostras devem ser tomadas de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante para um sistema hidráulico particular. Alguns sistemas hidráulicos são equipados com válvulas de sangria permanentemente instaladas para tomadas de amostras do fluido, enquanto que, em outros sistemas, as linhas são desconectadas para que se obtenha um local para tomada da amostra.

Em qualquer caso, enquanto o fluido está sendo tomado, uma pequena quantidade de pressão deve ser aplicada ao sistema. Isso assegura que o fluido irá fluir para fora no ponto de amostragem, e então prevenir que a sujeira penetre no sistema hidráulico. Alguns kits de teste de contaminação têm uma seringa hipodérmica para coleta de amostras.

Vários procedimentos de teste são usados para determinar o nível de contaminação em fluidos hidráulicos. O teste de comparação do filtro proporciona uma idéia razoável das condições do fluido.

Este teste consiste basicamente da filtragem de uma amostra do fluido do sistema hidráulico através de um papel de filtro especial. Esse papel de filtro escurece na proporção da qualidade de contaminação presente na amostra; ele é comparado a uma série de discos de filtro padronizados, os quais, pelo grau de escurecimento, indicam os vários níveis de contaminação. O equipamento fornecido com um tipo de kit de teste de contaminação é ilustrado na figura 8-2.

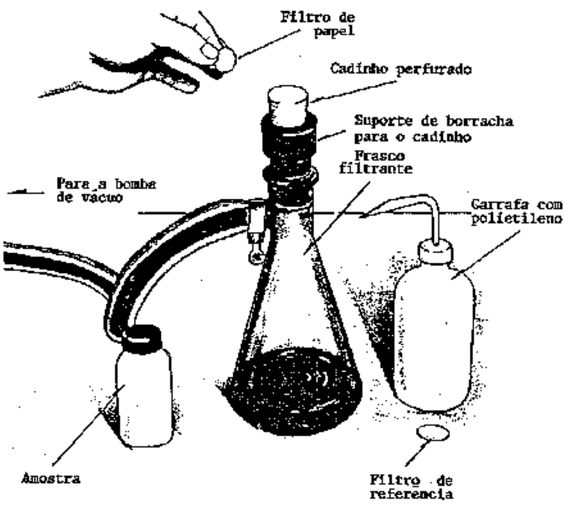


Figura 8-2 Teste de contaminação.

Quando se utiliza esse tipo de kit de teste de contaminação, as amostras de fluidos devem ser vertidas através do papel de filtro, e o papel de filtro teste deve ser comparado aos discos fornecidos com o kit de teste.

Os kits de teste mais caros têm um microscópio para se fazer essa comparação.

Para verificação do fluido quanto à decomposição, coloca-se novo fluido hidráulico dentro de uma garrafa (para amostra do mesmo tamanho e cor), contendo o que será verificado. Visualmente compara-se a cor das duas garrafas. O líquido decomposto será mais escuro.

Ao mesmo tempo que a verificação da contaminação é feita, pode ser necessário fazer um teste químico. Esse teste consiste de uma verificação da viscosidade, uma verificação da umidade e uma verificação do ponto de ignição (FLASH POINT).

Todavia, desde que um equipamento especial é requerido para essas verificações, as amostras do fluido devem ser enviadas a um laboratório, onde um técnico irá desenvolver o teste.

Controle de Contaminação

Os filtros proporcionam o controle adequado do problema da contaminação durante todas as operações normais do sistema hidráulico.

O controle da extensão e quantidade de contaminação entrando no sistema, proveniente de qualquer outra fonte, é responsabilidade do pessoal que opera e mantém o equipamento. Todavia, precauções devem ser tomadas para minimizar a contaminação durante a manutenção, reparo e emprego.

Se o sistema contaminar-se, o elemento de filtro deve ser removido e limpo ou substituído.

Como um auxílio no controle da contaminação, os seguintes procedimentos de manutenção e emprego devem ser seguidos o tempo todo:

(1) Manter todas as ferramentas e áreas de trabalho (bancadas e equipamentos de teste) em uma condição de limpeza livres de sujeira.

(2) Um recipiente adequado deverá sempre estar a disposição para receber o fluido hidráulico que é derramado durante a remoção do componente, ou procedimentos de desmontagem.

(3) Antes de desconectar as linhas hidráulicas ou conectores, limpa-se a área afetada com solvente para limpeza a seco.

(4) Todas as linhas hidráulicas e conectores devem ser encapados ou fechados imediatamente após a desconexão.

(5) Antes da montagem de quaisquer componentes hidráulicos, lava-se todas as partes com um solvente para limpeza a seco aprovado.

(6) Após a limpeza das peças em uma solução para limpeza a seco, seca-se completamente as peças, e as lubrifica-se com o preservativo recomendado ou fluido hidráulico, antes da montagem. Usam-se panos limpos e livres de fiapos para limpar ou secar as peças componentes.

(7) Todos os selos e gaxetas devem ser substituídos durante o procedimento de remontagem. Somente selos e gaxetas recomendados pelo fabricante são usados.

(8) Todas as peças devem ser conectadas com cuidado para evitar esfolamento em lascas de metal de áreas rosqueadas. Todas as conexões e linhas devem ser instaladas e torqueadas de acordo com as instruções técnicas aplicáveis.

(9) Todos os equipamentos de operação hidráulica devem ser mantidos limpos e em boas condições de operação.

FILTROS

Um filtro é um entelamento ou dispositivo coador usado para limpar o fluido hidráulico, prevenindo contra partículas estranhas, e contra substâncias contaminantes de permaneceremos no sistema. Se tal material indesejável não for removido, ele poderá causar uma falha no sistema hidráulico inteiro da aeronave pelo colapso, ou mau funcionamento de uma única unidade do sistema.

O fluido hidráulico mantém em suspensão finas partículas de metal, que são depositadas durante o desgaste normal das válvulas seletoras, bombas e outros componentes do sistema. Tais minúsculas partículas de metal podem danificar as unidades e as peças, através das quais elas passam, caso não sejam removidas pelo filtro.

Desde que as tolerâncias dentro dos componentes do sistema hidráulico sejam muito pequenas, é evidente que a confiabilidade e eficiência do sistema completo depende sobretudo de uma filtragem adequada.

Os filtros podem ser localizados dentro do reservatório, na linha de pressão, na linha de retorno, ou em qualquer outro local onde o projetista do sistema decidir que eles sejam necessários para resguardar o sistema hidráulico contra impurezas.

Existem muitos modelos e estilos de filtros. Suas posições na aeronave, e os requisitos de projeto determinam suas formas e tamanhos.

A maioria dos filtros usados nas modernas aeronaves são do tipo em linha. O conjunto de filtro em linha é formado por três unidades básicas: conjunto da cabeça, corpo e elemento. O conjunto da cabeça é aquela parte que é fixa na estrutura da aeronave e nos conectores da linha. Dentro da cabeça existe uma válvula de desvio que direciona o fluido hidráulico diretamente do canal de entrada para o de saída, caso o elemento de filtro seja obstruído com material estranho. O corpo é o alojamento que mantém o elemento na cabeça do filtro, sendo a parte a ser removida quando for necessária a remoção do elemento.

O elemento poderá ser um micrônico, um metal poroso ou do tipo magnético. O elemento micrônico é feito de um papel especialmente tratado e, normalmente, é jogado fora quando removido. Os elementos de filtro magnético ou metal poroso são projetados para serem limpos por vários métodos, e recolocados no sistema.

Filtros do tipo micrônico

Um filtro do tipo micrônico é mostrado na figura 8-3. Esse filtro utiliza um elemento feito de um papel especialmente tratado que é dobrado em rugas verticais. Uma mola interna mantém os elementos em forma.

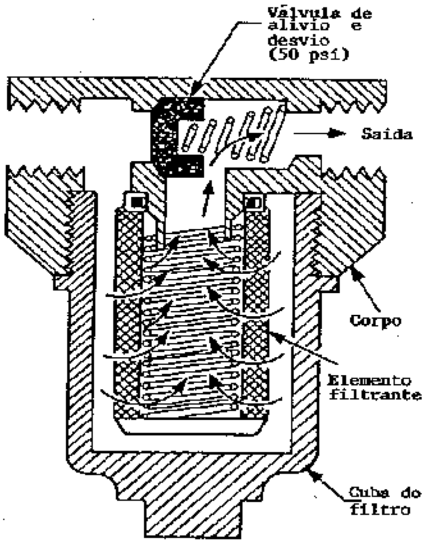


Figura 8-3 Filtro hidráulico do tipo micrônico.

O elemento micrônico é projetado para prevenir a passagem de sólidos maiores que 10 microns (0,000394 da polegada) em tamanho (figura 8-4). No caso em que o elemento de filtro torne-se obstruído, a válvula de alívio sob tensão de mola na cabeça do filtro irá desviar o fluido após uma pressão diferencial de 50 p.s.i.

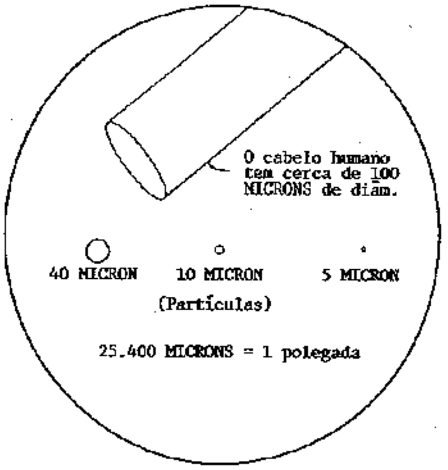

O cabelo humano tem cerca de 100 MICRONS de diâm.
40 MICRON
10 MICRON
5 MICRON
(Partículas)
25.400 MICRONS = 1 polegada

Figura 8-4 Ampliação de pequenas partículas.

O fluido hidráulico entra no filtro através do canal de entrada e do corpo do filtro; e flui em volta do elemento, dentro do corpo. A filtragem ocorre quando o fluido passa através do elemento para o orifício central, deixando o material estranho no lado externo do elemento filtrante.

Manutenção dos Filtros

A manutenção dos filtros é relativamente fácil. Ela envolve principalmente a limpeza do filtro, e o elemento ou limpeza do filtro, e substituição do elemento.

Os filtros usando elemento do tipo micrônico devem ter o elemento substituído periodicamente de acordo com as instruções aplicáveis. Desde que os filtros dos reservatórios sejam do tipo micrônico, eles devem ser periodicamente trocados ou limpos. Os filtros, usando outros que não o elemento do tipo micrônico, normalmente são apenas limpos, o filtro e o elemento. Todavia o elemento deve ser inspecionado muito atentamente para nos assegurarmos de que ele esteja completamente sem danos.

Os métodos e materiais usados na limpeza dos filtros são muito numerosos para serem mencionados. Consulta-se as informações do fabricante para essa informação.

Alguns filtros hidráulicos têm sido equipados com um pino que irá indicar visualmente uma obstrução do elemento. Quando esse pino se sobressai do alojamento do filtro, o elemento deve ser removido e limpo; e, também, o fluido coletado do filtro deve ser verificado quanto à contaminação, e limpo se necessário. todos os filtros remanescentes devem ser verificados quanto à contaminação, e limpos (se necessário) para determinar sua causa.

O SISTEMA HIDRÁULICO BÁSICO

Independente de sua função e projeto, cada sistema hidráulico tem um número mínimo de componentes básicos em adição aos meios através dos quais o fluido é transmitido.

Sistema de bomba manual

A figura 8-5 mostra um sistema hidráulico básico. O primeiro dos componentes básicos, o reservatório, estoca o suprimento de fluido hidráulico para a operação do sistema. Ele recompleta o fluido do sistema quando necessário, proporciona espaço para expansão térmica e, em alguns sistemas, proporciona meios para a sangria de ar do sistema.

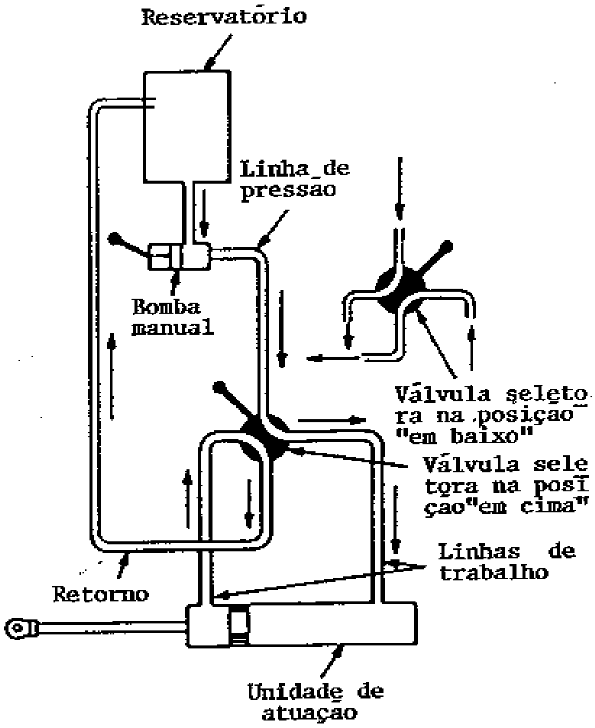


Figura 8-5 Sistema hidráulico básico com bomba manual.

Uma bomba é necessária para criar um fluxo de fluido. A bomba mostrada na figura 8-5 é operada manualmente; todavia, os sistemas das aeronaves são, na maioria dos casos, equipados com bombas acionadas elétrica ou mecânicamente.

A válvula seletora é usada para dirigir o fluxo do fluido. Essas válvulas são, normalmente, atuadas por solenóides, ou manualmente operadas, direta ou indiretamente através de uma conexão mecânica. Um cilindro atuador converte a pressão do fluido em trabalho útil através de um movimento mecânico linear ou recíproco, enquanto que, um motor hidráulico converte a pressão do fluido em trabalho útil através de um movimento mecânico rotativo.

O fluxo de fluido hidráulico pode ser acompanhado desde o reservatório, através da bomba e para a válvula seletora, na figura 8-5. Com a válvula seletora na posição mostrada, o fluido hidráulico flui através da válvula seletora para a extremidade direita do cilindro atuador. A pressão do fluido então força o pistão para a esquerda, e ao mesmo tempo o fluido que está sobre o lado esquerdo do pistão (figura 8-5) é forçado para fora, subindo pela válvula seletora e retornando ao reservatório através da linha de retorno.

Quando a válvula seletora é movimentada para a posição oposta, o fluido da bomba flui para o lado esquerdo do cilindro atuador, revertendo, assim, o processo. O movimento do pistão pode ser parado a qualquer momento pela movimentação da válvula seletora para neutro. Nessa posição, todas as quatro passagens são fechadas, e a pressão é mantida em ambas as linhas de trabalho.

Sistema de bomba mecânica

A figura 8-6 mostra um sistema básico com a adição de uma bomba mecânica e um filtro, um regulador de pressão, acumulador, medidor de pressão, válvula de alívio, e duas válvulas unidirecionais. A função de cada um desses componentes é descrita nos parágrafos seguintes.

O filtro remove as partículas estranhas do fluido hidráulico, prevenindo contra a entrada de poeira, areia, ou outros materiais indesejáveis no sistema.

O regulador de pressão descarrega ou alivia a bomba mecânica quando a pressão desejada é alcançada. Então, ele é freqüentemente mencionado como uma válvula de descarregamento.

Quando uma das unidades atuadoras está sendo operada, e a pressão na linha entre a bomba e a válvula seletora cresce até o ponto desejado, a válvula no regulador de pressão abre automaticamente, sendo o fluido desviado de volta para o reservatório. Essa linha de desvio é mostrada na figura 8-6, partindo do regulador de pressão para a linha de retorno.

Muitos sistemas hidráulicos não usam um regulador de pressão, mas têm outros dispositivos de descarregamento da bomba e manutenção da pressão desejada no sistema. Esses métodos são descritos neste capítulo.

O acumulador (figura 8-6) atende a duas finalidades: (1) age como um amortecedor ou absorvedor de choque pela manutenção de uma pressão constante no sistema, e (2) estoca fluido suficiente sob pressão, para prover certas unidades quando em operação de emergência. Os acumuladores são projetados com uma câmara de ar comprimido que está separada do fluido por um diafragma flexível ou um pistão móvel.

O medidor de pressão (figura 8-6) indica a quantidade de pressão hidráulica no sistema.

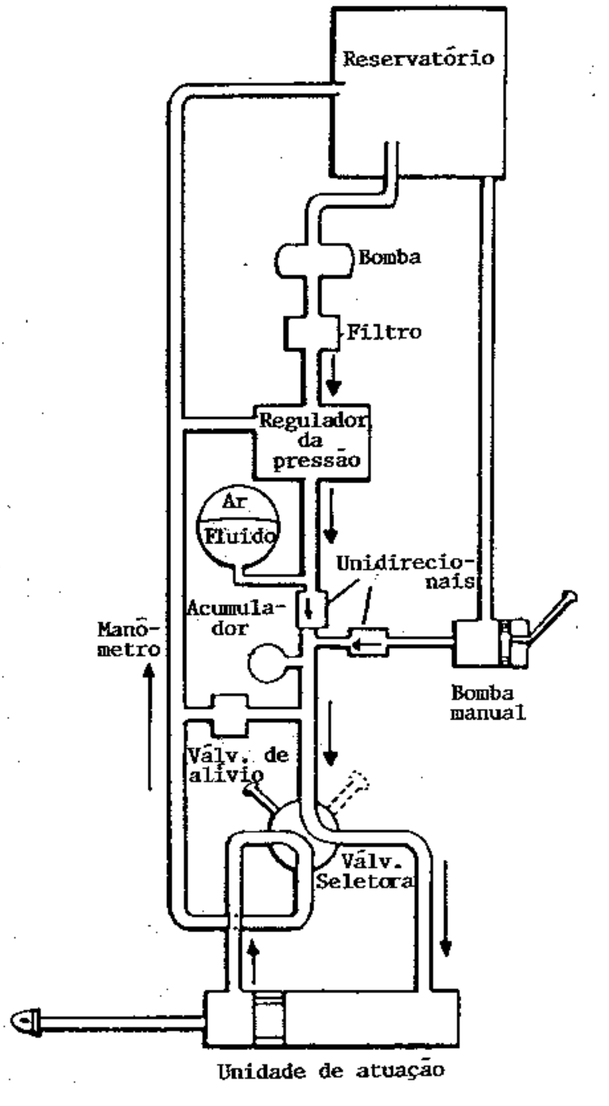


Figura 8-6 Sistema hidráulico básico com bomba mecânica e outros componentes hidráulicos.

A válvula de alívio é uma válvula de segurança instalada no sistema para desviar o fluido para o de retorno ao reservatório, nos casos de uma pressão excessiva ocorrer no sistema.

As válvulas unidirecionais permitem ao fluxo do fluido fluir somente em uma direção. As válvulas unidirecionais estão instaladas em vários pontos nas linhas de todos os sistemas hidráulicos de aeronaves.

Na figura 8-6, uma válvula unidirecional evita que a pressão da bomba mecânica entre na linha da bomba manual; e a outra evita que a pressão da bomba manual seja direcionada para o acumulador.As unidades de um sistema hidráulico típico, usado mais comumente, são discutidas em detalhes nos parágrafos seguintes. Nem todos os modelos ou tipos são incluídos, mas exemplos de componentes típicos são usados em todos os casos.

RESERVATÓRIOS

Existe uma tendência a imaginar um reservatório como um componente individual; todavia, isto não é sempre verdade. Existem dois tipos de reservatórios:

1) Em-Linha - Esse tipo tem seu próprio reservatório, é completo e conectado a outros componentes em um sistema por tubulação ou mangueira.

2) Integral - Esse tipo não tem seu próprio reservatório, sendo, simplesmente, um espaço anexo dentro de algum componente principal para manter o suprimento operacional de fluido. Um exemplo familiar desse tipo é o espaço para fluido de reserva, encontrado na maioria dos cilindros mestres dos freios automotivos.

Em um reservatório em-linha, (figura 8-7), um espaço é providenciado acima do nível normal do fluido, para expansão do fluido e escapamento do ar aprisionado no sistema. Os reservatórios nunca são intencionalmente enchidos até o topo com fluido. A maioria dos reservatórios é projetada para que a borda do gargalo abastecedor fique, de algum modo abaixo do topo do reservatório prevenindo contra o excesso durante o recompletamento.

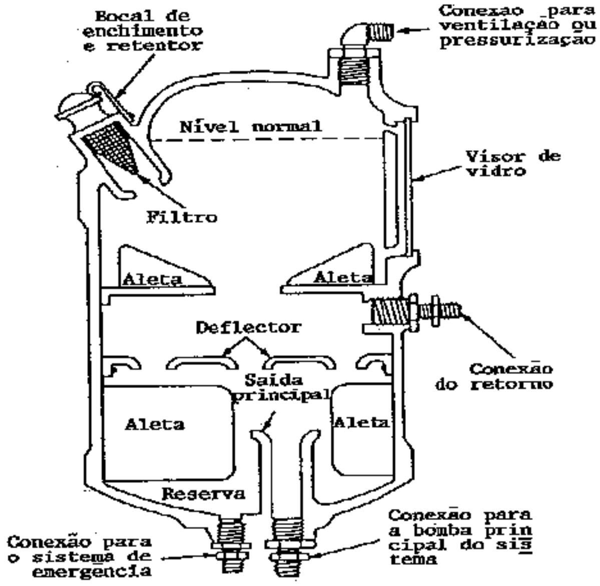

Bocal de enchimento e retentor
Conexao para ventilaçao ou pressurizaçao
Nível normal
Visor de vidro
Filtro
Aleta
Aleta
Deflector
Conexão do retorno
Saída principal
Aleta
Aleta
Reserva
Conexão para a bomba principal do sistema
Conexão para o sistema de emergencia

Figura 8-7 Reservatório.

A maioria dos reservatórios é equipada com uma vareta ou um visor de vidro medidores, através dos quais o nível do fluido pode ser conveniente e precisamente verificado.

Os reservatórios são abertos , fechados ou pressurizados para a atmosfera. Nos reservatórios abertos, a pressão atmosférica e a gravidade são as forças que fazem com que o fluido saia do reservatório para a entrada da bomba. Em muitas aeronaves, a pressão atmosférica é a principal força produtora do fluxo de fluido para a entrada da bomba. Todavia, em algumas aeronaves, a pressão atmosférica torna-se tão baixa para suprir a bomba, com a adequada quantidade de fluido, que o reservatório deve ser pressurizado.

Existem vários métodos de pressurização de um reservatório. Alguns sistemas usam a pressão de ar diretamente do sistema de pressurização da cabine da aeronave; ou do compressor do motor, no caso de aeronave propulsionada a turbina.

Outro método usado é um aspirador ou venturi em "T". Em outros sistemas uma bomba hidráulica adicional é instalada na linha de suprimento na saída do reservatório, para suprir o fluxo sob pressão para a bomba hidráulica principal.

A pressurização com ar é obtida pela sua introdução sob pressão no reservatório acima do nível do fluido. Na maioria dos casos, a fonte inicial de pressão de ar é o motor da aeronave do qual ele é sangrado. Usualmente, o ar vindo diretamente do motor está a uma pressão de aproximadamente 100 p.s.i. Essa pressão é reduzida para ficar entre 5 e 15 p.s.i., dependendo do tipo de sistema hidráulico, pela utilização de um regulador de pressão.

Os reservatórios que são pressurizados com fluido hidráulico (figura 8-8) são construídos de uma forma um pouco diferente dos reservatórios pressurizados com ar.

Um saco flexível, revestido com tecido, chamado "bellowfram", ou diafragma, é fixado à cabeça do reservatório. O saco está pendurado dentro de um cilindro metálico, formando um recipiente para o fluido. O fundo do diafragma repousa sobre um grande pistão.

Fixo a esse grande pistão está uma haste indicadora. A outra extremidade da haste indicadora é usinada para formar um pequeno pistão, que é exposto à pressão do fluido da bomba hidráulica.

Essa pressão força o pequeno pistão para a frente, fazendo com que o grande pistão também se mova para a frente, produzindo no reservatório uma pressão de aproximadamente 30 a 32 p.s.i. em operação normal.

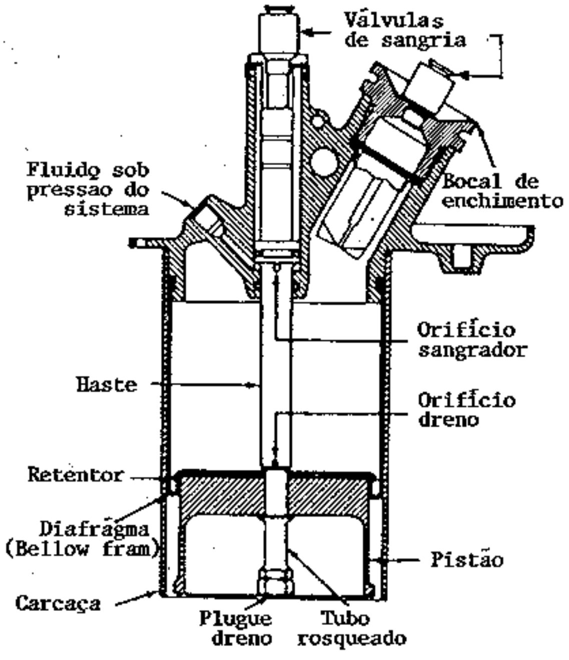


Figura 8-8 Reservatório hidráulico pressurizado com fluido.

Se a pressão interna exceder 46 p.s.i., a válvula de alívio do reservatório irá abrir, permitindo o escapamento do fluido através do furo na cabeça da válvula de retenção.

Esse tipo de reservatório deve ser abastecido com fluido hidráulico, e ter todo o ar sangrado do seu interior.

Componentes do reservatório

Aletas e/ou defletores estão incorporados na maioria dos reservatórios para manter o fluido livre de movimentos, tal como turbilhonamento (redemoinho) e ondas. Essas condições podem fazer com que o fluido espume e o ar entre na bomba com o fluido.

Muitos reservatórios incorporam filtros no gargalo de enchimento para prevenir contra a entrada de material estranho durante o abastecimento. Esses filtros são feitos de uma tela de malha fina e, são, geralmente conhecidos como filtros de dedo devido à sua forma. Esses filtros não devem nunca ser removidos ou furados, com a finalidade de apressar a entrada de óleo para o reservatório.

Alguns reservatórios incorporam elementos de filtro. Eles podem ser usados para filtrar o ar antes dele entrar no reservatório, ou para filtrar o fluido antes dele deixar o reservatório.

Um elemento de filtro de ar, quando usado, é localizado na parte superior do reservatório, acima do nível de fluido. Um elemento de filtro de fluido, quando usado, está localizado no fundo do reservatório ou próximo do fundo.

O fluido, assim que retorna para o reservatório, circunda o elemento. Este deixa qualquer contaminante do fluido sobre o outro lado do elemento de filtro.

Reservatórios com elemento de filtro incorporam uma válvula de desvio, normalmente fechada por uma mola. A válvula de desvio assegura que a bomba não sofrerá falta de fluido em caso do elemento de filtro ser obstruído.

Um filtro entupido produz um vácuo parcial e, em conseqüência, a válvula de desvio, carregada por ação de mola, se abre. O elemento de filtro mais comumente usado em reservatórios é o do tipo micrônico. Esses elementos de filtro, de celulose tratada, são moldados em dobras semelhantes as de acordeão.

As pregas expõem o fluido ao máximo de superfície filtrante dentro de um dado espaço. Esses elementos micrônicos são capazes de remover pequenas partículas de contaminação.

Algumas aeronaves têm sistemas hidráulicos de emergência que entram no circuito, caso o sistema principal falhe. Em muitos desses sistemas, as bombas de ambos obtêm fluido de um mesmo reservatório. Em tais circunstâncias o suprimento de fluido, para a bomba de emergência, é assegurado pela retirada do fluido hidráulico do fundo do reservatório.

O sistema principal tira o seu fluido através de um tubo pescador localizado no nível mais alto. Com essa disposição, o fluido em quantidade adequada é deixado para a operação do sistema de emergência, caso o suprimento de fluido do sistema principal fique reduzido.

Bombas manuais de Dupla-Ação

A bomba manual hidráulica de dupla ação é usada em algumas aeronaves antigas e, em alguns poucos sistemas modernos, como uma unidade auxiliar.

As bombas manuais de dupla ação produzem um fluxo de fluido e pressão em cada movimento da alavanca.

A bomba manual de dupla ação (figura 8-9) consiste basicamente de um alojamento com um núcleo cilíndrico e duas aberturas, um pistão, duas válvulas unidirecionais e uma alavanca de operação.

Um anel de vedação (“O” ring) sobre o pistão sela contra a fuga de fluido entre as duas cavidades do núcleo cilindro-pistão.

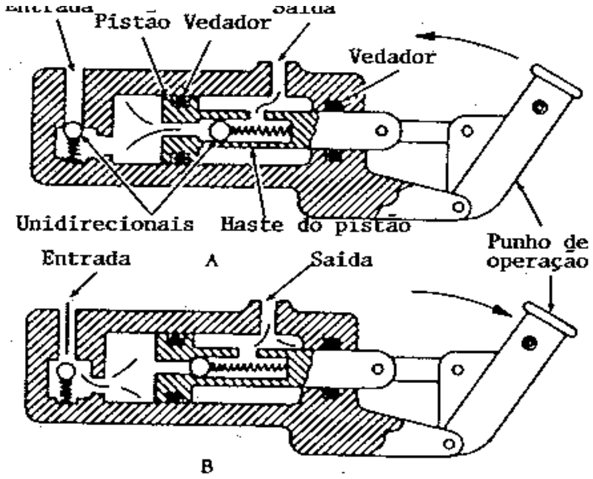


Figura 8-9 Bomba manual de dupla ação.

Um anel de vedação, na ranhura da extremidade do alojamento da bomba, sela contra a fuga de fluido entre a haste do pistão e o alojamento da bomba.

Bombas mecânicas

Muitas bombas hidráulicas mecânicas das aeronaves atuais são do tipo controladas por compensador e com demanda variável. Existe algumas bombas de demanda constante em uso. Os princípios de operação são os mesmos para ambos os tipos de bombas.

Devido à sua relativa simplicidade e facilidade de entendimento, a bomba de demanda constante é usada para descrever os princípios de operação das bombas mecânicas.

Bombas de fluxo constante

Uma bomba de fluxo constante, independente da rotação da bomba, força uma quantidade fixa ou invariável de fluido através do orifício de saída durante cada revolução da bomba. Bombas de fluxo constante são, algumas vezes, chamadas bombas de volume constante ou de fluxo fixo. Elas entregam uma quantidade fixa de fluido por revolução, independente da pressão solicitada.

Desde que a bomba de fluxo constante proporcione uma quantidade fixa de fluido durante cada revolução da bomba, a quantidade de fluido entregue por minuto dependerá da rotação da bomba. Quando uma bomba de fluxo constante é usada em um sistema hidráulico, na qual a pressão deve ser mantida em um valor constante, um regulador de pressão é necessário.

Bomba de fluxo variável

Uma bomba de fluxo variável tem uma saída de fluido, que é variada para satisfazer à demanda de pressão do sistema, pela variação da saída de seu fluido. O fluxo de saída é mudado automaticamente pelo compensador da bomba, instalado na parte interna da bomba.

Mecanismo de bombeamento

Vários tipos de mecanismo de bombeamento são usados em bombas hidráulicas, tais como engrenagens, rotores, palhetas e pistões. O mecanismo tipo pistão é comunente usado em bombas mecânicas devido à sua durabilidade e capacidade de desenvolver alta pressão. Em sistemas hidráulicos de 3.000 p.s.i., as bombas do tipo pistão são quase sempre usadas.

Bomba do tipo engrenagem

Uma bomba mecânica do tipo engrenagem (figura 8-10) consiste de duas engrenagens engrazadas que giram em um alojamento. A engrenagem motora é girada pelo motor da aeronave ou por alguma outra unidade motriz. A engrenagem acionada está engrazada na motora, sendo acionada por ela. A folga entre os dentes no engajamento e, entre os dentes e o alojamento, é muito pequena.

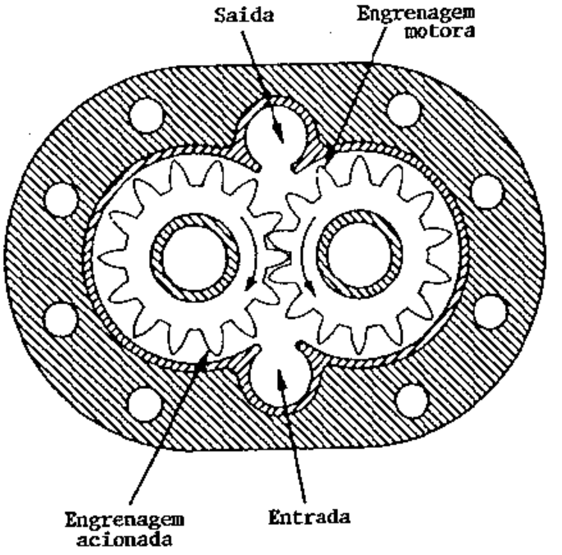


Figura 8-10 bomba do tipo engrenagens.

O orifício de entrada da bomba é conectado ao reservatório, e o de saída à linha de pressão. Quando a engrenagem motora gira na direção anti-horária, como mostrado na figura 8-10, ela gira a engrenagem acionada no sentido horário. À medida que os dentes passam no orifício de entrada, o fluido é retido entre os dentes da engrenagem e o alojamento, sendo então transportado em torno do alojamento para o orifício de saída.

Bomba do tipo rotor

Uma bomba do tipo rotor (figura 8-11) consiste essencialmente de um alojamento contendo um revestimento estacionário excêntrico, um rotor de engrenagem interno com cinco dentes largos de pequena altura; uma engrenagem motora em forma de espigão (spur) com quatro dentes estreitos, e uma capa de bomba que contém duas aberturas de forma crescente.

Uma abertura projeta-se para dentro do orifício de entrada, e a outra projeta-se para dentro do orifício de saída.]

A capa da bomba, como mostrada na figura 8-11, tem sua face de encaixe virada para cima, para mostrar claramente as aberturas em forma crescente.

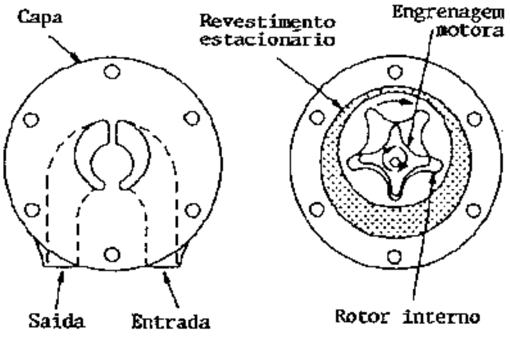


Figura 8-11 Bomba do tipo rotor.

Quando a capa é virada para cima e apropriadamente instalada no alojamento da bomba, ela terá seu orifício de entrada à esquerda, e o de saída à direita.

Durante a operação da bomba, as engrenagens giram no sentido horário. À medida que os espaços coletores que se encontram no lado esquerdo da bomba movem-se de uma posição inferior máxima em direção a uma posição superior máxima, os coletores aumentarão em tamanho (figura 8-11), resultando na produção de um vácuo parcial dentro desses coletores. Quando os coletores abrem no orifício de entrada, o fluido é sugado para dentro deles. Como esses espaços coletores (agora cheios de fluido) giram sobre o lado direito da bomba, movendo-se da posição alta máxima em direção à posição baixa máxima, eles diminuem de tamanho. Isso resulta na expulsão do fluido dos coletores através do orifício de saída.

Bomba do tipo palheta

A bomba do tipo palheta (figura 8-12) consiste de um alojamento contendo quatro palhetas (lâminas), um rotor oco de aço com ranhuras para as palhetas, e um acoplamento para girar o rotor. O rotor é posicionado excentricamente dentro da luva.

As palhetas, que estão montadas nas ranhuras do rotor, juntas com o rotor, dividem o núcleo da luva em quatro seções.

À medida que o rotor gira cada seção, uma de cada vez, passa em um ponto onde o seu volume está no mínimo, e em outro ponto onde o seu volume está no máximo. O volume gradualmente aumenta de um mínimo a um máximo durante metade de uma revolução. E gradualmente diminui de um máximo para um mínimo durante a segunda metade da revolução.

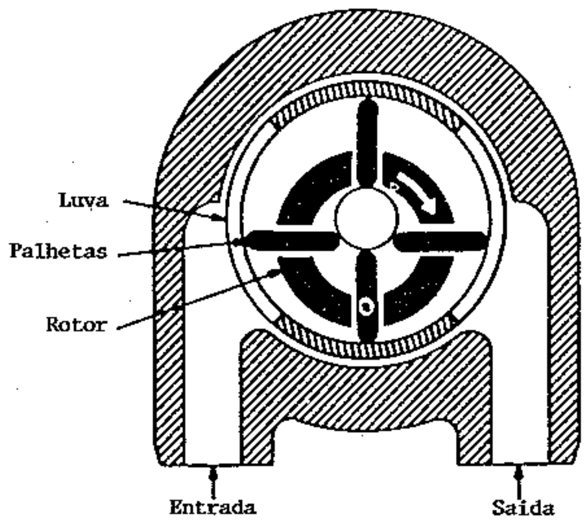

Luva
Palhetas
Rotor
Entrada
Saida

Figura 8-12 Bomba do tipo palheta.

À medida que o volume de uma dada seção está aumentando, ela é conectada ao orifício de entrada da bomba através de uma abertura na luva. Desde que um vácuo parcial é produzido pelo aumento do volume da seção, o fluido é drenado para a seção através do orifício de entrada da bomba e da abertura na luva.

À medida que o rotor gira através da segunda metade da revolução, e o volume de uma dada seção está diminuindo, o fluido é deslocado para fora da seção através da ranhura na luva do orifício de saída e para fora da bomba.

Bomba do tipo pistão

As características comuns de projeto e operação, que são aplicáveis a todas as bombas hidráulicas do tipo pistão, estão descritas nos parágrafos seguintes. As bombas mecânicas do tipo pistão têm bases de apoio flangeadas, com a finalidade da montagem das bombas na seção de acionamento dos acessórios dos motores da aeronave e transmissões.

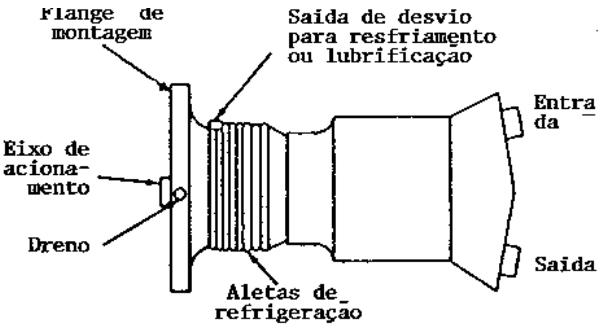

Flange de montagem
Saida de desvio para resfriamento ou lubrificaçao
Entrada
Eixo de acionamento
Dreno
Saida
Aletas de refrigeração

Figura 8-13 Bomba hidráulica do tipo pistão.

Um eixo motriz da bomba que gira o mecanismo, projeta-se do alojamento da bomba ligeiramente, além da base de montagem (figura 8-13).

O torque da unidade motora é transmitido ao eixo motriz da bomba por um dispositivo de acoplamento (figura 8-14). Esse dispositivo de acoplamento é um eixo curto estriado em ambas as extremidades. Essas estrias engrazam na roda motriz em uma extremidade; e na bomba em outra extremidade.

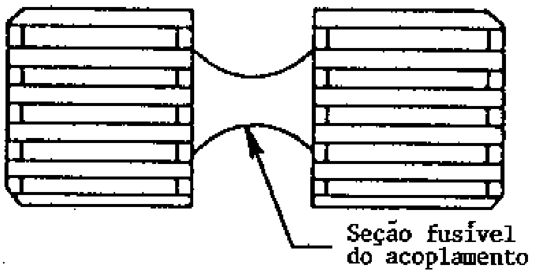

Seção fusível do acoplamento

Figura 8-14 Dispositivo de acoplamento da bomba.

Os acopladores de bomba são projetados para servirem também como dispositivos de segurança. A seção de cisalhamento do dispositivo de acoplamento, localizada no meio entre as duas extremidades estriadas, é de menor diâmetro que a parte estriada. Se a bomba se tornar dura para girar, esta seção irá cisalhar, protegendo a bomba ou a unidade motriz quanto a danos.

O mecanismo básico de bombeamento das bombas tipo pistão (figura 8-15) consiste em um bloco cilíndrico com múltiplos furos cilíndricos, um pistão para cada furo, e um dispositivo de válvulas para cada furo. A finalidade desse dispositivo é permitir a entrada e a saída do fluido quando a bomba estiver em funcionamento.

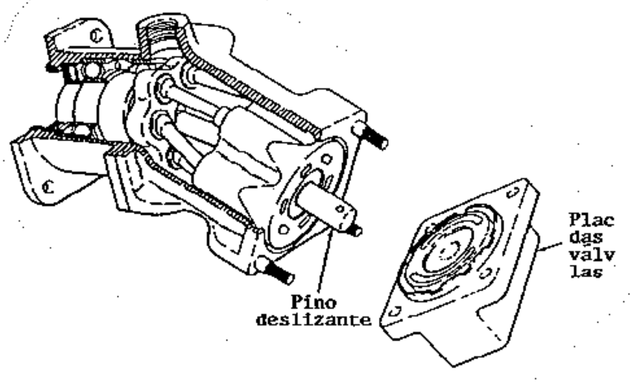

Placa das valvulas
Pino deslizante

Figura 8-15 Mecanismo da bomba a pistão tipo axial.

Os furos cilíndricos estão dispostos paralelamente e simetricamente em torno do eixo da bomba.

O termo “bomba a pistão axial” é usado freqüentemente ao se referir a bombas com esse dispositivo. Todas as bombas a pistão-axial de aeronave têm um número ímpar de pistões (5, 7, 9, 11, etc).

BOMBA A PISTÃO TIPO ANGULAR

Uma bomba do tipo angular típica é mostrada na figura 8-16. O alojamento angular da bomba forma um ângulo, correspondente ao que existe entre o bloco cilíndrico e a placa do eixo acionador, onde os pistões estão fixos. É esta configuração angular da bomba que faz com que os pistões se desloquem, à medida que seu eixo é girado.

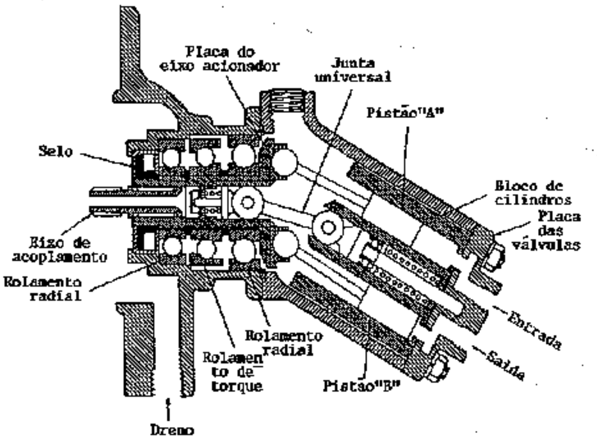


Figura 8-16 Bomba a pistão tipo angular.

Quando a bomba é operada, todas as partes dentro dela (exceto a pista externa dos rolamentos que apóiam o eixo acionador, o pino deslizante do cilindro sobre o qual o bloco cilíndrico gira, e o selo de óleo) giram juntas, como um conjunto rotativo.

Devido ao ângulo entre o eixo acionador e o bloco cilíndrico, num ponto de rotação do conjunto rotativo, uma distância mínima existe entre o topo do bloco cilíndrico e a face superior da placa do eixo acionador.

Em um ponto de rotação a 180º, a distância entre o topo do bloco cilíndrico e a face superior da placa do eixo acionador está no máximo.

Em um momento qualquer da operação, três dos pistões estarão se distanciando da face superior do bloco cilíndrico, produzindo um vácuo parcial, onde esses pistões atuam. O fluido será drenado para esses furos cilíndricos nesse momento.

O movimento dos pistões quando sugando e expelindo fluido é projetado de tal forma,que a descarga de fluido da bomba é praticamente constante.

Bonba do tipo de ressalto

A bomba do tipo de ressalto (figura 8-17) utiliza um ressalto para provocar o deslocamento dos pistões. Existem duas variações de bombas de ressalto; uma na qual o ressalto gira e o bloco cilíndrico é estacionário; e outra na qual o ressalto fica estacionário e o bloco cilíndrico é rotativo.

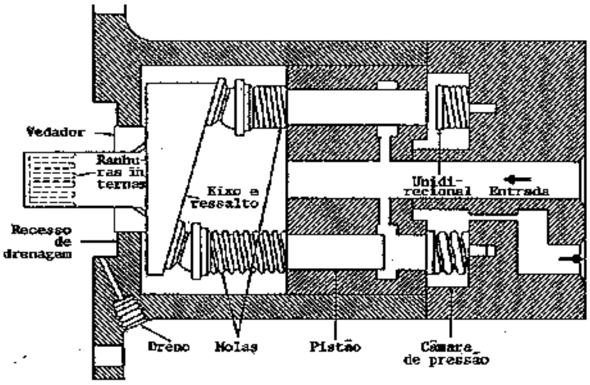


Figura 8-17 Bomba do tipo ressalto.

Como um exemplo da maneira com que os pistões de uma bomba tipo ressalto são movimentados, a operação de uma bomba do tipo ressalto rotativo é descrita a seguir: à medida que o ressalto gira, seus pontos altos e baixos passam alternadamente e, um de cada vez, sob cada pistão. Quando a rampa de subida do ressalto passa sob o pistão, ela empurra o pistão em direção à sua cavidade, fazendo com que o fluido seja expelido. Quando a rampa de descida do ressalto passa sob um pistão, a mola de retorno desse pistão projeta-o para fora da sua cavidade. Isso faz com que o fluido seja sugado para dentro da sua cavidade.

Devido o movimento dos pistões, quando sugando ou expelindo fluido, ser de natureza sobreposta, a descarga do fluido de uma bomba do tipo de ressalto é praticamente constante.

Cada cavidade tem uma válvula unidirecional que abre para permitir que o fluido seja expelido da cavidade pelo movimento do pistão. Essas válvulas fecham durante o movimento de entrada de óleo dos pistões. Devido a isso, a entrada de fluido nas cavidades somente pode ser feita através da passagem central.

REGULAGEM DA PRESSÃO

A pressão hidráulica deve ser regulada, de maneira a usá-la para cumprir as funções desejadas. Os sistemas de regulagem de pressão usarão sempre três dispositivos elementares: uma válvula de alívio, um regulador e um medidor de pressão.

Valvulas de alivio de pressão

Uma válvula de alívio de pressão é usada para limitar a quantidade de pressão que está sendo exercida em um líquido confinado. Isso é necessário para prevenir a falha dos componentes, ou ruptura das linhas hidráulicas sob pressão excessiva. A válvula de alívio é, de fato, uma válvula de segurança do sistema.

O projeto das válvulas de alívio de pressão incorpora válvulas ajustáveis por pressão de mola. Elas são instaladas, e descarregam o fluido da linha de pressão para a linha de retorno ao reservatório, quando a pressão excede a um máximo pré-determinado para o qual a válvula foi ajustada.

Vários tipos e desenhos de válvulas de alívio de pressão estão em uso, mas em geral, todas elas empregam um dispositivo de regulagem sob pressão de mola, operado por pressão hidráulica e tensão de mola. As válvulas de alívio de pressão são ajustadas pelo aumento ou diminuição da tensão sobre a mola, para determinar a pressão requerida para a abertura da válvula. Dois modelos gerais de válvulas de alívio de pressão, a de duas entradas e a de quatro entradas são ilustradas na figura 8-18.

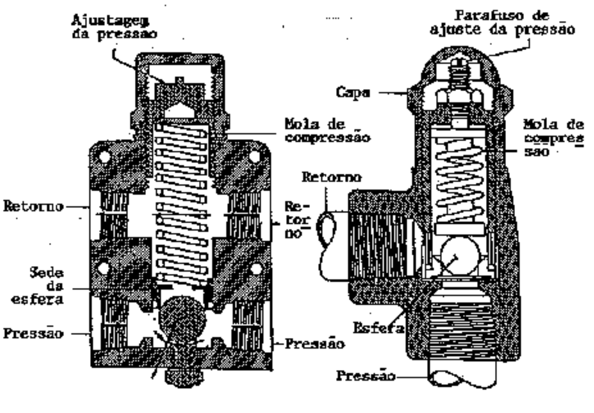


Figura 8-18 Válvulas de alívio da pressão.

As válvulas de alívio de pressão podem ser classificadas quanto ao seu tipo de construção ou usos no sistema. Todavia, a finalidade geral e a operação de todas as válvulas de pressão são as mesmas. A diferença básica na construção das válvulas de alívio de pressão está no seu desenho. Os tipos mais comuns de válvulas são:

1) Tipo esfera - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado de esfera, a esfera repousa sobre um batente com o seu contorno. Uma pressão atuando sobre a base da esfera empurra-a para fora do seu batente, permitindo a passagem do fluido.

2) Tipo luva - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado de luva, a esfera permanece estacionária, e o batente tipo luva é movimentado pela pressão do fluido. Isso permite ao fluido passar entre a esfera e a sede da luva deslizante.

3) Tipo gatilho - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado do tipo gatilho, um gatilho em forma cônica pode ter qualquer uma entre várias configurações de projeto; todavia, ela é basicamente um cone e uma sede usinados em ângulos casados para prevenir contra a fuga de fluido. À medida que a pressão sobe ao seu ajuste pré-determinado, o gatilho é levantado para fora da sua sede, como no dispositivo de esfera. Isso permite ao fluido passar através da abertura criada e sair pela abertura de retorno.

As válvulas de alívio de pressão não podem ser usadas como reguladoras de pressão em grandes sistemas hidráulicos, que dependem de bombas mecânicas acionadas pelo motor da aeronave como fonte básica de pressão, porque a bomba está constantemente sob pressão, e a energia gasta na manutenção da válvula de alívio de pressão fora do seu batente é transformada em calor.

Esse calor é transferido para o fluido e, por sua vez, aos anéis de vedação, provocando sua rápida deterioração. As válvulas de alívio de pressão, todavia, podem ser usadas como reguladores em pequenos sistemas de baixa pressão; ou quando a bomba é eletricamente acionada e de uso intermitente. As válvulas de alívio de pressão podem ser usadas como:

1) Válvulas de alívio do sistema - O uso mais comum das válvulas de alívio de pressão é como um dispositivo de segurança contra a possibilidade de falha do compensador da bomba ou outros dispositivos de regulagem de pressão. Todos os sistemas hidráulicos, que têm bombas hidráulicas, incorporam válvulas de alívio de pressão como dispositivos de segurança.

2) Válvulas de alívio térmico - A válvula de alívio de pressão é usada para aliviar as pressões excessivas, que possam existir devido à expansão térmica do fluido.

Reguladores de pressão

O termo "REGULADOR DE PRESSÃO" é aplicado ao dispositivo usado nos sistemas hidráulicos, que são pressurizados pelas bombas do tipo de fluxo constante. Uma finalidade do regulador de pressão é controlar a saída da bomba para manter a pressão de operação do sistema dentro de uma faixa pré-determinada. Outra finalidade é permitir à bomba girar sem resistência (período quando a bomba não está sob carga), nos momentos em que a pressão no sistema está dentro da sua faixa normal de operação. O regulador de pressão está, desse modo, localizado no sistema, no qual a saída da bomba pode alcançar o circuito de pressão somente passando através do regulador. A combinação de uma bomba do tipo de fluxo constante e um regulador de pressão é virtualmente o equivalente à bomba do tipo fluxo variável, controlada por compensador.

Medidores de pressão

Tem como finalidade medir a pressão no sistema hidráulico, usado para operar as unidades hidráulicas das aeronaves. O medidor usa um tubo de Bourdon e um dispositivo mecânico para transmitir a expansão do tubo ao indicador.

Uma tomada de ar no fundo da caixa mantém a pressão atmosférica em torno do tubo de Bourdon.

Ela também proporciona um dreno para qualquer umidade acumulada. Existem várias faixas de pressão usadas nos sistemas hidráulicos, e os medidores são calibrados para se adaptarem com os sistemas nos quais eles estão ligados.

ACUMULADORES

O acumulador é uma esfera de aço dividida em duas câmaras por um diafragma de borracha sintética.

A câmara superior contém fluido sob pressão do sistema, enquanto que a câmara inferior está carregada com ar. A função de um acumulador é:

a) Amortecer as oscilações de pressão surgidas no sistema hidráulico, causadas pela atuação de uma unidade e do esforço da bomba, que mantém a pressão a um nível pré-ajustado.

b) Auxiliar ou suplementar a bomba mecânica quando várias unidades estão operando ao mesmo tempo, pelo suprimento de pressão extra de sua pressão estocada ou "acumulada".

c) Estocar pressão para a operação limitada de uma unidade hidráulica, quando a bomba não estiver operando.

d) Suprir fluido sob pressão para compensar pequenas perdas, internas ou externas (não desejadas), que poderiam produzir no sistema uma vibração contínua, pela ação das contínuas colisões de pressão.

Acumuladores do tipo Diafragma

Os acumuladores do tipo diafragma consistem de duas metades de esferas ocas presas juntas pela linha do centro.

Uma dessas metades tem um conector para fixação da unidade ao sistema; a outra metade é equipada com uma válvula para o carregamento da unidade com ar comprimido.

Montado entre as duas partes está um diafragma de borracha sintética que divide o tanque em dois compartimentos. Uma tela cobre a saída sobre o lado do fluido do acumulador. Isso previne que uma parte do diafragma seja empurrado para o orifício de pressão do sistema e ser danificado.

Isso poderia acontecer sempre que existisse uma pressão de ar na unidade, e não houvesse pressão de fluido em balanço. Em algumas unidades, um disco metálico fixo ao centro do diafragma é usado em lugar da tela. (ver figura 8-19).

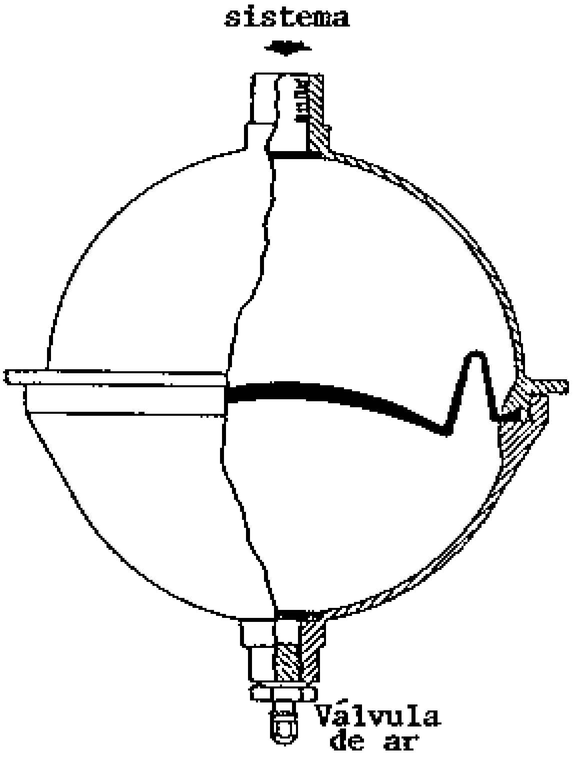


Figura 8-19 Acumulador tipo diafragma.

Acumuladores do tipo balão

O acumulador do tipo balão opera, baseado no mesmo princípio do tipo diafragma. Ele serve para a mesma função, mas varia na construção. Esta unidade consiste em uma peça esférica de metal com uma entrada de pressão de fluido no topo. Existe uma abertura no fundo para a inserção do balão.

Um grande bujão atarraxado ao fundo do acumulador retém o balão e também veda a unidade.

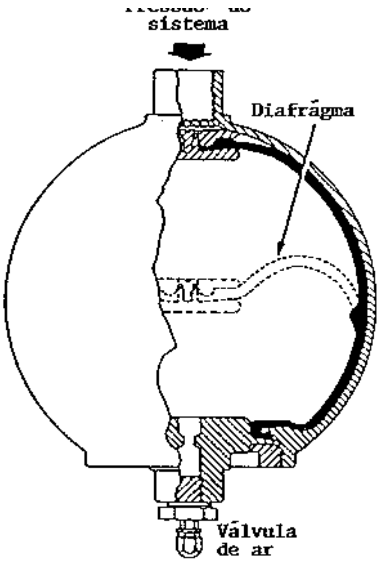


Figura 8-20 Acumulador do tipo balão.

Acumuladores do tipo pistão

O acumulador do tipo pistão, também serve para a mesma finalidade, e opera muito semelhantemente aos de diafragma e de balão. Como mostrado na figura 8-21 esta unidade é um cilindro (B) e um conjunto de pistão (E) com aberturas em cada extremidade.

A pressão de fluido do sistema entra na abertura do topo (A) e força o pistão para baixo contra a pressão de ar no fundo da câmara (D). Uma válvula de ar de alta-pressão (C) está localizada no fundo do cilindro para reabastecer a unidade. Existem dois selos de borracha (representado pelos pontos pretos), que previnem contra a fuga entre as duas câmaras (D e C). Uma passagem (F) é aberta do lado do fluido do pistão para o espaço entre os selos. Isso proporciona lubrificação entre as paredes do cilindro e o pistão.

Manutenção de acumuladores

A manutenção de acumuladores consiste em inspeções, pequenos reparos, substituições de partes componentes e teste. Existe um elemento de perigo na manutenção de acumuladores. Portanto, precauções apropriadas devem ser observadas estritamente para a prevenção de ferimentos e danos.

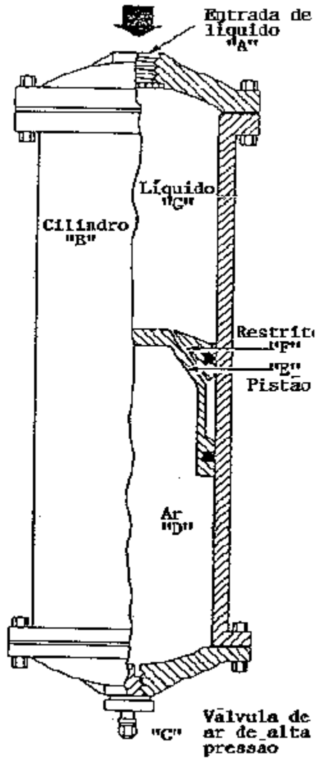


Figura 8-21 Acumulador tipo pistão.

ANTES DE DESMONTARMOS QUALQUER ACUMULADOR, NOS ASSEGURAMOS DE QUE TODA A PRESSÃO DO AR PRÉ-CARREGADA (OU NITROGÊNIO) TENHA SIDO DESCARREGADA. A OMISSÃO EM ALIVIAR O AR PODE RESULTAR EM DANOS SÉRIOS AO MECÂNICO. (ANTES DE FAZERMOS ESSA VERIFICAÇÃO, DEVEMOS TER CERTEZA DE QUE CONHECEMOS O TIPO DE VÁLVULA DE AR DE ALTA PRESSÃO USADA.) QUANDO, FINALMENTE, TODA A PRESSÃO DE AR TIVER SIDO REMOVIDA, ABRIMOS A UNIDADE. AS INSTRUÇÕES DOS FABRICANTES DEVEM SER SEGUIDAS.

Valvulas undirecionais

Para que os sistemas e componentes hidráulicos operem como previsto, o fluxo de fluido deve ser rigidamente controlado. Muitos tipos de unidades de válvulas são usadas para exercer tal controle. Uma das mais simples e mais comumente usada é a válvula unidirecional, a qual permite o livre fluxo do fluido em uma direção, mas não o permite no outro sentido, ou o faz com restrição.

As válvulas unidirecionais são feitas em dois projetos gerais para servir a duas diferentes necessidades. Em um, a válvula unidirecional é completa nela mesma. Ela é interconectada com outros componentes, com os quais ela opera através de tubulação ou mangueira. As válvulas unidirecionais desse tipo são comumente chamadas válvulas unidirecionais em linha. Existem dois tipos de válvula unidirecionais em linha, a tipo simples e a tipo orifício. (ver figura 8-22).

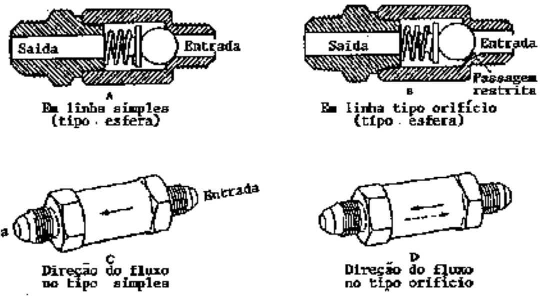

Saída
Entrada
A
Em linha simples (tipo esfera)
Saída
Entrada
Passagem restrita
B
Em linha tipo orifício (tipo esfera)
Saída
Entrada
C
Direção do fluxo no tipo simples
D
Direção do fluxo no tipo orifício

Figura 8-22 Válvulas unidirecionais típicas.

No outro projeto, a válvula unidirecional não é completa em si mesma, devido a ela não ter um alojamento exclusivamente próprio. As válvulas unidirecionais desse modelo são comumente chamadas válvulas unidirecionais integrais. Essa válvula é, na verdade, uma peça integral de algum componente maior e, como tal, compartilha o alojamento com esse componente.

Válvula undirecional em linha

A válvula unidirecional em linha tipo simples (normalmente chamada válvula unidirecional) é usada quando um fluxo total de fluído é desejado em somente uma direção (figura 8-22A).

O fluido entra no orifício de entrada da válvula unidirecional, forçando-a a sair do seu alojamento contra a restrição da mola. Isso permite ao fluido seguir através da passagem então aberta.

No exato momento em que o fluido para de se mover nessa direção, a mola retorna a válvula para a sua sede, e bloqueia o fluxo reverso de fluido através da válvula.

Válvula undirecional do tipo orifício

A válvula unidirecional em linha tipo orifício (figura 8-22B), é usada para permitir uma velocidade normal de operação de um mecanismo pelo fornecimento de um fluxo de fluido em uma direção, enquanto permite uma velocidade limitada de operação através de um fluxo restrito na direção oposta.

A operação da válvula unidirecional em linha tipo orifício é o mesmo da válvula unidirecional em linha tipo simples, exceto quanto ao fluxo restrito permitido quando fechado. Isso é conseguido por uma segunda abertura na sede da válvula, que nunca está fechada, de tal maneira que algum fluxo reverso pode ocorrer através da válvula. A segunda abertura é muito menor que a abertura na sede da válvula. Como uma regra, é de um tamanho específico, de modo a manter um controle total sobre a razão na qual o fluido pode voltar através da válvula. Esse tipo de válvula é chamado, algumas vezes, de válvula de amortecimento.

A direção do fluido através das válvulas unidirecionais em linha é normalmente indicado por uma seta estampada sobre a carcaça (figura 8-22 C e D) Em uma válvula unidirecional, em linha tipo simples, uma única seta aponta para a direção do fluido.

A válvula unidirecional em linha do tipo orifício é geralmente marcada com duas setas. Uma seta é mais pronunciada que a outra, e indica a direção do fluxo irrestrito. A outra seta, ou é menor que a primeira ou é construída em linhas pontilhadas; apontando no sentido do fluxo reverso restrito de fluido.

Em adição às válvulas unidirecionais em linha do tipo esfera, mostrada na figura 8-22, outros tipos de válvulas tais como discos, agulhas e gatilhos são usadas.

Os princípios de operação das válvulas unidirecionais integrais são os mesmos das válvulas unidirecionais em linha.

Válvulas para desconexão rápida ou para desconexão de linha

Essas válvulas são instaladas nas linhas hidráulicas para prevenir perda de fluido quando as unidades são removidas. Tais válvulas são instaladas nas linhas de pressão e sucção do sistema, justamente antes e imediatamente após a bomba mecânica.

Essas válvulas também podem ser usadas com outras finalidades, além da substituição de unidades do sistema e um teste hidráulico estacionário conectado em seu lugar.

Essas válvulas consistem de duas seções interligadas, acopladas juntas por uma porca quando instaladas no sistema. Cada seção da válvula tem um pistão e uma válvula de gatilho montados. Eles estão sob pressão de mola, na posição fechada quando a unidade é desconectada.

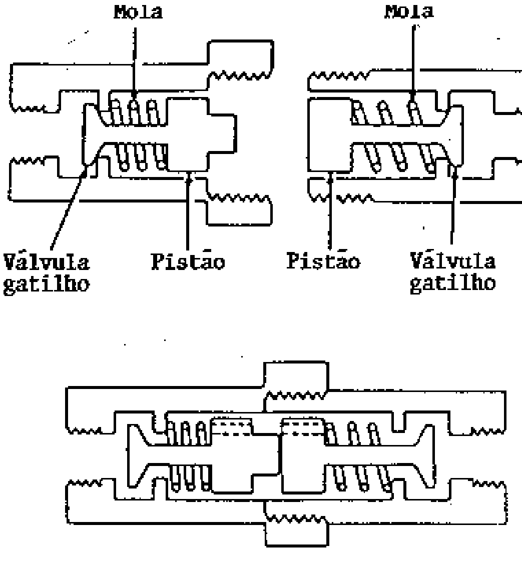


Figura 8-23 Válvula de desconexão rápida.

A ilustração superior da figura 8-23 mostra a válvula na posição desconectada da linha. As duas molas (a e b) mantêm as válvulas de gatilho (c e f) na posição fechada, como mostrado. Isso impede a perda de fluido através da linha desconectada.

A ilustração inferior da figura 8-23 mostra a válvula na posição conectada na linha. Quando a válvula está sendo conectada, a porca de acoplamento une as duas seções. A extensão (d ou e) em um dos pistões, força o pistão oposto de volta contra a sua mola. Esta ação move a válvula gatilho para fora da sua sede e permite ao fluido sair através da seção da válvula. À medida que a porca é unida firmemente, um pistão encontra um batente; e o outro, move-se para trás contra sua mola, que, por sua vez, permite a passagem do óleo. Consequentemente o fluido pode continuar através da válvula e do sistema.

A válvula de desconexão acima é somente um dos muitos tipos atualmente utilizados. Embora todas as válvulas de desconexão de linha operem com o mesmo princípio, os detalhes são variáveis. Cada fabricante tem o seu próprio desenho e configuração.

Um fator muito importante no uso da válvula de desconexão de linha é sua própria conexão. As bombas hidráulicas podem ser seriamente danificadas se as linhas desconectadas não estiverem adequadamente conectadas. Em caso de dúvida sobre a operação de desconexão de linha, consultamos o manual de operação da aeronave.

O grau de manutenção a ser desenvolvido em uma válvula de desconexão rápida é muito limitado. As partes internas desses tipos de válvulas são de construção de precisão, e montadas na fábrica. Elas são feitas com tolerâncias muito reduzidas, por isso, nenhuma tentativa deve ser feita para desmontar ou substituir as partes internas em qualquer das metades do acoplamento. Todavia, as metades do acoplamento, porcas de união e capa externa podem ser substituídos. Quando substituimos o conjunto, ou qualquer das suas partes, seguimos as instruções no manual de manutenção aplicável.

CILINDROS ATUADORES

Um cilindro atuador transforma a energia na forma de pressão hidráulica em força mecânica, ou ação, para executar um trabalho.

Ele é usado para conceder potência em um movimento linear a algum mecanismo ou objeto móvel.

Um cilindro atuador típico consiste basicamente de um alojamento cilindrico, um ou mais pistões, e hastes de pistão e alguns selos. O alojamento do cilindro contém um núcleo polido, no qual o pistão opera em uma ou mais entradas, através das quais o fluido entra e sai do núcleo cilíndrico. O pistão e a haste formam um conjunto. O pistão move-se para a frente e para trás dentro do núcleo cilíndrico e uma haste fixa no pistão move-se para dentro e para fora do alojamento do cilindro, através de uma abertura em um dos lados do alojamento cilíndrico.

Os selos são usados para evitar vazamentos entre o pistão e o núcleo cilíndrico, e entre a haste do pistão e a extremidade do cilindro. Ambos, o alojamento do cilindro e a haste do pistão têm dispositivos para montagem e para fixação a um objeto ou mecanismo, que deve ser movido pela atuação do cilindro.

Os cilindros atuadores são de dois tipos principais: (1) de ação única e (2) dupla ação. O de ação única (única entrada) é um cilindro atuador capaz de produzir movimento de força em apenas uma direção. O cilindro atuador de dupla ação (duas entradas) é capaz de produzir movimento de força em duas direções.

Cilindro atuador de ação única

Um cilindro atuador de ação única é ilustrado na figura 8-24. O fluido sob pressão entra no orifício à esquerda e empurra contra a face do pistão, forçando-o para a direita.

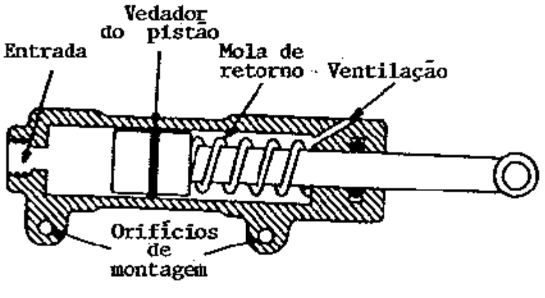


Figura 8-24 Cilindro atuador de ação única.

À medida em que o pistão se move, o ar é empurrado para fora da câmara da mola através do orifício de ventilação, comprimindo-a. Quando a pressão no fluido é aliviada para o ponto em que ela exerça menos força, que a apresentada na mola comprimida, a mola empurra o pistão para a esquerda.

À medida em que o pistão se move para a esquerda, o fluido é forçado para fora pelo orifício. Ao mesmo tempo, o movimento do pistão suga o ar para a câmada da mola através do orifício de ventilação. Uma válvula de controle de três posições normalmente é usada para controle da operação de um cilindro atuador de ação única.

Cilindro atuador de dupla ação

Um cilindro atuador de dupla ação (duas entradas) está ilustrado na figura 8-25. A operação de um cilindro atuador de dupla ação é usualmente controlado por uma válvula seletora de quatro posições. A figura 8-26 mostra um cilindro atuador interconectado com uma válvula seletora. A operação da válvula seletora e do cilindro atuador será discutida adiante.

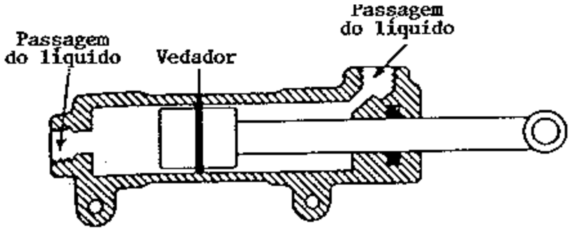


Figura 8-25 Cilindro atuador de dupla ação.

Colocando a válvula seletora na posição "ON" (figura 8-26A) admite-se pressão de fluido para a câmara esquerda do cilindro atuador. Isso resulta no pistão ser forçado para a direita. À medida em que o pistão se move à direita, ele empurra o fluido de retorno para fora da câmara direita e, através da válvula seletora, para o reservatório.

Quando a válvula seletora é colocada em sua outra posição "ON", como ilustrado na figura 8-26B, a pressão de fluido entra na câmara direìta, forçando o pistão para a esquerda. À medida em que o pistão se move para a esquerda, ele empurra o fluido de retorno para fora da câmara e, através da válvula seletora, para o reservatório. Além de ter a capacidade de mover uma carga para essa posição, o cilindro atuador de dupla ação também tem a capacidade de mantê-lo nessa posição.

Essa capacidade existe, porque, quando a válvula seletora usada no controle da operação

.do cilindro atuador é colocada na posição “OFF”, o fluido fica retido nas câmaras, em ambos os lados do pistão do cilindro atuador.

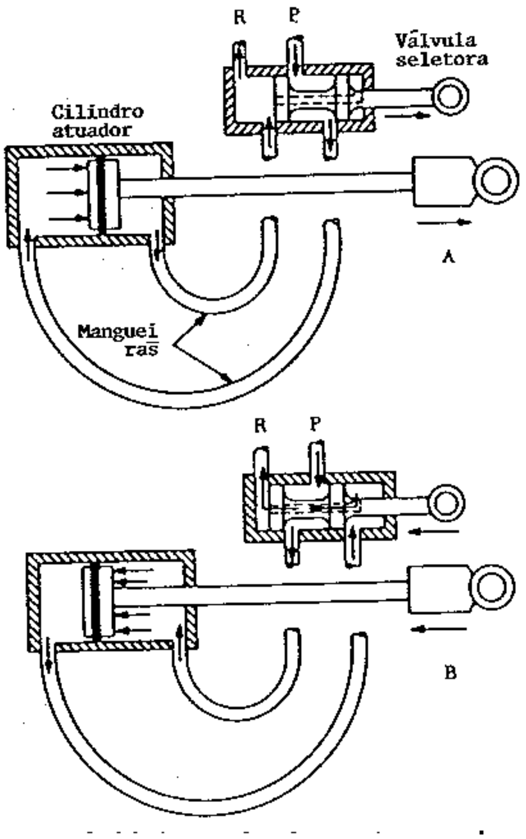
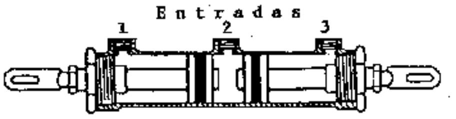
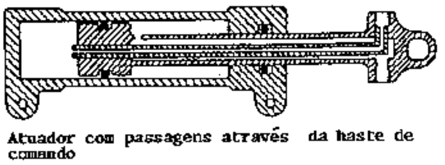


Figura 8-26 Controle do movimento do cilindro de atuação.

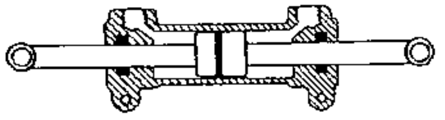
Além dos dois modelos gerais de cilindros atuadores discutidos (única ação e dupla ação), outros tipos estão disponíveis. A figura 8-27 mostra três tipos adicionais.



Atuador de três entradas



Atuador com passagens através da haste de comando



Atuador de dupla ação tendo conexão nas duas hastes

Figura 8-27 Tipos de cilindros de atuação.

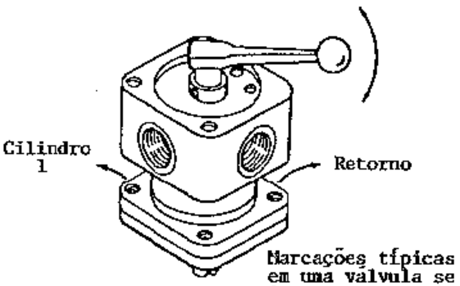
VÁLVULAS SELETORAS

As válvulas seletoras são usadas para controlar a direção do movimento de uma unidade atuadora. Uma válvula seletora proporciona um caminho para fluxos simultâneos de fluido hidráulico, para dentro e para fora de uma unidade atuadora conectada. Ela, também, proporciona um meio imediato e conveniente de trocar as direções nas quais os fluidos seguem através do atuador, revertendo a direção do movimento.

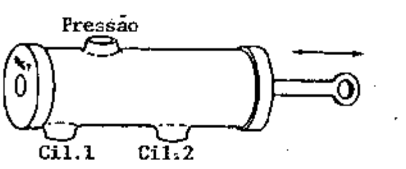
Uma entrada de uma válvula seletora típica está conectada a um sistema de linha de pressão, para a injeção de fluido sob pressão. Uma segunda passagem da válvula está conectada à linha de retorno do sistema para direcionar o fluido ao reservatório. As passagens de uma unidade atuadora através das quais o fluido entra e sai, são conectadas por linhas a outras passagens da válvula seletora.

Uma válvula seletora tem vários números de passagens. O número de passagens é determinado pelas necessidades particulares do sistema no qual a válvula é usada. As válvulas seletoras tendo quatro passagens são as mais usadas.

As passagens de uma válvula seletora (figura 8-28) são marcadas individualmente para proporcionar uma pronta identificação. As marcações mais comumente usadas são: PRESSURE (ou PRESS ou P), RETURN (ou RET ou R), CYLINDER 1 (ou CYL 1), e CYLINDER 2 (ou CYL 2).



Marcações típicas em uma válvula seletora com movimento rotativo



Marcação típica em válvula seletora com movimento deslizante

Figura 8-28 Marcações típicas em válvulas seletoras.

O uso da palavra "CYLINDER" na designação de passagens de válvulas seletora, não indica, como pode sugerir, que somente os cilindros hidráulicos devam ser conectados às passagens marcadas. De fato, qualquer tipo de unidade atuadora hidráulica pode ser conectada a essas passagens. Os números 1 e 2 são um meio conveniente de diferenciação entre as duas passagens da válvula seletora.

Válvula seletora com fechamento central de quadro passagens

Devido às quatro passagens, uma válvula seletora de fechamento central é uma das mais comumente usadas em sistemas hidráulicos de aeronave.

Ela é discutida em detalhes nos parágrafos seguintes.

Dispositivos valvulados de vários tipos tais como esferas, válvulas gatilho, rotores ou carretéis são usados nas válvulas seletoras com fechamento central de quatro passagens.

A figura 8-29A ilustra uma válvula desse tipo na posição fechada (OFF).
Todas as passagens da válvula estão bloqueadas, e o fluido não pode seguir para dentro ou para fora da válvula.

Na figura 8-29B, a válvula seletora está colocada em uma de suas posições abertas.

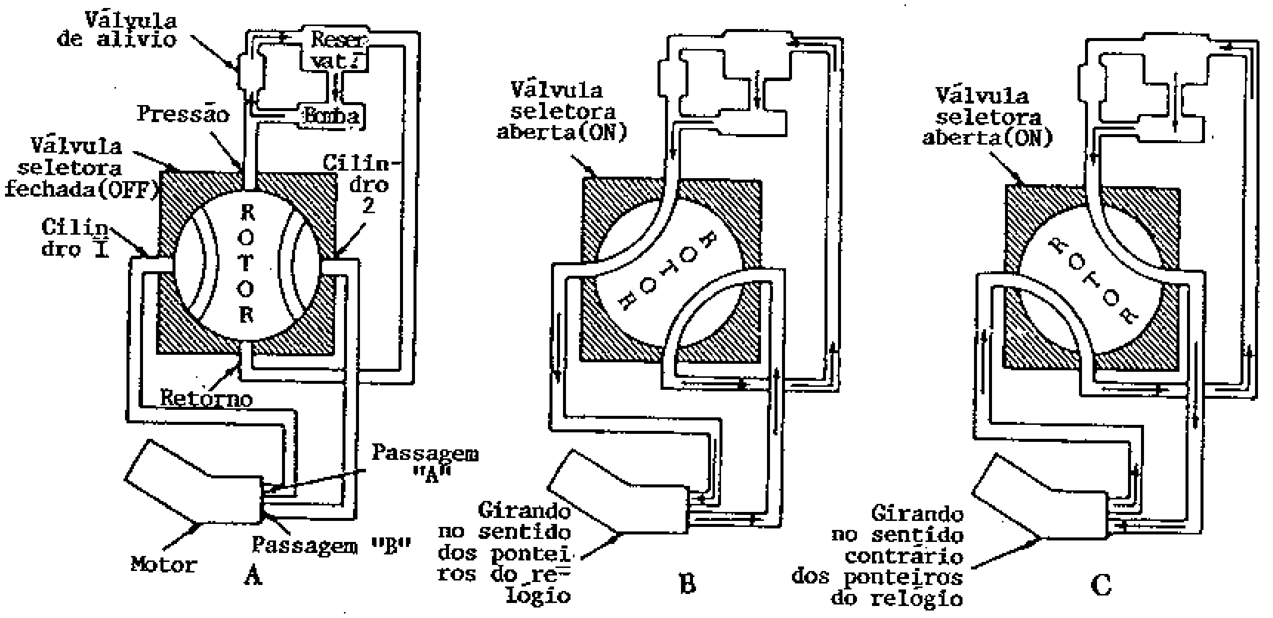

Válvula de alívio
Reser vat.
Bomba
Pressão
Válvula seletora fechada(OFF)
Cilin dro 2
Cilin dro 1
ROTOR
Retorno
Passagem "A"
Motor
Passagem "B"
A
Válvula seletora aberta(ON)
ROTOR
Girando no sentido dos ponteiros do relógio
B
Válvula seletora aberta(ON)
ROTOR
Girando no sentido contrário dos ponteiros do relógio
C

Figura 8-29 Operação da válvula seletora com fechamento central do tipo rotor.

As passagens "PRESSÃO" e "CL 1" tornam-se interligadas dentro da válvula. Como resultado, o fluido sai da bomba para a passagem "PRESS" da válvula seletora, sai da passagem "CL 1" da válvula seletora e entra na passagem "A" do motor.

O fluxo do fluido faz o motor girar no sentido horário. Simultaneamente, o fluido de retorno é forçado para fora da passagem "B" do motor, e entra na passagem "CL 2" da válvula seletora. O fluido, então, prossegue através da passagem no rotor da válvula, e deixa a válvula através da passagem "RETORNO", para o retorno.

Na figura 8-29C, a válvula seletora está colocada na outra posição "ON". A passagem "PRESSÃO" e "CL 2" tornam-se interligadas. Isso faz com que o fluido sob pressão seja entregue à passagem "B" do motor, o que faz com que o motor gire no sentido anti-horário.

O fluido de retorno deixa a passagem "A" do motor, entra na passagem "CL 1" da válvula seletora e segue através da passagem "RETORNO" da válvula seletora.

Válvula seletora tipo carretel

O dispositivo da válvula seletora é em forma de carretel (figura 8-30). O carretel é uma peça inteiriça, à prova de vazamento e deslizamento livre assentado no alojamento da válvula seletora, e que pode ser movimentado longitudinalmente no alojamento por meio de extensões, as quais projetam-se através do alojamento.

Uma passagem perfurada no carretel interliga as duas câmaras extremas da válvula seletora.

As válvulas seletoras tipo carretel são, algumas vezes, chamadas de válvulas piloto.

Quando o carretel é movimentado para a posição “OFF” da válvula seletora, as duas passagens do cilindro são diretamente bloqueadas pelos flanges do carretel (figura 8-30A). Isso indiretamente bloqueia as passagens “PRESSÃO” e “RETORNO” e o fluido não pode seguir para dentro ou para fora da válvula.

Movendo-se o carretel em direção à direita, move-se os flanges do carretel para além das passagens “CL 1” e “CL 2” (figura 8-30B). A passagem “PRESSÃO” e “CL 2” tornam-se, então, interligadas. Isso permite ao fluido, sob pressão, passar para atuar a unidade.

A passagem “RETORNO” e “CL 1” também tornam-se interligadas. Isso possibilita a abertura de um caminho para o retorno do fluido da unidade atuadora para o reservatório do sistema.

Movendo-se o carretel em direção à esquerda, move-se os flanges do carretel além das passagens “CL 1” e “CL 2” (figura 8-30C). As passagens “PRESSÃO” e ”CL 1” tornam-se interligadas. Isso permite ao fluido sob pressão seguir para a unidade atuadora.

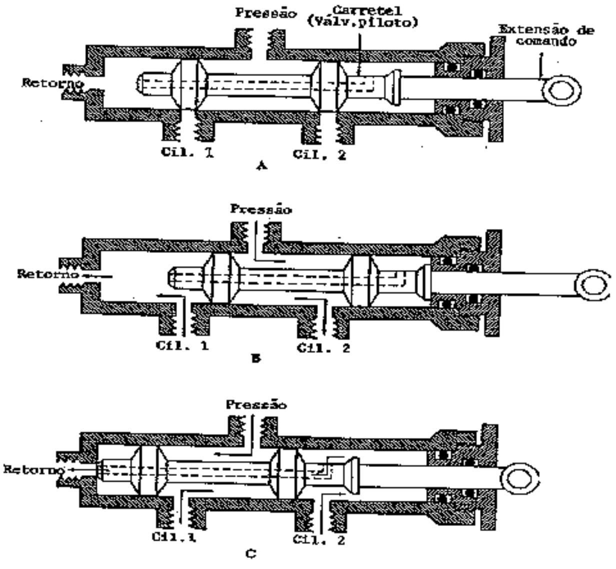


Figura 8-30 Válvula seletora do tipo carretel.

A passagem “RETORNO” e “CL 2” também tornam-se interligadas, proporcionando um caminho para o retorno do fluido da unidade atuadora para o reservatório.

SISTEMAS PNEUMÁTICOS DE AERONAVES

Alguns fabricantes equipam suas aeronaves com um sistema pneumático. Tais sistemas operam numa grande variedade do mesmo modo que o hidráulico - a única diferença é que empregam o ar ao invés do líquido, para transmissão de força. Os sistemas pneumáticos são, algumas vezes, usados para:

1) Freios.
2) Abertura e fechamento de portas.
3) Bombas de acionamento hidráulico, alternadores, motores de partida, bombas de injeção de água, etc.
4) Dispositivos de operação de emergência.

Ambos os sistemas, pneumático e hidráulico, têm unidades similares e usam fluidos confinados. A palavra “confinado” significa retiro ou completamente hermético. A palavra “fluido” implica em líquidos, tais como: água, óleo ou qualquer coisa que flua. Líquidos e gases são considerados fluidos; todavia, existe uma grande diferença nas características dos dois. Os líquidos são praticamente incomprensíveis. Um litro de água ainda ocupa cerca de um litro do espaço, independente de quanto eles sejam comprimidos. Mas os gases são altamente compresíveis; um litro de ar pode ser comprimido em um espaço muito pequeno. A despeito dessa diferença, gases e líquidos são fluidos, e podem ser confinados e usados para transmitir força.

O tipo de unidade usada para fornecer ar comprimido para sistemas pneumáticos é determinado pelas necessidades de ar comprimido do sistema.

Sistema de alta pressão

Para sistemas de alta pressão, o ar é normalmente estocado em garrafas metálicas (figura 8-31) em pressões variando de 1.000 a 3.000 p.s.i., dependendo do sistema em particular. Este tipo de garrafa de ar tem duas válvulas, uma delas é a de carregamento. Um compressor operado no solo pode ser conectado a esta válvula para injetar ar na garrafa. A outra é uma válvula de controle. Ela age como uma válvula de corte, mantendo o ar retido na garrafa até que o sistema seja operado. Embora um cilindro para estocagem de alta pressão seja leve em peso, ele tem uma desvantagem explícita. Desde que o sistema não possa ser recarregado durante o vôo, a operação fica limitada por um pequeno suprimento de garrafas de ar. Esse dispositivo não pode ser usado para uma operação contínua de um sistema.

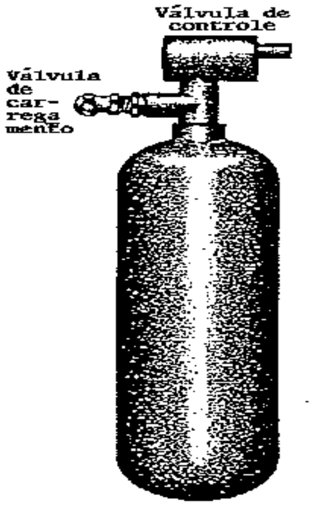


Figura 8-31 Garrafa de alta pressão de ar.

O suprimento de ar engarrafado é reservado para operação de emergência de um sistema, como um trem de pouso ou freios. A utilidade desse tipo de sistema é aumentada, todavia, se outras unidades de ar comprimido são adicionadas à aeronave.

Em algumas aeronaves, compressores de ar permanentemente instalados são incorporados para recarregar as garrafas de ar sempre que a pressão for usada para operar a unidade. Vários tipos de compressores são usados com essa finalidade. Alguns tem dois estágios de compressão enquanto outros tem três. A figura 8-32 mostra um esquema simplificado de um compressor de dois estágios; a pressão do ar na entrada é impulsionado pelo cilindro número 1 e, novamente pelo nº 2.

O compressor na figura 8-32 tem três válvulas unidirecionais. Como as válvulas unidirecionais na bomba manual hidráulica, essas unidades permitem o fluxo do fluido somente em uma direção.

Algumas fontes de força, tais como um motor elétrico ou o motor da aeronave, giram num eixo. À medida que o eixo gira, ele move um pistão para dentro e para fora de seus cilindros. Quando o pistão nº 1 move-se para a direita, a câmara no cilindro nº 1 torna-se maior, e o ar externo flui através do filtro para dentro do cilindro.

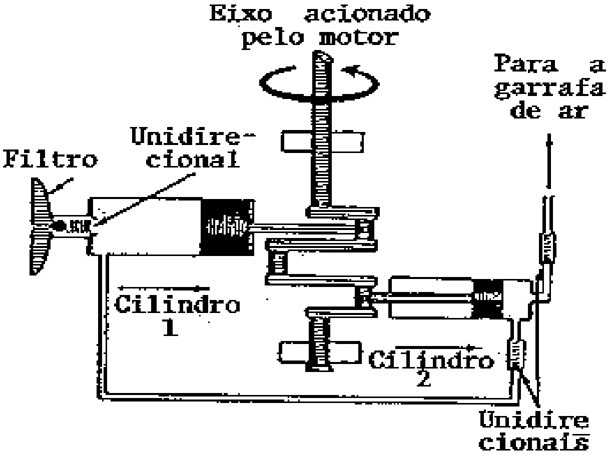


Figura 8-32 Esquema do compressor de ar de dois estágios.

À medida em que o eixo motor continua a girar, ele reverte a direção do movimento do pistão. O pistão nº 1 move-se para o fundo, dentro do seu cilindro, forçando o ar através da sua linha de pressão e dentro do cilindro nº 2. Enquanto isso, o pistão nº 2 está se movendo para fora do cilindro nº 2, de tal forma que este último cilindro possa receber o ar sob pressão. O cilindro nº 2 é menor que o cilindro nº 1; então, o ar deve ser altamente comprimido para caber no cilindro nº 2.

Na diferença, no tamanho do cilindro, o pistão nº 1 dá ao ar o seu primeiro estágio de compressão. O segundo estágio ocorre quando o pistão nº 2 move-se profundamente dentro do seu cilindro, forçando o ar em alta pressão a fluir através da linha de pressão, e entrar na garrafa de estocagem de ar.

Sistema de média pressão

Um sistema pneumático de média pressão (100-150 p.s.i.) normalmente não possui uma garrafa de ar. Em contrapartida, ele geralmente suga o ar de uma seção do compressor da turbina

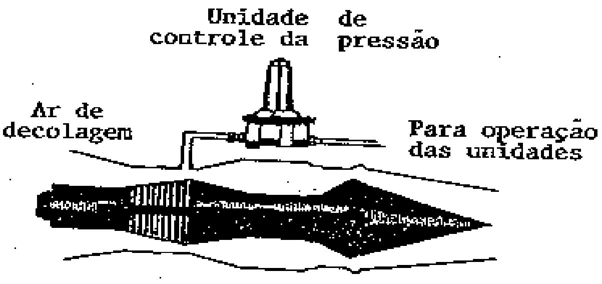


Figura 8-33 Compressor de motor a jato com sistema pneumático.

.Nesse caso, o ar deixa a turbina e flui em uma tubulação, que conduz o ar inicialmente para as unidades de controle de pressão, e daí para as unidades operadoras. A figura 8-33 mostra um compressor de motor a reação com a tomada do sistema pneumático.

Sistema de baixa pressão

Muitas aeronaves equipadas com motores convencionais obtêm um suprimento de ar de baixa pressão, de bombas tipo palheta. Essas bombas são acionadas por motores elétricos ou pelo motor da aeronave.

A figura 8-34 mostra uma via esquemática de uma dessas bombas, a qual consiste de um alojamento com duas passagens, um eixo motor e duas palhetas. O eixo motor e as palhetas possuem aberturas onde as palhetas deslizam para trás e para frente no eixo motor.

O eixo é excentricamente montado no alojamento, fazendo com que as palhetas formem quatro diferentes tamanhos de câmaras (A, B, C e D).

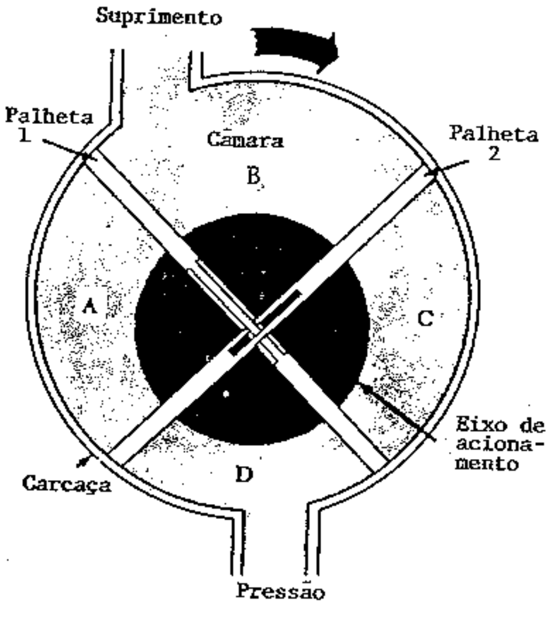


Figura 8-34 Esquema de uma bomba de ar do tipo palheta.

Na posição mostrada, "B" é a câmara maior, e está conectada à passagem de suprimento. Como descrito na ilustração, o ar exterior pode entrar na câmara "B" da bomba.

Quando a bomba começa a operar, o eixo motor gira e muda as posições das palhetas e o tamanho das câmaras. A palheta nº 1, então, move-se para a direita (figura 8-34), separando a câmara "B" da passagem de suprimento. A câmara "B" agora contém ar retido.

À medida que o eixo continua a girar, a câmara "B" se move para baixo tornando-se cada vez menor, gradualmente comprimindo o ar no seu interior.

Próximo ao fundo da bomba, a câmara "B" é conectada com a passagem de pressão, enviando ar comprimido. A câmara "B" move-se para cima novamente, aumentando de tamanho.

Na passagem de suprimento, a câmara "B" recebe outro suprimento de ar. Existem quatro câmaras nessa bomba, e cada uma trabalha nesse mesmo ciclo de operação.

Daí, a bomba entrega ao sistema pneumático um suprimento contínuo de ar comprimido de 1 a 10 p.s.i.

COMPONENTES DO SISTEMA PNEUMÁTICO

Os sistemas pneumáticos são freqüentemente comparados aos sistemas hidráulicos, mas tais comparações podem ser verdadeiras somente em termos gerais.

Os sistemas pneumáticos não utilizam reservatórios, bombas manuais, acumuladores, reguladores ou bombas eletricamente acionadas ou acionadas pelo motor da aeronave, para a geração da pressão normal. Porém, similaridades existem em alguns componentes.

Válvulas de alívio

As válvulas de alívio são usadas no sistema pneumático para prevenir danos.

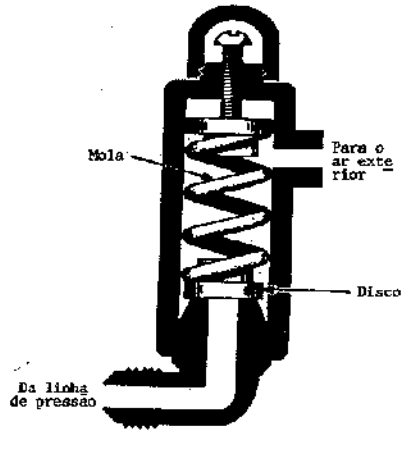


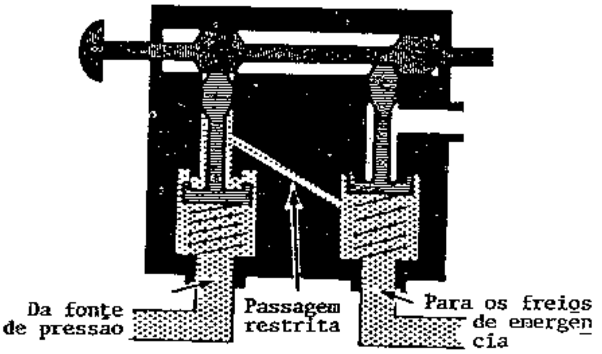
Figura 8-35 Válvula de alívio do sistema pneumático.

Elas atuam como unidades limitadoras de pressão, e previnem contra pressões excessivas, que poderiam romper as linhas e destruir os selos. A figura 8-35 ilustra uma vista em corte da válvula de alívio do sistema pneumático.

Em pressão normal, uma mola mantém a válvula fechada (figura 8-35), e o ar permanece na linha de pressão. Se a pressão se elevar muito além, a força por ela criada sobre o disco supera a tensão da mola, e abre a válvula de alívio. Então, o ar em excesso flui através da válvula, sendo eliminado como ar excedente para a atmosfera. A válvula permanece aberta até que a pressão caia para o normal.

Válvula de controle

As válvulas de controle são também peças necessárias em um sistema pneumático típico. A figura 8-36 ilustra uma válvula usada para controlar o ar dos freios de emergência. A válvula de controle consiste de um alojamento com três passagens, duas válvulas gatilho e uma alavanca de controle com dois ressaltos.



B - Válvula de controle aberta (ON)

▨ Ar comprimido

☐ Pressão atmosférica

Figura 8-36 Diagrama do fluxo de uma válvula de controle pneumático.

Na figura 8-36A, a válvula de controle é mostrada na posição “OFF”. Uma mola mantém o gatilho da esquerda fechado, de tal modo que o ar comprimido entrando na passagem de pressão não possa fluir para os freios.

Na figura 8-36B, a válvula de controle foi colocada na posição “ON”. Um ressalto da alavanca mantém a válvula gatilho da esquerda aberta, e uma mola fecha a válvula gatilho da direita.

O ar comprimido agora flui em volta da válvula gatilho aberta da esquerda através da passagem perfurada, e entra na câmara abaixo da válvula gatilho da direita, porém, como a válvula gatilho da direita está fechada, o ar sob alta pressão flui para fora pela passagem do freio, entrando na linha de freio para sua aplicação.

Para aliviar os freios, a válvula de controle é retornada para a posição “OFF” (figura 8-36A). A válvula gatilho da esquerda, agora fechada, interrompe o fluxo de ar sob alta pressão para os freios.

Ao mesmo tempo, a válvula gatilho da direita é aberta, permitindo ao ar, comprimido na linha de freio, ser eliminado através da passagem de ar para a atmosfera.

Válvulas undirecionais

As válvulas unidirecionais são usadas em ambos os sistemas, hidráulico e pneumático. A figura 8-37 ilustra uma válvula unidirecional pneumática tipo flape.

O ar entra pela passagem da esquerda da válvula, comprime uma leve mola, forçando a válvula unidirecional a abrir, e permitindo ao ar

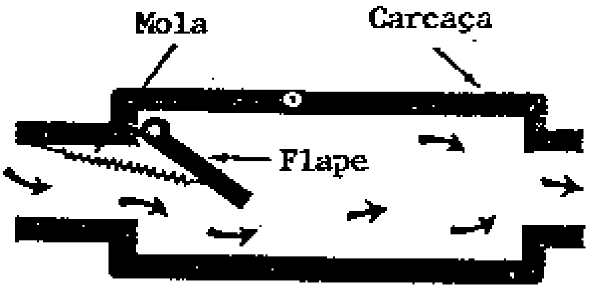


Figura 8-37 Válvula unidirecional de sistema pneumático.

O ar entra pela passagem da esquerda da válvula, comprime uma leve mola, forçando a válvula unidirecional a abrir, e permitindo ao ar fluir para fora da passagem da direita.

Se o ar entrar na passagem da direita, a pressão do ar fechará a válvula prevenindo contra a saída de um fluxo de ar pela passagem da esquerda.

Então, uma válvula pneumática unidirecional é uma válvula de controle de fluxo em uma só direção.

Restritores

Os restritores são um tipo de válvula de controle usados nos sistemas pneumáticos. A figura 8-38 ilustra um orifício do tipo restritor com uma grande passagem de entrada e uma pequena passagem de saída. A pequena passagem de saída reduz a razão do fluxo de ar e a velocidade de operação de uma unidade atuadora.

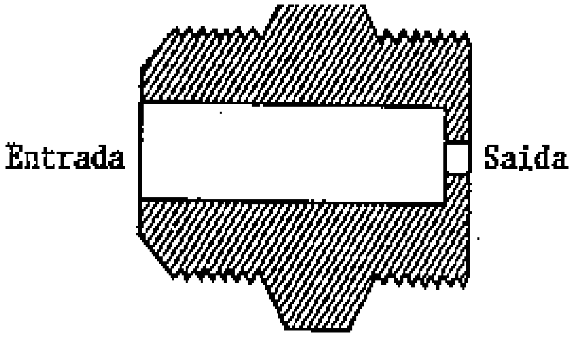

Entrada
Saida

Figura 8-38 Orifício de restrição.

Restritor variável

Outro tipo de unidade reguladora de velocidade é o restritor variável, mostrado na figura 8-39.

Ela possui uma válvula ajustável de agulha com rosca na parte superior, e uma ponta na extremidade inferior.

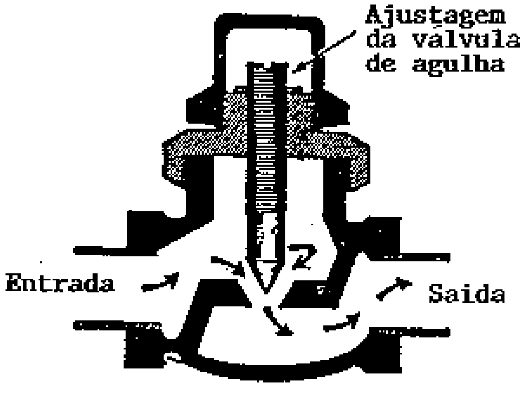

Ajustagem da válvula de agulha
Entrada
Saida

Figura 8-39 Restritor pneumático variável.

Dependendo da direção girada, a válvula de agulha movimenta sua ponta para dentro ou para fora da pequena abertura, aumentando ou diminuindo o tamanho dela.

O ar seguindo pela passagem de entrada, deve passar através dessa abertura antes de alcançar a passagem de saída. Esta regulagem também determina a razão do fluxo de ar através do restritor.

Filtros

Os sistemas pneumáticos são protegidos contra sujeira por meio de vários tipos de filtros. Um filtro micrônico (figura 8-40) consiste de um alojamento com duas passagens, um receptáculo de cartucho e uma válvula de alívio.

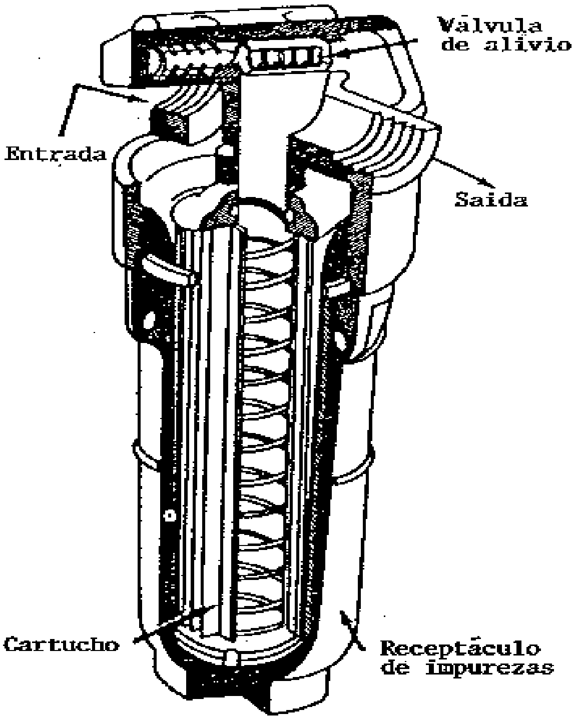

Válvula de alivio
Entrada
Saida
Cartucho
Receptáculo de impurezas

Figura 8-40 Filtro micrônico.

Normalmente, o ar passando pela entrada circula em volta do cartucho de celulose, e então flui para o centro do cartucho e daí pela passagem de saída.

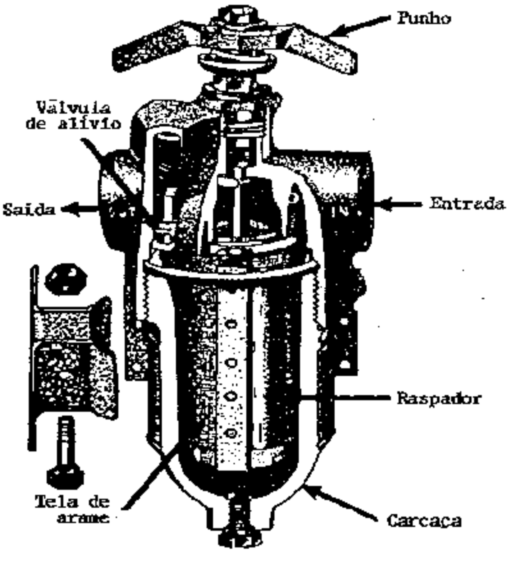

Punho
Válvula de alivio
Saida
Entrada
Raspador
Tela de arame
Carcaça

Figura 8-41 Filtro do tipo tela de arame.

Um filtro tipo tela (figura 8-41) é similar ao filtro micrônico, mas consiste de uma tela permanente de arame ao invés de um cartucho descartável.

No filtro de tela existe um punho no topo do alojamento, que é para ser usado para a limpeza, através de uma rotação da tela com um raspador metálico.

Se o sistema hidráulico principal de freio falhar, a força para atuação dos freios é obtida normalmente de algum tipo de sistema de pressurização de emergência para parar a aeronave. Em muitas ocasiões, esses sistemas de emergência, são sistemas de ar comprimido.

A figura 8-42 ilustra um tipo de sistema que utiliza ar comprimido.

Garrafa de ar

A garrafa de ar usualmente estoca suficiente quantidade de ar comprimido para várias aplicações de frenagens. Uma linha de ar de alta pressão conecta a garrafa a uma válvula que controla a operação dos freios de emergência.

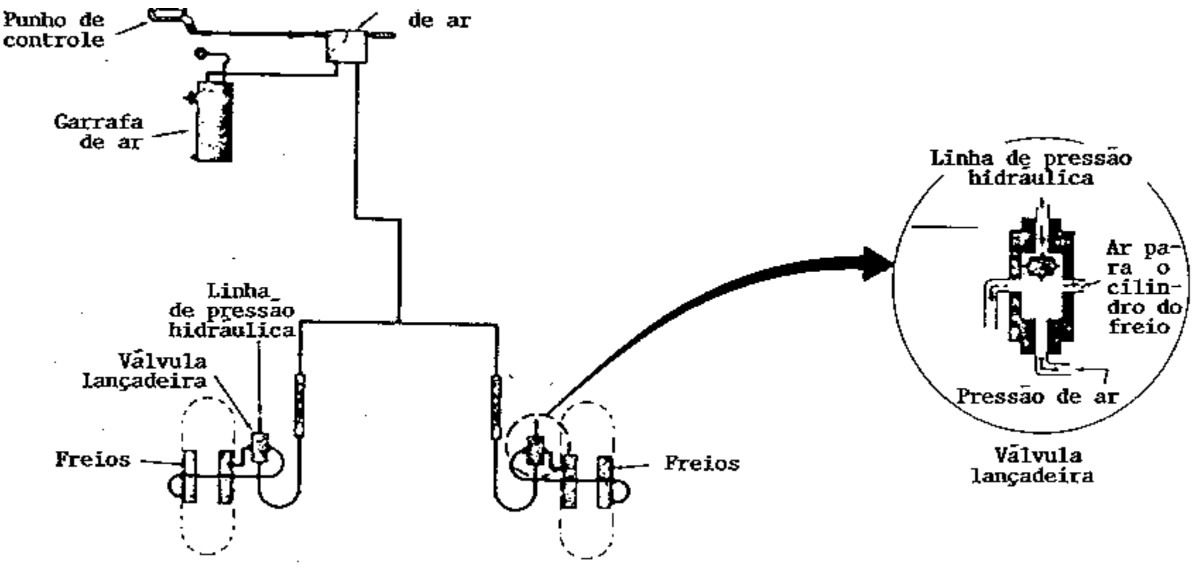


Figura 8-42 Sistema de freios de emergência a ar comprimido

Garrafa de ar

A garrafa de ar usualmente estoca suficiente quantidade de ar comprimido para várias aplicações de frenagens. Uma linha de ar de alta pressão conecta a garrafa a uma válvula que controla a operação dos freios de emergência.

Se o sistema normal de freio falhar, coloca-se a manete de controle para a válvula de ar na posição “ON”. A válvula então direciona o ar sob alta pressão para as linhas, encaminhando-o para os conjuntos de freio. Mas, antes do ar entrar nos conjuntos de freio, ele deve primeiramente fluir através de uma válvula de corte, tipo lançadeira.

Válvula de corte de freio

O conjunto circunscrito na parte superior direita da figura 8-42 mostra um tipo de válvula de corte.

A válvula consiste de um êmbolo encapsulado por um alojamento com quatro passagens. O êmbolo é uma espécie de pistão oscilante que pode ser movimentado para cima e para baixo na cavidade do alojamento. Normalmente esse êmbolo está em baixo e, nessa posição, ele fecha a passagem de ar inferior, direcionando o fluido hidráulico da passagem superior para as duas passagens laterais, sendo cada qual dirigida para um dos conjuntos de freio.

Quando os freios pneumáticos de emergência são acionados, o ar sob alta pressão eleva o êmbolo, fechando a linha hidráulica e ligando a linha de pressão às passagens laterais da válvula de corte. Essa ação envia ar sob pressão para o cilindro do freio para aplicação nos freios. Após a aplicação, e quando os freios de emergência são alivados, a válvula de ar fecha, retendo a pressão na garrafa de ar. Ao mesmo tempo, a válvula de ar deixa escapar o ar da linha pneumática de freio para a atmosfera.

Então, logo que a pressão de ar nas linhas de freio caia, o êmbolo da válvula de corte move-se para a extremidade inferior do alojamento, novamente ligando os cilindros de freio com a linha hidráulica. A pressão de ar remanescente nos cilindros de freio flui para fora na passagem superior da válvula de corte, e para a linha hidráulica de retorno.

Linhas e tubulações

As linhas para os sistemas pneumáticos consistem de tubulações rígidas de metal e mangueiras flexíveis de borracha. As linhas de fluido e conexões são estudadas com detalhes no capítulo 5 do MANUAL DE MATERIAS BÁSICAS (AC 65-9A).

SISTEMA PNEUMÁTICO TÍPICO

Um sistema pneumático, acionado pela turbina da aeronave, supre com ar comprimido vários sistemas atuadores normais e de emergência.

O ar comprimido é estocado em cilindros de estocagem nos sistemas atuadores, até ser requisitado para atuação do sistema.

Esses cilindros e as tubulações do sistema de potência são, inicialmente, carregados com ar comprimido ou nitrogênio de uma fonte externa, através de uma válvula simples de carregamento de ar.

Em vôo, o compressor repõe a pressão de ar e o volume perdido por vazamento, contração térmica e operação do sistema atuador.

O compressor é suprido com um supercarregador de ar do sistema de sangria de ar do motor. Isso assegura um adequado suprimento de ar para o compressor em todas as altitudes.

O compressor de ar pode ser acionado por um motor elétrico ou por um motor hidráulico.

O sistema descrito aqui é acionado hidraulicamente.

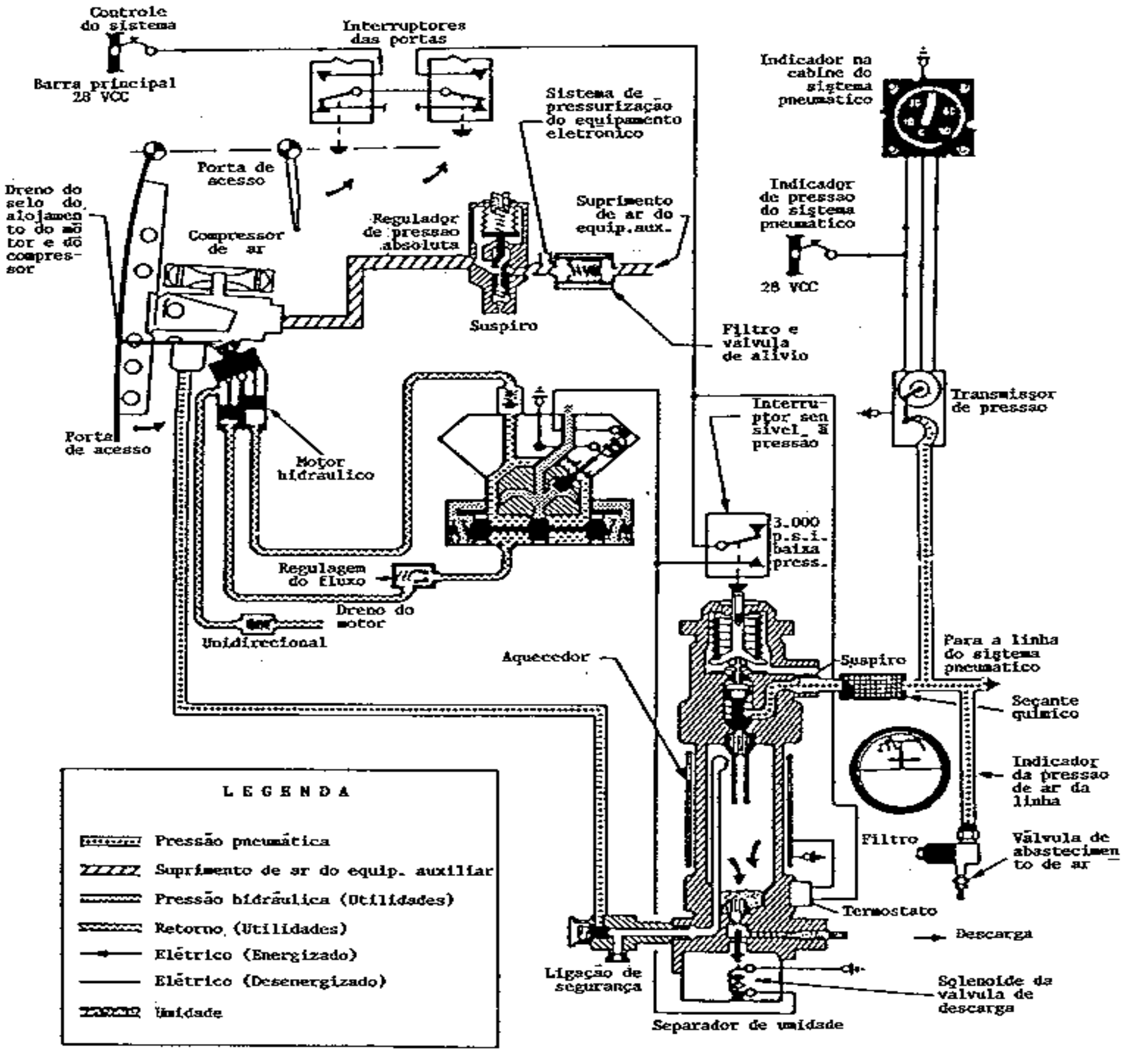

Controle do sistema
Barra principal 28 VCC
Interruptores das portas
Sistema de pressurização do equipamento eletrônico
Porta de acesso
Dreno do selo do alojamento do motor e do compressor
Compressor de ar
Regulador de pressão absoluta
Suprimento de ar do equip. aux.
Suspiro
Filtro e válvula de alívio
Indicador na cabine do sistema pneumático
Indicador de pressão do sistema pneumático
28 VCC
Transmissor de pressão
Interruptor sensível à pressão
3.000 p.s.i. baixa press.
Porta de acesso
Motor hidráulico
Regulagem do fluxo
Dreno do motor
Unidirecional
Aquecedor
Suspiro
Para a linha do sistema pneumático
Secante químico
Indicador da pressão de ar da linha
Filtro
Válvula de abastecimento de ar
Termostato
Descarga
Ligação de segurança
Solenoide da válvula de descarga
Separador de umidade
LEGENDA
Pressão pneumática
Suprimento de ar do equip. auxiliar
Pressão hidráulica (Utilidades)
Retorno (Utilidades)
Elétrico (Energizado)
Elétrico (Desenergizado)
Umidade

Figura 8-43 Sistema de força pneumática.

A descrição seguinte é ilustrada pelo sistema de potência pneumática mostrado na figura 8-43. O ar que entra para o compressor é filtrado através de um filtro de 10 microns de alta temperatura e a pressão do ar regulada por um regulador de pressão absoluta para proporcionar uma fonte estabilizada de ar para o compressor. (veja figura 8-43).O sistema hidráulico de utilidade da aeronave fornece potência para operar o compressor de ar acionado por motor hidráulico. O sistema de atuação hidráulica do compressor de ar consiste de uma válvula seletora operada por um solenóide, um regulador de fluxo, um motor hidráulico e uma válvula unidirecional na linha de desvio do motor (dreno do cárter).

Quando energizada, a válvula seletora permite ao sistema ser pressurizado para movimentar o motor hidráulico. Quando desenergizada, a válvula bloqueia a pressão do sistema de utilidade, parando o motor.

O regulador de fluxo, compensando as variações do fluxo e pressão do sistema hidráulico, mede o fluxo de fluido para o motor hidráulico, para prevenir a excessiva variação de velocidade e/ou sobrevelocidade do compressor.

Uma válvula unidirecional na linha de desvio do motor evita que a pressão da linha de retorno entre no motor e o faça estolar.

O compressor é uma fonte de ar pressurizado do sistema pneumático. O compressor é ativado ou desativado por um interruptor sensor de pressão na tubulação, que é uma peça integrante do conjunto separador de umidade.

O conjunto separador de umidade é a válvula de alívio e regulador sensor de pressão do sistema. O interruptor de pressão da tubulação (sistema) governa a operação do compressor. Quando a pressão na tubulação cai abaixo de 2.750 p.s.i., o interruptor sensor de pressão fecha, energizando a válvula do alijador de umidade do separador e a válvula seletora hidráulica que ativa o compressor de ar.

Quando a pressão na tubulação cresce além de 3.150 p.s.i., o interruptor sensor de pressão abre, desenergizando a válvula seletora hidráulica para desativar o compressor de ar e a válvula de alijamento, expulsando para a atmosfera qualquer umidade acumulada no separador.

Os conectores de segurança, instalados na passagem de entrada do separador de umidade, protegem o separador das explosões internas causadas por partículas aquecidas de carvão ou chamas que possam ser emitidas do compressor de ar.

Um secante químico adicionalmente reduz a umidade contida no ar proveniente do separador de umidade.

Um transmissor sente a pressão, e eletricamente transmite um sinal ao indicador de pressão pneumática localizado na cabine. O sistema de indicação é do tipo “autosyn”, que funciona exatamente como o sistema de indicação hidráulico. Uma válvula de abastecimento de ar fornece ao sistema pneumático inteiro um único ponto para abastecimento em terra.

Um medidor de pressão de ar, localizado próximo à válvula de abastecimento é usado para serviços no sistema pneumático.

Um filtro de ar (com elemento de 10 microns) na linha de abastecimento no solo, previne contra a entrada de partículas de impurezas no sistema, provenientes de fontes da manutenção no solo.

A alta pressão de ar, saindo do quarto estágio do compressor de ar, é direcionada através de uma válvula de sangria (controlada por uma tomada de pressão de óleo no lado de pressão da bomba de óleo) para a saída de ar em alta pressão.

A pressão de óleo, aplicada ao pistão da válvula de sangria, mantém o pistão da válvula na posição “fechada”.

Quando a pressão do óleo cai (devido, ou à restrição do fluxo de óleo, ou à parada do compressor), a mola dentro da válvula de sangria reposiciona o pistão, ligando, desse modo, a passagem de entrada e a passagem dreno da válvula. Esta ação descarrega a pressão do compressor e limpa a linha da umidade.

O filtro de ar, através do qual o ar do abastecimento no solo passa, está localizado imediatamente após a válvula de abastecimento. Sua finalidade é impedir a entrada de impurezas no sistema, provenientes de fontes de serviço no solo.

O conjunto de filtro é construído basicamente de três componentes básicos - corpo, elemento e receptáculo.

O ar que entra no compressor de ar do sistema pneumático é filtrado através de um filtro de alta temperatura.

Sua finalidade é impedir que partículas de material estranho entrem no regulador de pressão absoluta do compressor, provocando, assim, o seu mau funcionamento.

O filtro é em linha do tipo fluxo completo (com válvula de alívio integral) alojado em um corpo cilíndrico.

O separador de umidade é o regulador sensor de pressão do sistema de força pneumática e da válvula de alívio, sendo capaz de remover mais de 95% da umidade proveniente da linha de descarga do compressor de ar.

A válvula de alijamento de condensação, automaticamente operada, limpa a câmara do separador de óleo/umidade por meio de um jato de ar (3.000 p.s.i.), cada vez que o compressor é desligado.

O conjunto do separador é feito com vários componentes básicos, sendo que cada um desenvolve uma função específica.

Componentes

O interruptor de pressão controla o sistema de pressurização pelo sensoramento da pressão do sistema entre a válvula unidirecional e a válvula de alívio.

Ele eletricamente energiza a válvula seletora do compressor de ar, que é operada por solenóide, quando a pressão do sistema cai abaixo de 2.750 p.s.i., e desenergiza a válvula seletora quando a pressão no sistema alcança 3.100 p.s.i.

O solenóide da válvula de alijamento da condensação é energizado e desenergizado por um interruptor de pressão.

Quando energizado, ele protege o compressor do transbordamento da umidade do ar; quando desernegizado, ele limpa completamente o reservatório do separador e as linhas acima do compressor de ar.

Os filtros protegem a abertura da válvula de alijamento da obstrução, e ainda asseguram uma selagem apropriada do espaço entre o reservatório e a válvula de alijamento.

A válvula unidirecional protege o sistema contra a perda de pressão durante o ciclo de alijamento, e previne contra o fluxo de retorno através do separador para o compressor de ar durante a condição de alívio.

A válvula de alívio protege o sistema contra a super pressurização (expansão térmica).

A válvula de alívio abre quando a pressão do sistema alcança 3.750 p.s.i. e fecha a 3.250 p.s.i.

O elemento de aquecimento do tipo embalagem envolvente térmica, termostaticamente controlado, impede o congelamento da umidade dentro do reservatório devido às condições atmosféricas de baixa temperatura. O termostato fecha a 40º F e abre a 60º F.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA PNEUMÁTICO DE POTÊNCIA

A manutenção do sistema pneumático consiste de reparo, pesquisa de pane, remoção e instalação de componentes e teste operacional.

O nível do óleo lubrificante do compressor deve ser verificado diariamente de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante.

O nível de óleo é indicado por meio de uma vareta ou visor.

Quando recompletando o tanque de óleo do compressor, o óleo (tipo especificado no manual de instruções aplicável) é adicionado até o nível especificado. Após o óleo ser adicionado, o bujão de enchimento deve estar apertado e devidamente frenado.

O sistema pneumático deve ser limpo periodicamente para remover a contaminação, umidade ou óleo dos componentes e linhas.

A limpeza do sistema é obtida pressurizando-o, e removendo a tubulação de vários componentes em todo o sistema.

A remoção das linhas pressurizadas produzirá uma alta razão do fluxo de ar através do sistema, fazendo com que materiais estranhos sejam expelidos.

Se uma quantidade excessiva de material estranho, particularmente óleo, é expelido de qualquer um dos sistemas, as linhas e componentes devem ser removidas e limpas, ou substituídas.

Após a conclusão da limpeza de um sistema pneumático, e após a religação de todos os sistemas e componentes, as garrafas de ar do sistema devem ser drenadas para expulsar qualquer umidade ou impureza que possam ter-se acumulado.

Após a drenagem das garrafas de ar, o sistema é abastecido com nitrogênio ou ar comprimido, limpo e seco.

O sistema deve, então, ser verificado operacionalmente por completo, e inspecionado quanto a vazamentos e segurança.

CAPÍTULO 9

SISTEMAS DE TRENS DE POUSO

INTRODUÇÃO

O trem de pouso de uma aeronave de asa fixa consiste de unidades principais e auxiliares, as quais podem ser retráteis ou não.

As unidades principais formam o mais importante apoio da aeronave, no solo ou na água, e podem incluir alguma combinação de rodas, flutuadores, esquis, equipamentos, amortecedores, freios, mecanismos de retração com controles e dispositivos de aviso, carenagens, acabamentos e membros estruturais necessários para fixar algum dos itens citados à estrutura da aeronave.

As unidades auxiliares do trem de pouso consistem de instalações para roda do nariz ou de cauda, flutuador, esqui etc, com os necessários reforços e carenagens.

Disposição do trem de pouso

Muitas aeronaves estão equipadas com a disposição em triciclo.

Isto é quase universalmente correto para as grandes aeronaves, sendo as poucas exceções, os antigos modelos de aeronaves.

As partes componentes de um arranjo triciclo são a perna de força do nariz e as principais.

As aeronaves equipadas com roda do nariz são protegidas na parte traseira da fuselagem, com um esqui de cauda ou um pára-choque. O arranjo com roda do nariz tem no mínimo três vantagens:

(1) Ele permite maior aplicação de força dos freios nas altas velocidades de pouso sem elevação do nariz.

(2) Ele permite melhor visibilidade para o piloto durante o pouso e o táxi.

(3) Ele tende a evitar o levantamento do nariz, movendo o centro de gravidade da aeronave para a frente das rodas principais. As forças atuando no C.G. tendem a manter a aeronave movendo-se para a frente, em linha reta antes do levantamento do nariz (ground-looping).

O número e a localização das rodas das pernas principais variam. Algumas delas possuem duas rodas como mostra a figura 9-1.

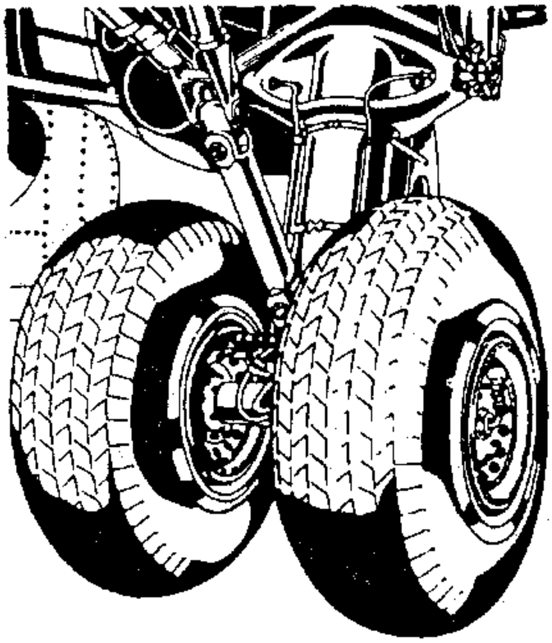


Figura 9-1 Perna de força principal com a instalação de duas rodas.

Múltiplas rodas distribuem o peso da aeronave por uma grande área, além de permitir uma margem de segurança se um dos pneus falhar.

Aeronaves pesadas podem usar quatro ou mais rodas.

Quando mais de duas rodas são fixadas a uma perna de força, o mecanismo de fixação é chamado de “truque” (“truck” ou “bogie”) como mostra a figura 9-2. O número de rodas que são incluídas em um “truck” é determinado pelo peso bruto designado para a aeronave e a superfície, na qual a aeronave carregada poderia ter necessidade de pousar.

O arranjo triciclo do trem de pouso é formado por muitos conjuntos e partes. Estes consistem de: amortecedores a óleo/ar, unidades de alinhamento das pernas principais, unidades de suporte, mecanismos de segurança e retenção, mecanismo de proteção da perna de força auxiliar, sistemas de direção da roda do nariz, rodas da aeronave, pneus câmaras de ar e sistemas de freio da aeronave.

O mecânico da aeronave deve conhecer tudo sobre cada um desses conjuntos, seus procedimentos de inspeção e seus relacionamentos para a operação total do trem de pouso.

Amortecedores

Os amortecedores são unidades hidráulicas auto-abastecidas que suportam o peso da aeronave no solo, e protegem a estrutura absorvendo e dissipando as tremendas cargas de choque nos pousos.

Os amortecedores devem ser inspecionados e reabastecidos regularmente para funcionar eficientemente.

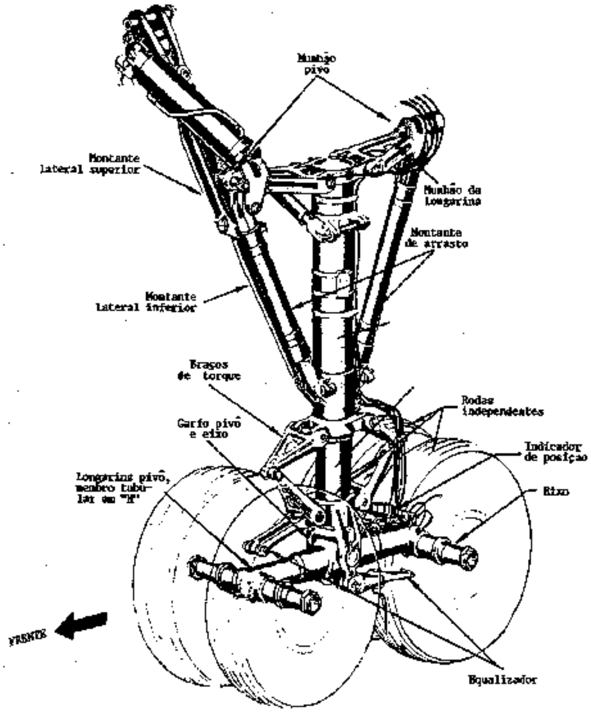

Munhão pivô
Montante lateral superior
Munhão da Longarina
Montante de arrasto
Montante lateral inferior
Braços de torque
Rodas independentes
Garfo pivô e eixo
Indicador de posição
Longarina pivô, membro tubular em "H"
Eixo
FRENTE
Equalizador

Figura 9-2 Conjunto de trem principal em "Bogie".

Como existem amortecedores de formato muito diferentes, nesta seção somente serão incluídas as informações de natureza geral. Para informações específicas sobre uma particular instalação, consultamos as aplicáveis instruções do fabricante.

Um típico amortecedor pneumático/hidráulico (figura 9-3) usa ar comprimido combinado com fluido hidráulico para absorver e dissipar as cargas de choque, e é freqüentemente chamado de um "ar e óleo" ou "amortecedor óleo-pneumático".

Um amortecedor é feito essencialmente de dois cilindros telescópicos ou tubos, com as extremidades externas fechadas (figura 9-3).

Os dois cilindros, conhecidos como cilindro e pistão, quando montados, formam uma câmara superior e uma inferior para movimento do fluido.

A câmara inferior é sempre cheia de óleo e a superior contém ar comprimido. Um orifício está colocado entre as duas câmaras e permite uma passagem do fluido para a câmara superior durante a compressão e o retorno durante a extensão, do amortecedor.

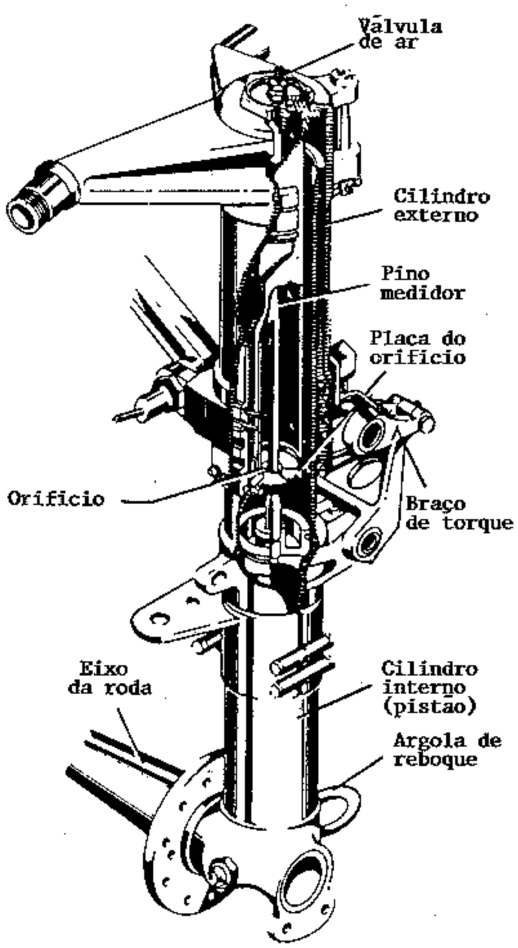

Válvula de ar
Cilindro externo
Pino medidor
Placa do orifício
Orifício
Braço de torque
Eixo da roda
Cilindro interno (pistão)
Argola de reboque

Figura 9-3 Amortecedor de trem de pouso do tipo medidor.

A maioria dos amortecedores emprega um pino medidor semelhante ao mostrado na figura 9-3, para controlar a razão do fluxo do fluido da câmara inferior para a superior.

Durante o golpe de compressão, a razão do fluxo do fluido é inconstante, mas é controlada automaticamente pelo formato variável do pino de medição quando ele passa através do orifício.

Em alguns tipos de amortecedores, um tubo de medição substitui o pino de medição, mas a operação do amortecedor é a mesma (figura 9-4).

Alguns amortecedores estão equipados com um mecanismo de restrição ou redução, que consiste em uma válvula de recuo no pistão ou no tubo, para reduzir o retrocesso durante o golpe causado pela extensão do amortecedor e para evitar que essa extensão seja muito rápida. Isto resultará num corte do impacto no final do golpe, evitando um possível dano para a aeronave e o trem de pouso.

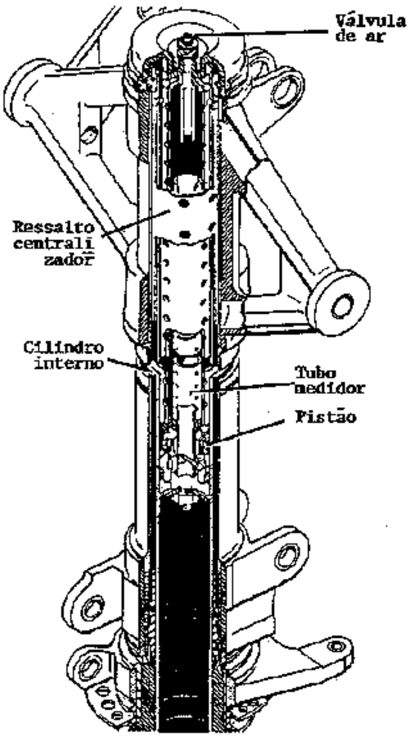


Figura 9-4 Amortecedor de trem de pouso do tipo tubo medidor.

A grande maioria dos amortecedores está equipada com um eixo fixado ao cilindro inferior para permitir a instalação das rodas. Amortecedores não equipados com eixos possuem meios na extremidade do cilindro inferior, para instalação fácil de conjuntos de eixos. Todos os amortecedores possuem convenientes conexões que permitem sua fixação à estrutura da aeronave.

Uma montagem, consistindo de uma entrada para reabastecimento de fluido e um conjunto de válvula de ar, está localizada próximo da extremidade superior de cada amortecedor para permitir o abastecimento com fluido e inflação com ar.

Um obturador plástico designado a vedar a junta deslizante entre os cilindros telescópicos superior e inferior está instalado na extremidade aberta do cilindro externo.

Na junta de vedação, um anel limpador está também instalado em uma ranhura no apoio inferior, ou porca superposta na maioria dos amortecedores para manter a superfície de deslizamento do pistão ou cilindro interno livre de lama, gelo ou neve. A entrada de matérias estranhas, na gaxeta sobreposta, resultará em vazamentos.

A maioria dos amortecedores está equipada com braços de torque, fixados aos cilindros superior e inferior, para manter o correto alinhamento da roda. Amortecedores sem braços de torque têm a cabeça do pistão e cilindros ranhurados, os quais mantém o alinhamento correto das rodas.

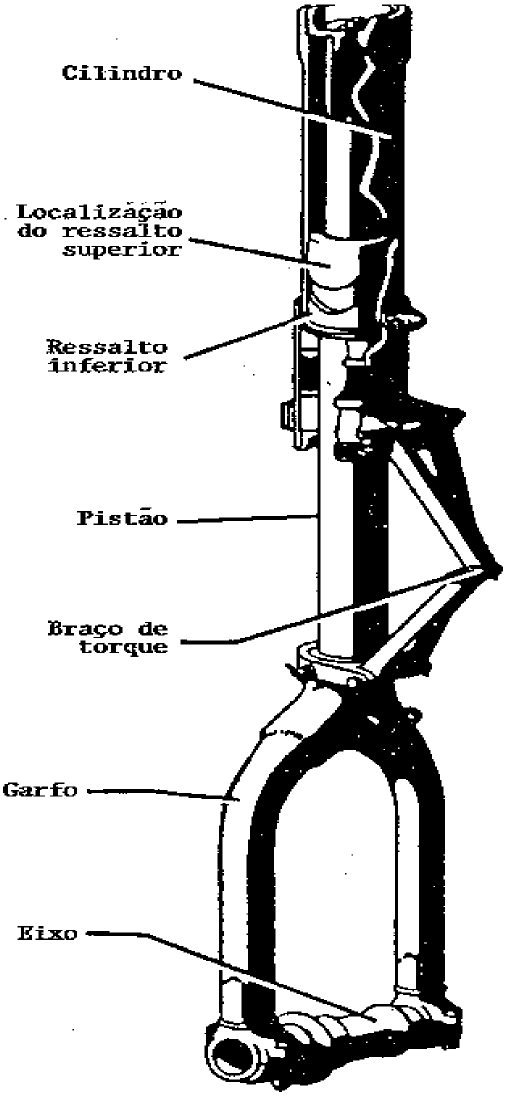


Figura 9-5 Amortecedor da perna de força do nariz.

Os amortecedores da roda do nariz são equipados com um ressalto superior de alinhamento, fixado no cilindro superior e um correspondente ressalto inferior de alinhamento fixado no cilindro inferior (figura 9-5).

Esses ressaltos alinham o conjunto roda e eixo na posição reta à frente, quando o amortecedor está totalmente estendido. Isto evita que a roda esteja virada para um dos lados, quando a perna de força do nariz for recolhida prevenindo, assim, possíveis danos estruturais a aeronave.

Os ressaltos conjugados mantêm ainda a roda do nariz na posição reta à frente antes do pouso quando o amortecedor estiver totalmente estendido. Alguns amortecedores possuem dispositivos para instalação de um eliminador externo de vibração (shimmy).

Geralmente, as pernas de força do nariz são equipadas com um pino de travamento (ou liberação) para inibir curvas rápidas da aeronave, quando estacionada na pista ou no hangar.

O desengrazamento deste pino permitirá ao garfo da roda girar 360º, permitindo então, que a aeronave seja manobrada em um espaço reduzido como um hangar cheio.

As pernas de força do nariz e as principais são usualmente munidas de pontos de levantamento, para colocação de macacos e de locais para instalação do garfo de reboque.

Os macacos deverão sempre ser colocados nos pontos previstos para isso; e, quando houver ponto para reboque, o garfo deverá ser instalado somente nesse lugar.

Todos os amortecedores possuem uma placa de inscrição com instruções reduzidas para o reabastecimento do amortecedor com fluido e inflação com ar.

A placa de inscrição está fixada próxima ao conjunto válvula de ar e ponto de reabastecimento, especificando também o correto tipo de fluido hidráulico a ser usado no amortecedor. É de extrema importância a familiarização com estas instruções antes de reabastecer um amortecedor com fluido hidráulico ou inflar com pressão de ar.

A figura 9-6 apresenta a construção interna de um amortecedor, ilustrando o movimento do fluido durante a compressão e extensão do êmbolo.

O golpe de compressão do amortecedor se inicia quando as rodas da aeronave tocam o solo; o centro do peso da aeronave continua a mover-se para baixo, comprimindo o amortecedor e deslizando o cilindro interno para dentro do cilindro externo.

O pino de medição é forçado através do orifício e, devido ao seu formato irregular, controla a razão do fluxo do fluido em todos os pontos de golpe de compressão. Desta maneira, a maior quantidade possível de calor é dissipada através das paredes do amortecedor. Ao final do golpe, ao ser atingido o ponto mais inferior, o ar sob pressão é mais comprimido, limitando a compressão do choque do amortecedor.

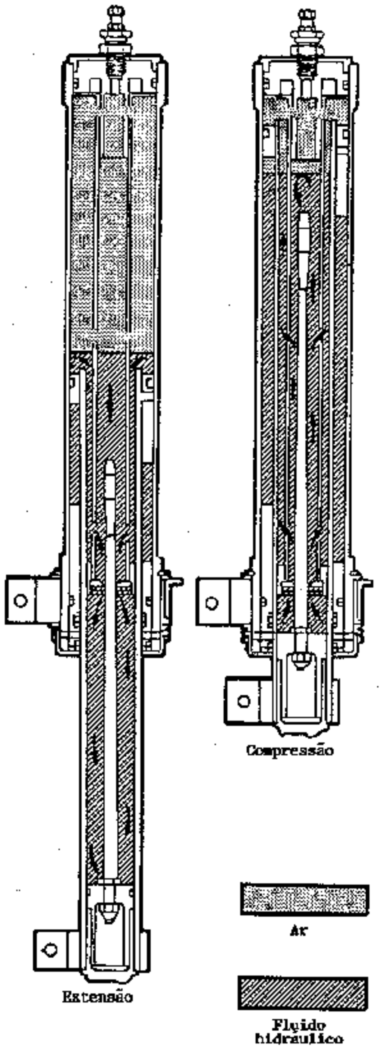


Figura 9-6 Operação do amortecedor.

Se não houver quantidade suficiente de fluido e/ou ar no conjunto, a compressão do choque não será limitada, e o amortecedor ficará “em baixo”.

O golpe de extensão ocorrerá no final do golpe de compressão, quando a energia estocada no ar comprimido ocasiona o início do movimento da aeronave para cima em relação ao solo e as rodas. Neste momento, o ar comprimido atua como uma mola para retornar o amortecedor ao normal. E é neste ponto que o efeito de restrição ou redução é produzido, restrição ou redução é produzido, forçando o fluido a retornar através das restrições do mecanismo de retardo.

Se esta extensão não for restringida, a aeronave reagirá rapidamente tendendo a oscilar para cima e para baixo devido a ação do ar comprimido. Uma luva, espaçador, ou anel batente incorporado ao amortecedor limita o golpe de extensão.

Para uma eficiente operação do amortecedor, o adequado nível de óleo e de pressão de ar, deve ser mantido. Para checar o nível do fluido, o amortecedor deve estar sem pressão de ar e na posição totalmente retraído.

A descompressão de um amortecedor pode ser uma operação perigosa a não ser que o pessoal encarregado do reabastecimento esteja complemente familiarizado com as válvulas de ar de alta pressão. Observa-se todas as necessárias precauções de segurança. As instruções do fabricante, quanto as adequadas técnicas de descompressão, são consultadas.

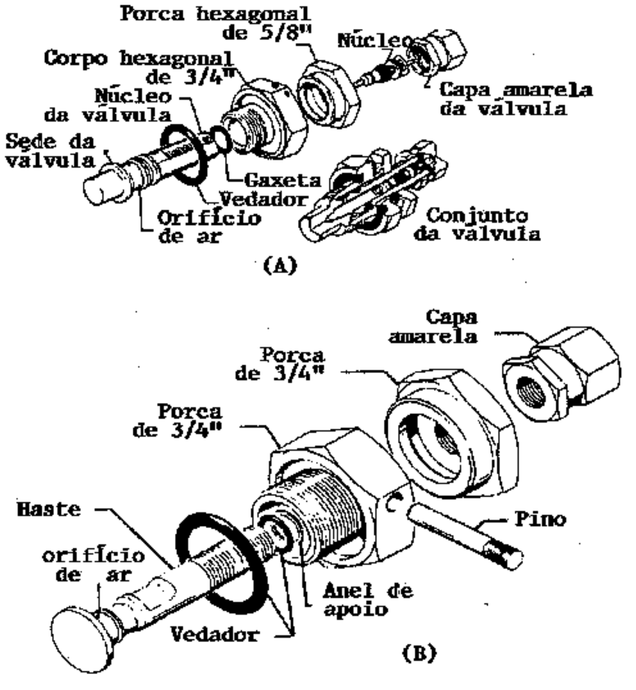


Figura 9-7 Válvulas de alta pressão de ar.

Dois dos vários tipos de válvulas de ar de alta pressão de uso normal em amortecedores estão ilustrados na figura 9-7. Embora as duas válvulas de ar sejam intercambiáveis, elas possuem diferenças importantes em sua construção. Uma válvula (figura 9-7A) contém uma outra válvula, e tem ainda uma porca sextavada de 5/8 de polegada. A outra válvula de ar (figura 9-7B) não tem outra válvula incorporada, e a porca sextavada é de ¾ de polegada.

Reabastecimento de amortecedores

Os procedimentos a seguir são típicos para a descompressão de um amortecedor, reabastecimento com fluido hidráulico, e pressurização com ar comprimido (figura 9-8):

(1) Posicione a aeronave para que os amortecedores estejam na posição de operação normal no solo. Certifique-se de que pessoal, bancadas e outros obstáculos não estão próximos da aeronave.
Algumas aeronaves devem ser colocadas nos macacos para o reabastecimento dos amortecedores.

(2) Remover a cobertura da válvula de ar (figura 9-8A).

(3) Checar com uma chave de boca se a porca hexagonal está apertada (figura 9-8B).

(4) Se a válvula de ar for equipada com uma outra válvula interna, alivie qualquer pressão que possa estar localizada entre a válvula interna e a sede da válvula, pressionando a válvula interna (figura 9-8C). Mantenha-se sempre lateralmente afastado da válvula, porque a alta pressão do ar poderá causar um sério acidente, como, por exemplo, a perda da visão.

(5) Remover a válvula interna (figura 9-8D).

(6) Alivie a pressão de ar do amortecedor, girando lentamente a porca de fixação no sentido anti-horário (figura 9-8E).

(7) Assegure-se de que o amortecedor se comprime quando a pressão de ar é aliviada. Em alguns casos, pode ser necessário balançar a aeronave após aliviar a pressão de ar para assegurar a compressão do amortecedor.

(8) Quando o amortecedor estiver totalmente comprimido, o conjunto da válvula de ar pode ser removido (figura 9-8F).

(9) Reabasteça o amortecedor, com o fluido hidráulico adequado, até o nível da abertura de fixação da válvula de ar.

(10) Reinstale o conjunto da válvula de ar, usando um novo anel de vedação (O ring). Aplique na válvula de ar o valor de torque recomendado nas instruções aplicáveis do fabricante.

(11) Instale a válvula interna de ar.

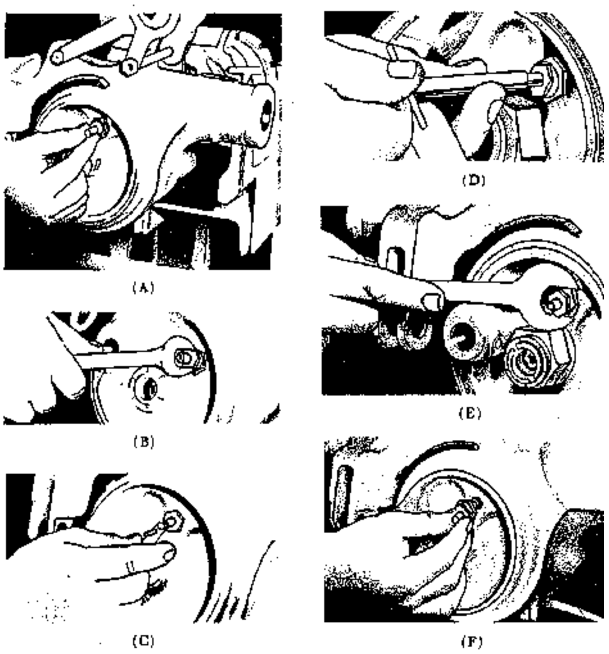


Figura 9-8 Sequência do abastecimento de amortecedor.

(12) Usando uma fonte de alta pressão de ar seco ou nitrogênio, aplique pressão pela válvula de ar. Garrafas de ar comprimido não deverão ser usadas para inflar amortecedores. Em alguns amortecedores, a correta quantidade de inflação é determinada pelo uso de um indicador de alta pressão de ar; em outros, é determinada pela extensão do amortecedor, medida em polegadas, entre dois pontos da perna de força. O procedimento correto é normalmente encontrado na chapa de instrução fixada no amortecedor. Os amortecedores devem ser inflados, sempre vagarosamente, para evitar excessivo aquecimento e super inflação.

(13) Aperte a porca hexagonal usando os valores de torque especificados nas aplicáveis instruções do fabricante.

(14) Remova a conexão do compressor de ar e instale a capa da válvula. Aperte a capa da válvula apenas com os dedos.

Sangria dos amortecedores

Se o nível de fluido de um amortecedor tornar-se extremamente baixo, ou se por alguma outra razão, o ar ficar bloqueado no cilindro do amortecedor, pode ser necessário fazer uma sangria durante a operação de reabastecimento.

A sangria é normalmente executada com a aeronave suspensa nos macacos. Nesta posição os amortecedores podem ser estendidos e comprimidos durante a operação de reabastecimento, expelindo assim, todo o ar aprisionado. Os procedimentos de uma sangria típica são apresentados a seguir:

(1) Construa uma tubulação flexível, contendo uma conexão adaptável à cobertura de abastecimento do amortecedor, à prova de vazamento ou entrada de ar.
O comprimento da tubulação deverá ser o bastante para atingir o solo, com a aeronave nos macacos estando conectada ao ponto de reabastecimento do amortecedor.

(2) Levante a aeronave nos macacos até que os amortecedores fiquem totalmente estendidos.

(3) Alivie a pressão de ar do amortecedor que será sangrado.

(4) Remova o conjunto da válvula de ar.

(5) Reabasteça o amortecedor com o fluido hidráulico adequado, até o nível da abertura de fixação da válvula de ar.

(6) Conecte a tubulação flexível na abertura de abastecimento, e a outra extremidade livre deve ser colocada em um recipiente contendo fluido hidráulico limpo, certificando-se de que a extremidade do tubo esteja abaixo da superfície do fluido.

(7) Coloque um macaco de roda, ou de eixo, no ponto de levantamento da perna de força. Comprima e estenda o amortecedor totalmente, levantando e abaixando o macaco até que o fluxo de bolhas de ar do amortecedor esteja completamente paralisado. Comprima o amortecedor lentamente e permita que ele se estenda pelo seu próprio peso.

(8) Remova o macaco de roda (ou de eixo), baixe a aeronave e remova os outros macacos.

(9) Remova o tubo de sangria do amortecedor.

(10) Instale a válvula de ar e infle o amortecedor.

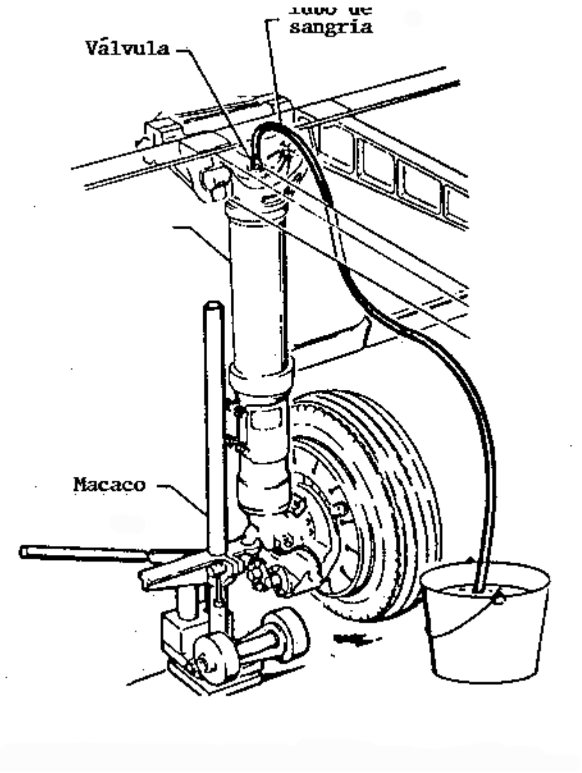


Figura 9-9 Sangria de amortecdor.

Os amortecedores deverão ser inspecionados regularmente quanto a vazamentos de fluido e extensão adequada. A porção exposta do pistão do amortecedor deverá ser limpa diariamente e inspecionada cuidadosamente quanto a riscos e corrosão.

ALINHAMENTO, FIXAÇÃO E RETRAÇÃO DA PERNA DE FORÇA PRINCIPAL

A perna de força principal consiste de vários componentes que possibilitam sua função. Os componentes típicos são a tesoura de torção, mecanismos de retração elétricos e hidráulicos e indicadores da posição do trem.

Alinhamento

As tesouras de torção (figura 9-10) mantêm as pernas de força direcionadas para a frente; uma das tesouras é fixada ao cilindro do amortecedor, enquanto a outra está fixada ao pistão. As tesouras são articuladas no centro, para que o pistão possa mover-se no cilindro para cima e para baixo.

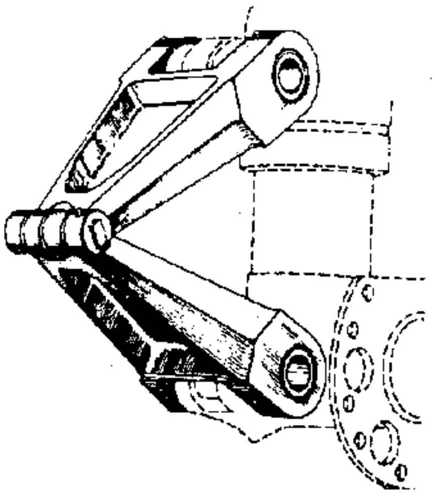


Figura 9-10 Braços de torque.

Suporte

Para prender a perna de força principal na estrutura da aeronave, normalmente é empregado um munhão e suportes (figura 9-11). Este arranjo é construído para permitir a torção para frente ou para trás como necessário, quando o trem de pouso estiver sendo recolhido.

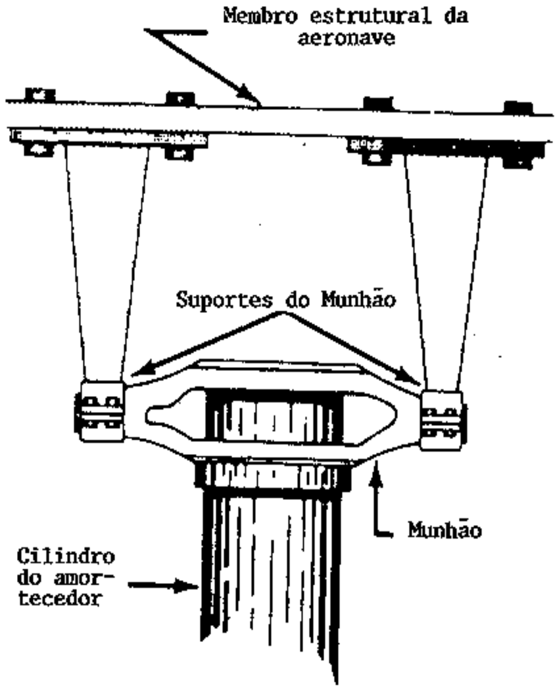


Figura 9-11 Montagem do munhão e suportes.

Para evitar essa ação durante o movimento da aeronave no solo, vários tipos de hastes e tirantes são usados, um deles é o tirante contra o arrasto (drag strut).

O parte superior do tirante contra o arrasto (figura 9-12) está conectada a estrutura da aeronave, enquanto a parte inferior está conectada à perna de força. O tirante contra o arrasto é articulado para que as pernas de força possam ser recolhidas.

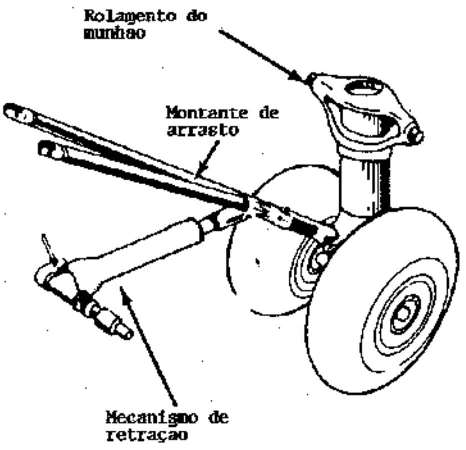


Figura 9-12 Ligações dos montantes de arrasto.

Sistema elétrico de retração do trem de pouso

Um sistema elétrico de retração do trem de pouso, tal como o mostrado na figura 9-13, tem as seguintes características:

(1) Um motor para converter energia elétrica em movimento rotativo.

(2) Um sistema de engrenagens de redução para reduzir a velocidade do motor, aumentando, assim, a força de rotação.

(3) Outras engrenagens para transformarem o movimento de rotação (a uma velocidade reduzida) em movimento de vaivém.

(4) Hastes para conexão do movimento de vaivém para a perna de força.

Basicamente, o sistema é um macaco comandado eletricamente para levantar e baixar o trem de pouso. Quando um interruptor na cabine, for comandado para a posição "EM CIMA" ("UP"), o motor elétrico entra em operação.

Através de um sistema de eixos, engrenagens, adaptadores, um parafuso atuador e um tubo de torque, uma força é transmitida para os montantes e tirantes contra o arrasto.

Então, o trem de pouso recolhe e trava. Se o interruptor for movido para a posição "EM BAIXO" ("DOWN"), o motor reverte e o trem de pouso baixa e trava.

A sequência de operações das portas e engrenagens é semelhante a do sistema de trem de pouso, operado hidraulicamente.

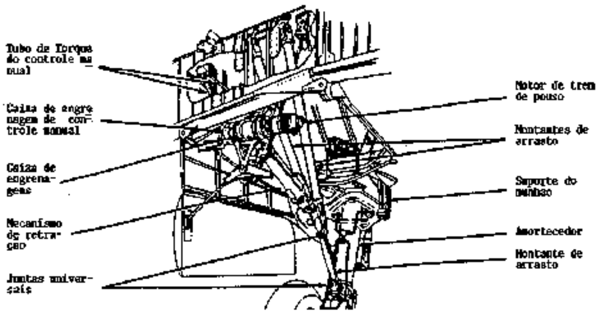


Figura 9-13 Sistema de retração elétrico.

Sistemas hidráulicos de retração do trem de pouso

Os mecanismos usados em um sistema típico de retração do trem de pouso, operado hidraulicamente, inclui cilindros de atuação, válvulas seletoras, travas superiores e inferiores, válvulas de sequência, tubulações e outros componentes hidráulicos convencionais.

Essas unidades estão interconectadas para permitir uma sequência adequada para a retração e extensão do trem de pouso e das portas do trem.

A operação de um sistema hidráulico de retração do trem de pouso é, de tal importância, que deve ser minuciosamente detalhado. Primeiramente, considera-se o que acontece quando o trem de pouso é recolhido.

Quando a válvula seletora (figura 9-14) é movida para a posição "EM CIMA" ("UP"), o fluido pressurizado é dirigido para a linha de subida do trem.

O líquido fluirá para cada uma das oito unidades; para as válvulas de sequência C e D, para os três mecanismos da trava em baixo, para o cilindro da perna do nariz, e para os dois cilindros de atuação das pernas principais.

Observa-se o que acontece ao líquido que flui para as válvulas de sequência C e D na figura 9-14. Se as válvulas de sequência estiverem fechadas, o fluido pressurizado não poderá ser dirigido para os cilindros da porta neste momento.

Assim, as portas não poderão ser fechadas. Mas o fluido entrando nos três cilindros da trava em baixo não estará impedido e, portanto, destravando o trem de pouso. Ao mesmo tempo, o fluido também penetra na parte superior de cada cilindro de atuação, e as pernas de força iniciam a retração.

A perna de força do nariz completa a retração e o travamento em cima antes das outras, devido ao menor tamanho do seu cilindro de atuação. Como também a porta da perna de força do nariz é operada somente por hastes ligadas à perna de força, esta porta se fecha. Entrementes, as pernas de força principais estão ainda retraindo, forçando o fluido a manter-se na parte inferior de cada cilindro das pernas principais.

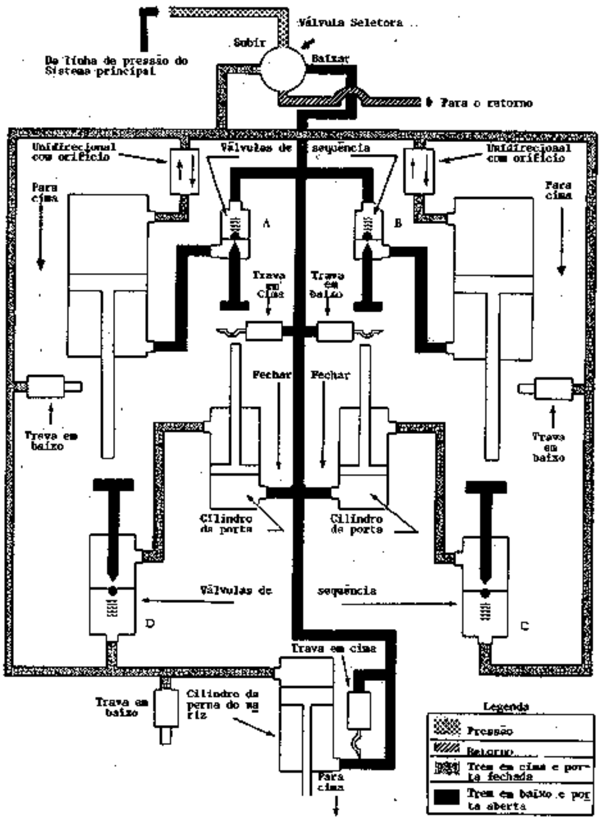

Válvula Seletora
Subir
Baixar
Da linha de pressão do Sistema principal
Para o retorno
Unidirecional com orifício
Válvulas de sequência
Unidirecional com orifício
Para cima
Para cima
A
B
Trava em cima
Trava em baixo
Fechar
Fechar
Trava em baixo
Trava em baixo
Cilindro da porta
Cilindro da porta
Válvulas de sequência
D
C
Trava em cima
Trava em baixo
Cilindro da perna do nariz
Para cima
Legenda
Pressão
Retorno
Trem em cima e porta fechada
Trem em baixo e porta aberta

Figura 9-14 Esquema do sistema hidráulico de retração do trem de pouso.

Esse fluido passa sem restrição através de um orifício da válvula de retração, abrindo a válvula de sequência A ou B, e fluindo através da válvula seletora do trem de pouso entra na linha de retorno do sistema hidráulico.

Então, quando as pernas principais atingirem a posição totalmente recolhidas, e engrazarem sob ação de mola, a trava superior e mecanismos de ligação comandam o pino de atuação das válvulas de sequência C e D. Isto abre a válvulas de sequência, e permite que o fluido penetre nos cilindros de atuação das portas, fechando-as.

Operação do trem de pouso das asas

A sequência de operação de um típico trem de pouso de asa está ilustrado na figura 9-15. O trem de pouso de asa recolhe, e é baixado quando a pressão hidráulica é aplicada no lado superior ou inferior do atuador.

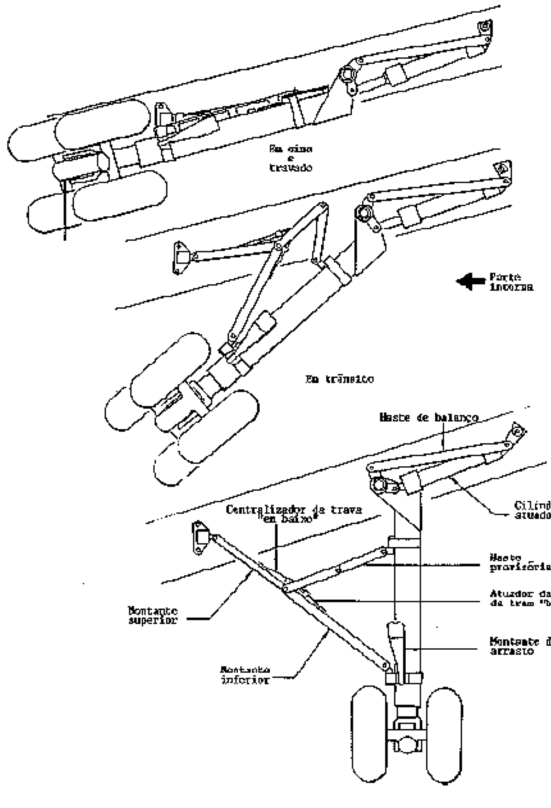

Em cima e travado
Parte interna
Em trânsito
Haste de balanço
Centralizador da trava "em baixo"
Cilindro atuador
Haste provisória
Atuador da trava da trem "baixado"
Montante superior
Montante de arrasto
Montante inferior

Figura 9-15 Sequência de operação do trem de pouso das asas.

O mecanismo atuador aplica a força necessária para baixar e recolher o trem de pouso. O atuador trabalha em conjunto com uma haste de balanço para aplicar força para que a perna de força gire para ser alojada no compartimento sob a asa.

Tanto o cilindro atuador como a haste de balanço estão conectados ao munhão (trunnion) para exercer o comando da perna de força. A extremidade do cilindro de atuação e a haste de balanço estão conectados em um suporte móvel, o qual está fixado à estrutura da aeronave.

O mecanismo de travamento de um trem de pouso de asa, localizado no lado externo do compartimento do trem faz o travamento na posição "em cima" ("UP").

Para o travamento do trem de pouso na posição "baixado" ("DOWN") uma trava acionada por mola posiciona uma haste provisória, que impede a flexão dos montantes de recolhimento do trem.

SISTEMAS DE EXTENSÃO EM EMERGÊNCIA

O sistema de extensão em emergência baixa o trem de pouso se o sistema principal falhar.

Algumas aeronaves têm um punho na cabine, que está conectado através de ligações mecânicas, ao mecanismo da trava superior do trem de pouso.

Quando o punho é operado, ele abre a trava superior, o que permite a queda livre, ou abaixamento do trem de pouso, pelo seu próprio peso.

Em outras aeronaves, a abertura da trava superior é executada usando-se ar comprimido que é direcionado aos cilindros de comando das travas.

Em algumas aeronaves, devido a sua configuração, é impraticável a extensão do trem de pouso por gravidade e cargas de ar de impacto. Nessas aeronaves, são incluídos processos auxiliares de extensão em emergência.

Algumas instalações permitem o uso tanto de fluido hidráulico como ar comprimido para fornecer a pressão necessária; enquanto outras utilizam um sistema manual para baixar o trem de pouso sob condições de emergência.

A pressão hidráulica para a operação em emergência pode ser fornecida por uma bomba manual auxiliar, um acumulador ou um bomba hidráulica acionada eletricamente, dependendo do desenho da aeronave.

DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA DO TREM DE POUSO

O recolhimento do trem de pouso acidentalmente pode ser evitado por meio de dispositivos de segurança, tais como uma trava mecânica do trem em baixo, interruptores de segurança, e travamento de solo.

Travas mecânicas de trem baixado são partes de um sistema de retração e são operadas automaticamente pelo sistema.

Para evitar uma operação acidental do sistema de trava do trem baixado operado eletricamente, interruptores de segurança estão instalados no sistema.

Interruptores de segurança

Um interruptor de segurança do trem de pouso (figura 9-16), no circuito de segurança, é usualmente montado em uma braçadeira fixada na perna de força principal.

Este interruptor é atuado por ligações mecânicas através das tesouras do trem de pouso.

As tesouras se separam ou se movem juntas quando o pistão do amortecedor se estende ou retrai no seu cilindro.

Quando o amortecedor é comprimido (aeronave no solo), as tesouras estão bem juntas, causando a abertura do interruptor de segurança. Durante a decolagem quando o peso da aeronave deixa de comprimir os amortecedores, as tesouras e os amortecedores se estendem, causando o fechamento do interruptor de segurança.

Como mostra a figura 9-16, é completada a "massa" quando o interruptor de segurança se fecha.

O solenóide é então energizado destravando a válvula seletora para que o punho possa ser posicionado para levantar o trem de pouso.

Travas de solo

Além deste mecanismo de segurança, a maioria das aeronaves está equipada com outros, para evitar um colapso do trem quando a aeronave estiver no solo. Estes mecanismos são chamados de travas de solo.

Um tipo bem comum é um pino instalado em orifícios alinhados em duas ou mais unidades de suporte estrutural do trem de pouso.

Um outro tipo é um grampo com a finalidade de envolver duas ou mais unidades de suporte estrutural, impedindo que se separem. Todos os tipos de travas de solo em uso têm faixas de tecido vermelho permanentemente presas a elas, para imediatamente indicarem quando estão ou não instaladas.

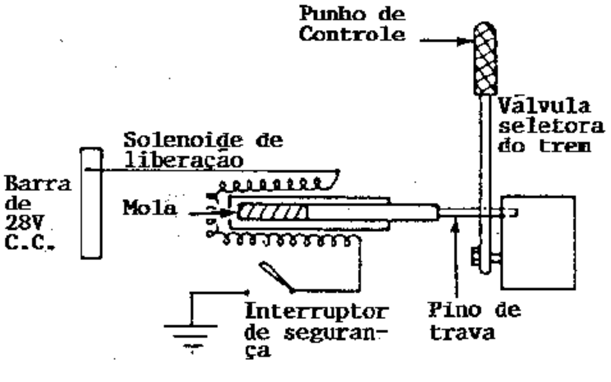


Figura 9-16 Típico circuito de segurança do trem de pouso.

Indicadores do trem de pouso

Para proporcionar uma indicação visual da posição do trem de pouso, indicadores são instalados na cabine ou compartimento de vôo.

Mecanismos ou dispositivos de alarme estão incorporados em todas as aeronaves com trens de pouso retráteis e usualmente consistem de uma buzina, ou algum outro dispositivo sonoro, e uma lâmpada vermelha de aviso.

A buzina soará e a lâmpada estará acesa, quando uma ou mais manetes forem retardadas, e o trem de pouso estiver em alguma posição que não seja “baixado e travado”.

Vários formatos de indicadores de posição do trem são encontrados. Um tipo mostra miniaturas móveis do trem de pouso que são eletricamente posicionadas pelo movimento do trem de pouso. Um outro tipo, consiste de duas ou três lâmpadas verdes, que acenderão quando o trem de pouso da aeronave estiver baixado e travado.

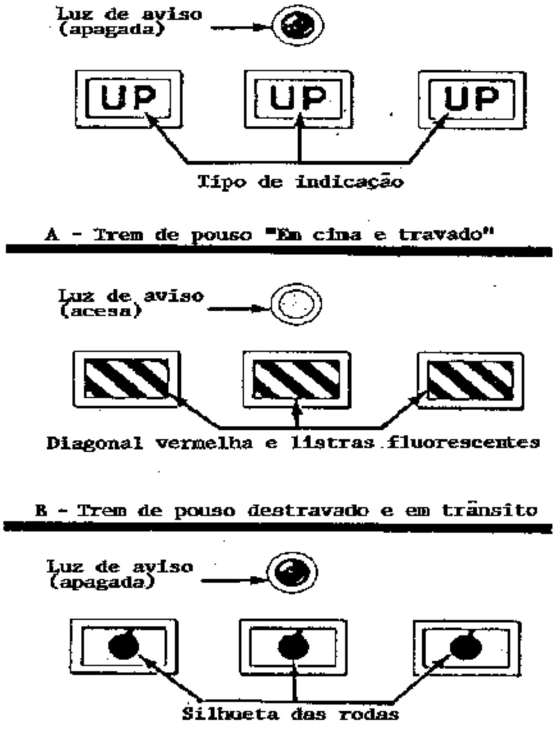

Luz de aviso (apagada)
UP
UP
UP
Tipo de indicação
A - Trem de pouso "Em cima e travado"
Luz de aviso (acesa)
Diagonal vermelha e listras fluorescentes
B - Trem de pouso destravado e em trânsito
Luz de aviso (apagada)
Silhueta das rodas
C - Trem de pouso "Baixado e travado"

Figura 9-17 Um típico indicador de trem de pouso e luz de aviso.

Um terceiro tipo (figura 9-17) consiste de indicadores do tipo “janelinha”, com inscrições “UP” (“em cima”), para indicar que o trem de pouso está em cima e travado; uma indicação com diagonais vermelhas e brancas para mostrar quando o trem de pouso estiver em transito ou destravado; ou ainda a silhueta de cada perna de força ou roda, para indicar quando elas estiverem em baixo e travadas.

Centralização da roda do nariz

Mecanismos de centralização incluem as unidades, como ressaltos internos de centralização (figura 9-18) para centralizar a roda do nariz quando ela for recolhida no seu alojamento. Se uma unidade centralizadora não estiver incluída no sistema, o alojamento da roda e unidades próximas poderão ser danificadas.

Durante a retração da perna do nariz, o peso da aeronave não é suportado por ela. O amortecedor será estendido pela força da gravidade e pela pressão de ar dentro dele. Quando o amortecedor se estende, a parte superior do amortecedor, que contém uma peça convexa de centralização, encaixa-se na parte côncava e fixa do conjunto. Isto feito, fará com que o amortecedor por si só fique alinhado com a direção “reta em frente”.

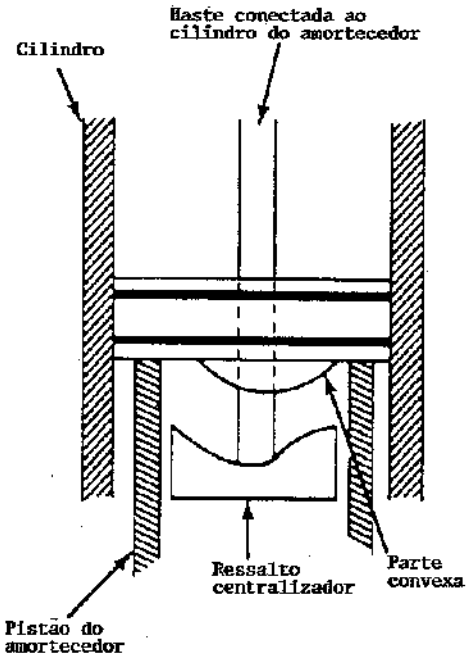

Haste conectada ao cilindro do amortecedor
Cilindro
Ressalto centralizador
Parte convexa
Pistão do amortecedor

Figura 9-18 Vista em corte do ressalto centralizador interno da perna do nariz.

O resultado interno de centralização é a característica mais comum entre as grandes aeronaves. Porém, outros dispositivos são encontrados comumente nas pequenas aeronaves.

Caracteristicamente, as pequenas aeronaves incorporam um cilindro ou pino guia na perna de força.

Como a perna de força é dobrada dentro do alojamento na retração, o cilindro ou pino guia se ajusta em uma rampa ou pista montada no alojamento do trem, na estrutura da aeronave. A rampa ou a pista orientam o pino, de tal maneira, que a roda do nariz é centralizada quando entra no seu alojamento.

Tanto no caso do ressalto interno, como no caso do sistema pino e rampa, logo que o trem esteja baixado e o peso da aeronave esteja apoiado nos amortecedores, a roda do nariz poderá ser girada para manobras no solo.

SISTEMA DE DIREÇÃO DA RODA DO NARIZ

Aeronaves leves

As aeronaves leves são normalmente equipadas com direção da roda do nariz, através de um sistema simples de ligações mecânicas, conectadas aos pedais do leme de direção. A mais comum das aplicações utiliza hastes rígidas para conectar os pedais nas alavancas, localizadas na porção pivotada da perna de força do nariz.

Aeronaves pesadas

As grandes aeronaves, com sua grande massa e uma necessidade de controle positivo, utilizam uma fonte de força para a direção da roda do nariz.

Embora os sistemas de direção da roda do nariz das grandes aeronaves sejam diferentes no processo de fabricação, basicamente todos esses sistemas trabalham aproximadamente da mesma maneira, e requerem a mesma espécie de unidades. Por exemplo, cada sistema de direção (figura 9-19) normalmente contém:

(1) Um controle na cabine, como: um volante, punho, manete, ou interruptor (para permitir a partida, a paralisação, e para controlar a ação do sistema).

(2) Conexões mecânicas, elétricas ou hidráulicas para a transmissão dos movimentos de controle da cabine para uma unidade de controle da direção.

(3) Uma unidade de controle, a qual usualmente é uma válvula de controle ou medidora.

(4) Uma fonte de força, a qual é, na maioria das vezes, o sistema hidráulico da aeronave.

(5) Tubulações para transportar o fluido para as várias partes do sistema.

(6) Um ou mais cilindros direcionais, em conjunto com as ligações necessárias, para utilizar o fluido pressurizado na movimentação da roda do nariz.

(7) Um conjunto de pressurização para manter o fluido em cada cilindro direcional, sempre sob pressão, e desse modo evitando a trepidação ou vibração.

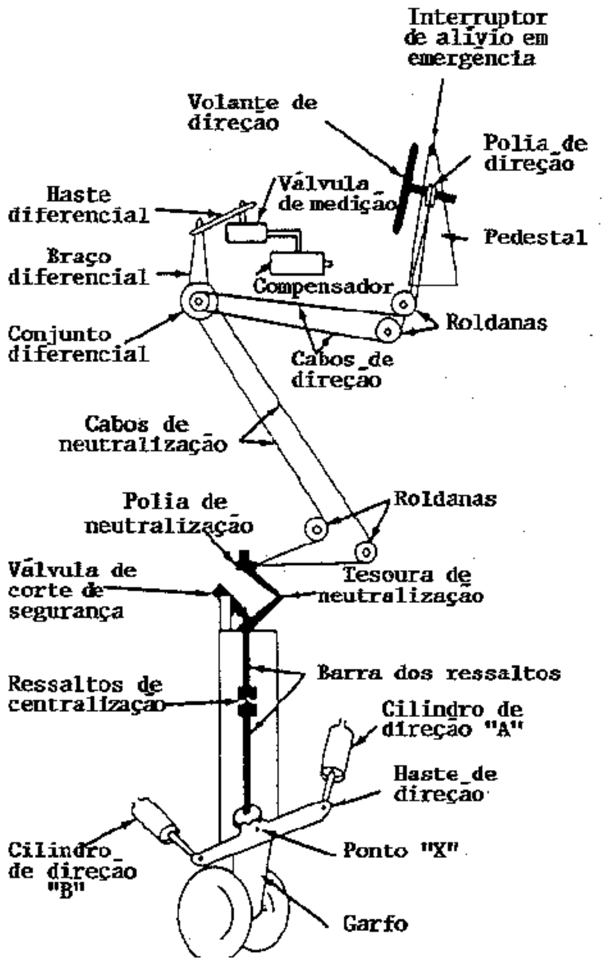

Interruptor de alívio em emergência
Volante de direção
Polia de direção
Haste diferencial
Válvula de medição
Pedestal
Braço diferencial
Compensador
Roldanas
Conjunto diferencial
Cabos de direção
Cabos de neutralização
Polia de neutralização
Roldanas
Válvula de corte de segurança
Tesoura de neutralização
Barra dos ressaltos
Ressaltos de centralização
Cilindro de direção "A"
Haste de direção
Cilindro de direção "B"
Ponto "X"
Garfo

Figura 9-19 Unidades hidráulicas e mecânicas do sistema da perna do nariz.

(8) Um mecanismo de neutralização (follow-up), consistindo de cabos, roldanas, volante e/ou manivela, para retornar a unidade de controle de direção para a posição "NEUTRA" e, assim, mantendo a perna de força do nariz no correto ângulo de curva.

(9) Válvulas de segurança para permitir que as rodas fiquem livres para as mudanças de direção, no caso de falha do sistema hidráulico.

Operação da direção da roda do nariz

O volante de comando da direção da roda do nariz, conecta através de um eixo, uma polia localizada dentro do pedestal de controle na cabine.A rotação desta polia transmite o sinal de direção, por meio de cabos e roldanas, para a polia de controle do conjunto diferencial. O movimento deste conjunto diferencial é transmitido pela haste diferencial para o conjunto da válvula medidora, onde ela move a válvula seletora para a posição selecionada. Então, a pressão hidráulica fornece a força para girar a roda do nariz.

Como mostra a figura 9-20, a pressão do sistema hidráulico da aeronave é dirigido através da válvula de corte em emergência, quando estiver aberta e, entrando em uma linha, passa para a válvula de medição.

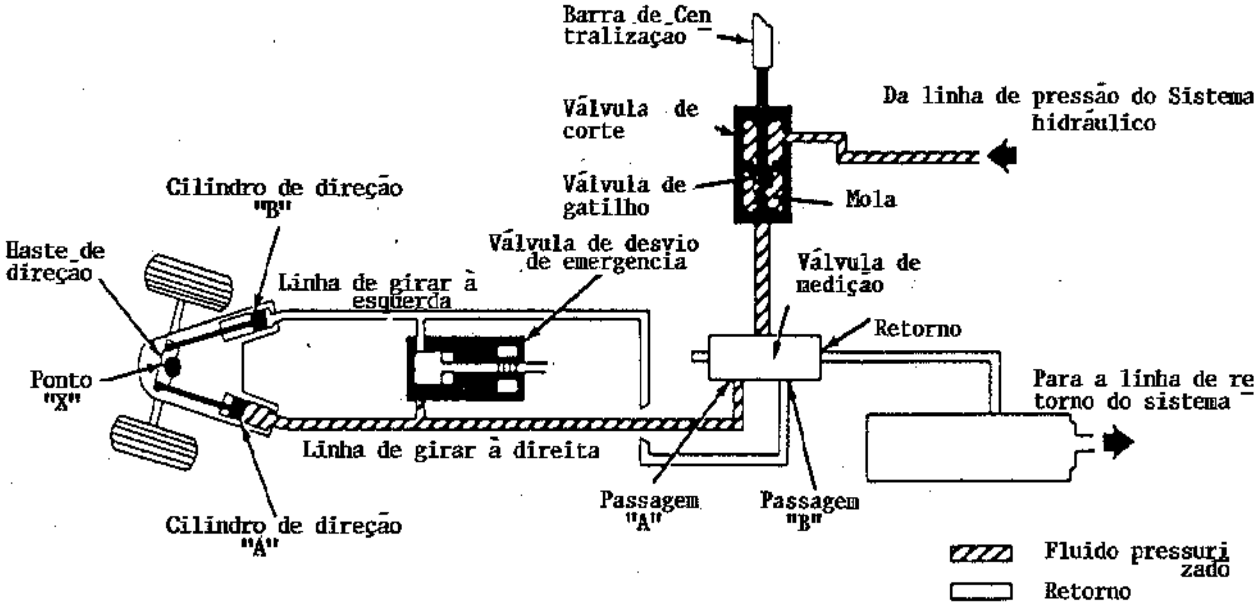

Barra de Centralizaçao
Válvula de corte
Da linha de pressão do Sistema hidráulico
Válvula de gatilho
Mola
Cilindro de direção "B"
Haste de direçao
Válvula de desvio de emergencia
Linha de girar à esquerda
Válvula de mediçao
Retorno
Ponto "X"
Para a linha de retorno do sistema
Linha de girar à direita
Passagem "A"
Passagem "B"
Cilindro de direção "A"
▨ Fluido pressurizado
▭ Retorno

Figura 9-20 Diagrama do fluxo hidráulico da direção da roda do nariz

Esta válvula, então, dirige o fluido pressurizado pela saída “A”, através de uma linha alternativa para a direita, e entrando no cilindro direcional “A”. Ele é um cilindro de apenas uma abertura, e a pressão força o pistão para iniciar a extensão. Como a haste do pistão está conectada na haste de direção do nariz, pivotada no ponto “X”, a extensão do pistão gira a haste de direção gradualmente para a outra da direita.

Esta ação gira a roda do nariz para a direita, lentamente, porque a haste de direção, está conectada na perna de força do nariz. Quando esta perna gira para a direita, o fluido é forçado para fora do cilindro “B” através da linha alternativa da esquerda, entrando na abertura “B da válvula de medição. Esta válvula manda este fluido de retorno para dentro do compensador, o qual dirige esse fluido para a linha principal de retorno do sistema da aeronave.

Então, a pressão hidráulica inicia a curva da perna do nariz. Entretanto, a perna não deverá ser girada muito rápido. O sistema de direção da roda do nariz contém mecanismos para deter a perna em um ângulo selecionado, e mantê-lo naquela posição de curva.

Hastes de neutralização (follow up)

Como já explicado, a perna de força do nariz é comandada pela haste de direção quando o pistão do cilindro “A” se estende (figura 9-20). Mas na parte traseira da haste de direção existe uma engrenagem que engraza com outra da barra dos ressaltos de centralização. Assim, quando a perna do nariz e a haste de direção giram, a barra dos ressaltos também gira, embora na direção oposta.

Esta rotação é transmitida pelas duas seções da barra dos ressaltos para a tesoura de neutralização (figura 9-19), localizada na parte superior da perna de força. Quando as partes da tesoura de neutralização giram, elas provocam o movimento da polia de neutralização conectadas a elas, que por sua vez transmite o movimento por meio de cabos e roldanas para o conjunto diferencial. A operação do conjunto diferencial causa o movimento da válvula de medição, que retornará a sua posição neutra.

A unidade compensadora (figura 9-21), que faz parte do sistema da roda do nariz, mantém o fluido pressurizado nos cilindros direcionais durante todo o tempo.

Esta unidade hidráulica consiste de um bloco com três aberturas, o qual contém um pistão acionado por mola e uma válvula de gatilho. A saída da esquerda é para ventilação, a qual evita o bloqueio do ar na parte traseira do pistão, que poderia interferir com o seu movimento.

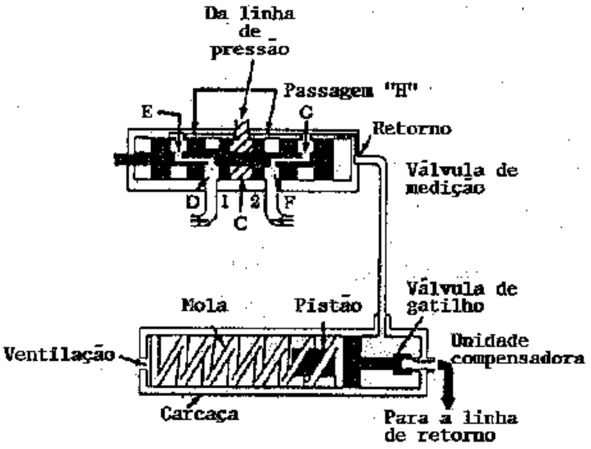


Figura 9-21 Vista em corte da válvula de medição e unidade compensadora.

A segunda abertura, localizada na parte superior do compensador, está conectada através de uma linha, à abertura de retorno da válvula medidora.

A terceira abertura está localizada no lado direito do compensador. Esta abertura, que está conectada à linha principal de retorno do sistema hidráulico, envia o fluido de retorno do sistema de direção para dentro da linha principal quando a válvula de gatilho estiver aberta.

A válvula de gatilho do compensador abre quando a pressão, atuando no pistão, tornar-se alta o bastante para comprimir a mola. Isto requer 100 p.s.i.; portanto, o fluido na linha de retorno da válvula medidora contém fluido aprisionado sob aquela pressão. Como a pressão em um fluido aprisionado é transmitida igualmente, e com o mesmo valor em todas as direções (lei de Pascal), 100 p.s.i. também existem na passagem "H" da válvula medidora e nas câmaras "E", "D", "G", e "F" (figura 9-21). Esta mesma pressão é também aplicada nas linhas alternativas direita e esquerda, como também nos cilindros direcionais.

AMORTECEDORES DE VIBRAÇÃO (SHIMMY)

Um amortecedor de vibração controla a vibração (shimny) da perna de força do nariz, através de um amortecimento hidráulico. O amortecedor tanto pode ser fixado à perna de força, como pode ser parte integrante da perna, tendo como finalidade evitar a vibração da roda do nariz durante o táxi, pouso ou decolagem.

Existem três tipos de amortecedores de vibração normalmente usados em aeronaves: **(1)** tipo pistão; **(2)** tipo palheta; e **(3)** características incorporadas no sistema de direção da roda do nariz de algumas aeronaves.

Amortecedor de vibração tipo pistão

O amortecedor de vibração do tipo pistão, mostrado na figura 9-22, consiste de dois componentes principais: **(1)** o conjunto de cames; e **(2)** o conjunto amortecedor. O amortecedor de vibração está montado em uma braçadeira na parte inferior do amortecedor da perna de força do nariz, no cilindro externo.

O conjunto de cames está fixado no cilindro interno do amortecedor da perna de força, e gira com a roda do nariz. Realmente o came consiste de dois cames com função contrária, como imagem de espelho, um do outro. Ressaltos nos cames são, desse modo, colocados, para o efeito de amortecimento oferecer maior resistência a rotação, quando a roda estiver centrada.

O eixo do came seguidor é uma peça fundida no formato de "U", o qual incorpora um rolete que segue o ressalto do came para restringir a rotação. O braço do eixo está conectado ao eixo de operação do pistão.

O conjunto amortecedor consiste em um pistão reservatório carregado por mola, para manter o fluido confinado sob constante pressão, e um operacional cilindro e pistão.

Uma válvula de esfera permite o fluxo de fluido do reservatório para o cilindro, compensando a perda de algum fluido durante a operação do cilindro. Devido a presença da haste na operação do pistão, o curso de afastamento da extremidade de abastecimento fornece mais fluido do que o deslocamento no sentido dessa extremidade.

Esta diferença é compensada pelo orifício do reservatório, que permite um pequeno fluxo em ambos os sentidos, entre o reservatório e o cilindro operacional.

Uma marca vermelha (figura 9-22) na haste indicadora do reservatório, indica o nível de fluido no reservatório. Quando o pistão penetra no reservatório o bastante para que a marca não fique visível, o reservatório deverá ser reabastecido.

O cilindro operacional aloja o pistão operacional. Um pequeno orifício na cabeça do pistão permite o fluxo do fluido de um lado do pistão para o outro. O eixo do pistão está conectado ao braço do came seguidor.

Quando a perna do nariz gira em uma direção qualquer (figura 9-22), o came amortecedor de vibração desaloja os roletes do came seguidor, causando ao pistão operacional movimento em sua câmara. Este movimento força o fluido através do orifício do pistão. Como o orifício é muito pequeno, os rápidos movimentos do pistão, que ocorrem normalmente durante o pouso e a decolagem, são limitados, e a vibração da perna de força do nariz é eliminada.

A rotação gradual da perna de força do nariz não sofre a resistência do amortecedor. Isto possibilita a aeronave ser taxiada a baixas velocidades. Se a perna de força girar em qualquer direção, até que os reletes estejam sobre os altos pontos do came, os posteriores movimentos da perna de força serão praticamente sem restrição..

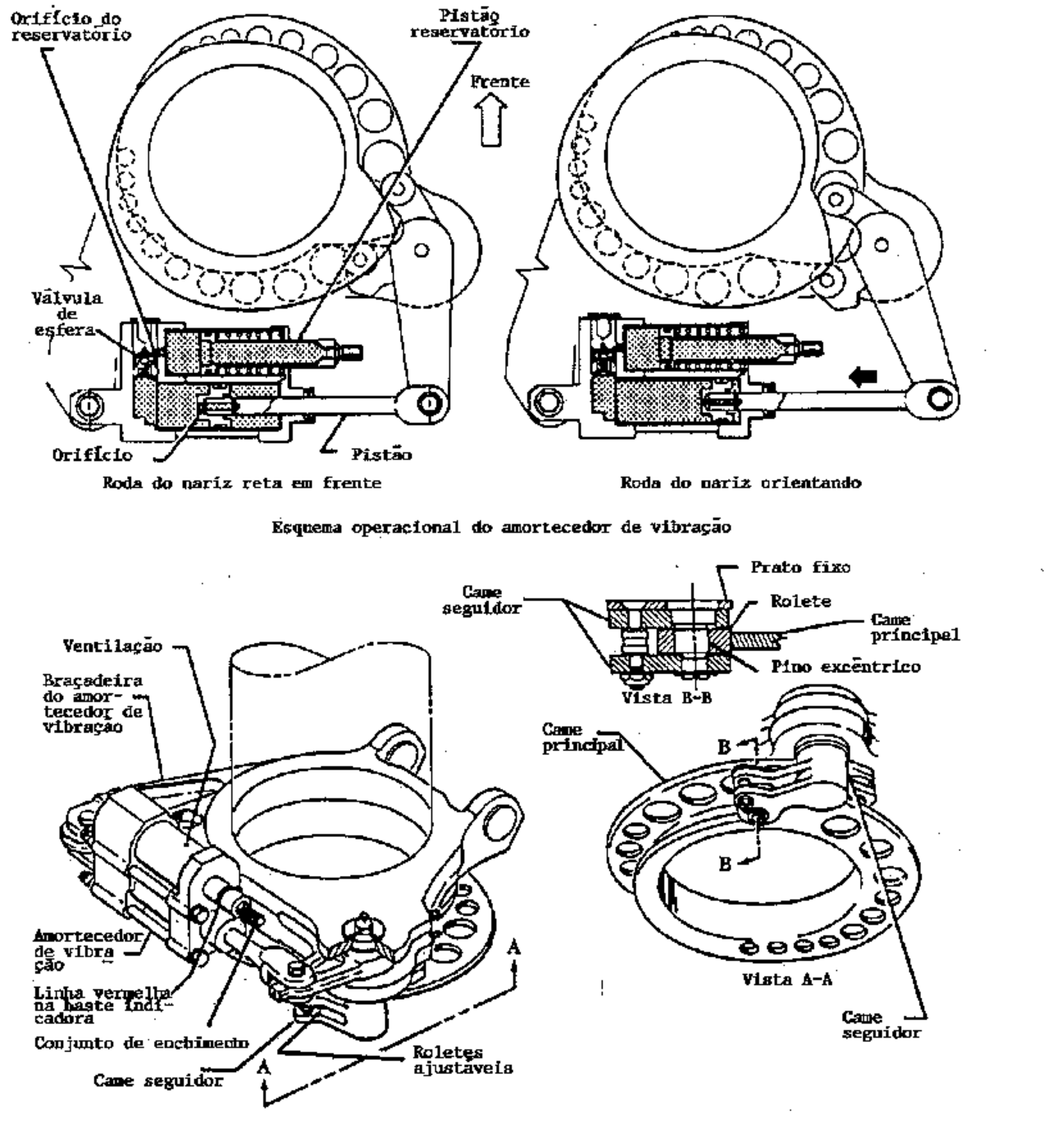

Orifício do reservatório
Pistão reservatório
Frente
Válvula de esfera
Orifício
Pistão
Roda do nariz reta em frente
Roda do nariz orientando
Esquema operacional do amortecedor de vibração
Prato fixo
Came seguidor
Rolete
Came principal
Pino excêntrico
Vista B-B
Ventilação
Braçadeira do amortecedor de vibração
Came principal
B
B
Amortecedor de vibração
Linha vermelha na haste indicadora
Conjunto de enchimento
Came seguidor
A
A
Roletes ajustáveis
Vista A-A
Came seguidor

Figura 9-22 Amortecedor de vibração tipo pistão

.

O amortecedor de vibração do tipo pistão, geralmente requer um mínimo de serviços de manutenção; porém, ele deverá ser checado periodicamente por evidência de vazamento hidráulico em torno do conjunto amortecedor, e o nível do reservatório deve ser mantido todo o tempo.

O conjunto de cames deverá ser checado quanto a evidência de emperramento por desgaste, perda ou peças quebradas.

Amortecedor de vibração do tipo palheta

O amortecedor de vibração tipo palheta está localizado no amortecedor da perna de força do nariz, logo acima do garfo da roda, e pode ser montado tanto interno como externamente.

Se for montado internamente, o corpo do amortecedor é fixado dentro do amortecedor da perna de força, e o eixo é fixado ao garfo da roda. Se montado externamente, o corpo do amortecedor de vibração é aparafusado lateralmente no amortecedor da perna de força, e o eixo é conectado por ligações mecânicas ao garfo da roda do nariz.

O corpo do amortecedor de vibração (figura 9-23) está dividido em três partes principais: **(1)** a câmara de abastecimento; **(2)** a câmara de trabalho; e **(3)** a câmara inferior de vedação do eixo.

A câmara de abastecimento fica na parte superior do conjunto, e estoca um suprimento de fluido sob pressão.

A pressão é aplicada ao fluido pelo pistão de abastecimento, acionado por mola, e o eixo do pistão que se estende através da parte superior servindo como um indicador de nível.

A área acima do pistão contém a mola e, é aberta para a atmosfera a fim de evitar o calço hidráulico.

O vazamento de fluido para o pistão é evitado por meio de vedadores de seção circular (O ring). Uma tomada do tipo "graxeira" permite o enchimento da câmara de abastecimento com fluido.

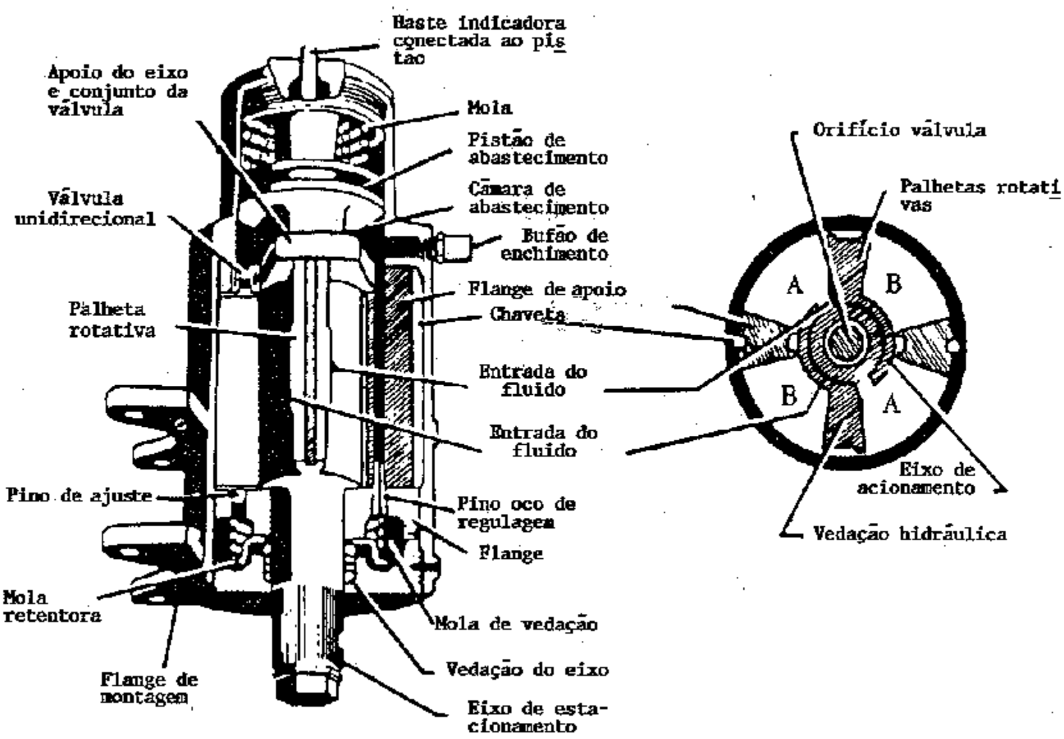

Baste indicadora conectada ao pis tao
Apoio do eixo e conjunto da válvula
Mola
Pistão de abastecimento
Válvula unidirecional
Câmara de abastecimento
Bufão de enchimento
Flange de apoio
Chaveta
Palheta rotativa
Entrada do fluido
Entrada do fluido
Pino de ajuste
Pino oco de regulagem
Flange
Mola retentora
Mola de vedação
Vedação do eixo
Flange de montagem
Eixo de esta- cionamento
Orifício válvula
Palhetas rotati vas
A
B
B
A
Eixo de acionamento
Vedação hidráulica

Figura 9-23 Amortecedor de vibração do tipo palheta.

A câmara de trabalho é separada da câmara de abastecimento pelo apoio do eixo e conjunto da válvula.

A câmara de trabalho contém duas válvulas unidirecionais de esfera, as quais permitem o fluxo do fluido da câmara de abastecimento para a câmara de trabalho. Esta câmara está dividida em quatro seções por duas palhetas estacionárias chamadas de "flanges de apoio", as quais são chavetadas na parede interna do corpo, e duas palhetas rotativas, as quais são parte integral de um eixo. Este eixo contém um orifício válvula, através do qual o fluido deve passar, indo de uma câmara para outra.

Girando a perna de força do nariz em qualquer direção, ocasionamos o movimento das palhetas rotativas do conjunto.

Isto resulta na diminuição de duas seções da câmara de trabalho, enquanto as duas opostas seções da câmara tornam-se maiores. As palhetas rotativas podem se mover tão rápido quanto o fluido pode ser desalojado de uma câmara para outra.

Toda a quantidade de fluido desalojado, deve passar através do orifício válvula no eixo. A resistência do fluxo do fluido através do orifício é proporcional à velocidade do fluxo. Isto quer dizer que o amortecedor de vibração oferece pouca resistência, no caso de movimentos lentos, semelhantes aos encontrados durante a direção normal da roda do nariz no manuseio de solo, mas oferece grande resistência à vibração no pouso, decolagem, e taxiando em alta velocidade.

Um ajuste automático do orifício compensa as mudanças de temperatura. Um termostato bimetálico no eixo abre e fecha o orifício quando há mudança de temperatura e de viscosidade. Isto resulta em uma constante resistência sob uma extensa gama de temperatura.

No caso de uma pressão excepcionalmente alta ser repentinamente ocasionada dentro da câmara de trabalho, devido a uma severa força de virada na roda do nariz, um flange é movido para baixo, comprimindo a mola da vedação inferior do eixo, permitindo ao fluido passar ao redor das extremidades inferiores das palhetas, evitando danos na estrutura.

A manutenção de um adequado nível de fluido é necessária para o funcionamento contínuo de um amortecedor de vibração do tipo palheta. Se um amortecedor de vibração do tipo palheta não estiver operando satisfatoriamente, o nível do fluido é o primeiro item que deverá ser checado, pela medição do pino indicador no centro da cobertura do corpo do amortecedor.

A inspeção de um amortecedor de vibração deve incluir uma checagem de evidência de vazamento, e um exame completo de todas as conexões e fixações entre as partes móveis do amortecedor da perna de força, e o eixo do amortecedor de vibração por conexões frouxas.

O fluido deverá ser adicionado somente quando a haste indicadora estiver exposta em menor tamanho do que está determinado. A distância exposta varia entre os diferentes modelos.

Um amortecedor de vibração não deverá ser reabastecido em excesso. Se a haste indicadora estiver acima da altura especificada na chapa de inscrição, o fluido deverá ser removido do amortecedor até manter o nível correto.

Amortecedor de direção

Um amortecedor de direção é hidraulicamente operado, e executa as duas funções separadas de direção da roda do nariz e eliminação de vibração. O tipo em discussão aqui, é projetado para ser instalado na perna de força do nariz e conectado ao sistema hidráulico da aeronave. Um amortecedor de direção é mostrado na figura 9-24.

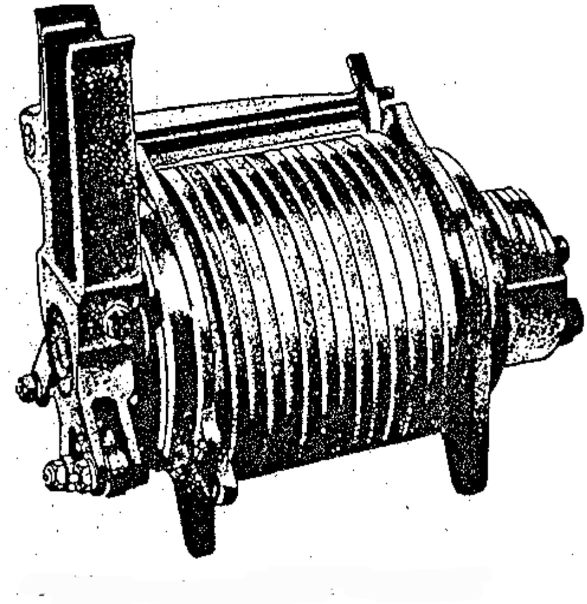


Figura 9-24 Amortecedor de direção.

Basicamente, um amortecedor de direção consiste de um cilindro fechado contendo uma câmara de trabalho do tipo palheta rotativa (semelhante ao amortecedor tipo palheta) e um sistema de válvulas.

O amortecedor de direção pode conter qualquer número par de câmaras de trabalho. Um amortecedor guia com uma palheta no eixo e uma perna de apoio no flange de apoio deverá ter duas câmaras.

Similarmente, uma unidade com duas palhetas no eixo e duas pernas de apoio no flange de apoio deverá ter quatro câmaras. As unidades de uma palheta, ou de duas são as mais utilizadas.

Uma ligação mecânica está conectada na parte exposta do eixo ao garfo da roda, e é usada como um meio de transmissão de força. As ligações no amortecedor de direção podem ser conectadas a uma pesada mola na parte externa do reservatório, para a centralização automática da roda do nariz. O amortecedor de direção executa duas funções separadas: uma é a direção da roda do nariz e a outra é o amortecimento das vibrações. Somente a função de amortecimento será discutida nesta seção. O amortecedor de direção automaticamente reverte a vibração, quando por alguma razão, o fluxo de fluido de alta pressão é removido da entrada do amortecedor de direção.

Esta alta pressão, que ativa o sistema de válvulas do amortecedor guia, é removida das passagens de controle por um dos dois métodos, dependendo da instalação.

Quando a linha de entrada é suprida por uma válvula solenóide de três aberturas, e o suprimento de alta pressão está cortado, o fluido é sangrado da unidade através da abertura de saída da válvula para descarregar a linha.

Quando estiver instalada uma válvula de duas aberturas, o fluido de alta pressão deixa as passagens de controle através de um orifício, especialmente previsto para este tipo de instalação que está localizado no centro do plugue da linha de retorno.

O efetivo amortecimento é assegurado pela manutenção nas câmaras de trabalho do fluido hidráulico, sem a presença do ar. Isto é conseguido, permitindo que o ar e uma pequena quantidade de fluido hidráulico deixem as câmaras de trabalho através de sulcos de ventilação estrategicamente localizados, enquanto o fluido, sem presença de ar, é admitido através das válvulas de abastecimento, vindo da linha de retorno do sistema hidráulico.

Pressão excessiva na unidade, devido as mudanças de temperatura, é evitada pela válvula de alívio térmico, no flange interno.

A inspeção diária do amortecedor de direção deverá incluir uma checagem de vazamento e uma completa inspeção de todas as conexões hidráulicas e parafusos de montagem do amortecedor guia quanto a aperto e todas as ligações e conexões, entre as partes móveis do amortecedor da perna de força e o eixo do amortecedor de direção.

SISTEMAS DE FREIOS

O funcionamento correto dos freios é da máxima importância em uma aeronave. Os freios são usados para redução da velocidade, parada, estacionamento ou direção da aeronave. Eles devem desenvolver força suficiente para parar a aeronave em uma razoável distância.

Os freios devem manter a aeronave parada durante uma checagem normal de motor; e os freios devem permitir a direção da aeronave no solo.

Os freios estão instalados em cada roda das pernas de força principais, e eles podem ser atuados independentemente um do outro. O freio da roda direita, é controlado pela aplicação da parte superior do pedal de direção direito, e o da roda esquerda é controlado pelo pedal de direção esquerdo.

Para que os freios funcionem eficientemente, cada componente no sistema de freios deve operar satisfatoriamente, e cada conjunto de freio na aeronave deve operar com igual eficiência .

Portanto, é importante que o sistema de freios por inteiro seja freqüentemente inspecionado, e um amplo suprimento de fluido hidráulico deva ser mantido no sistema.

Cada conjunto de freio deve ser ajustado adequadamente, e as superfícies de fricção devem ser mantidas livres de óleo e graxa.

Três tipos de sistemas de freio são geralmente usados: **(1)** sistemas independentes; **(2)** sistemas de controle de força; e **(3)** sistemas de reforço de força. Além disso, existem vários diferentes tipos de conjuntos de freios de uso difundido.

Sistemas de freio independente

Em geral, o sistema de freio independente é usado em pequenas aeronaves. Este tipo de sistema de freio é chamado "independente" por ter o próprio reservatório, e ser inteiramente independente do sistema principal da aeronave.

Os sistemas de freio independentes são energizados por cilindros mestres, semelhantes aos usados nos sistemas de freios convencionais de automóveis.

O sistema é composto de um reservatório, um ou dois cilindros mestres, ligações mecânicas que conectam cada cilindro mestre com o seu correspondente pedal de freio, linhas de fluido e conexões, e um conjunto de freio em cada roda das pernas de forças principais (figura 9-25).

Cada cilindro mestre é atuado pela pressão na parte superior do pedal correspondente.

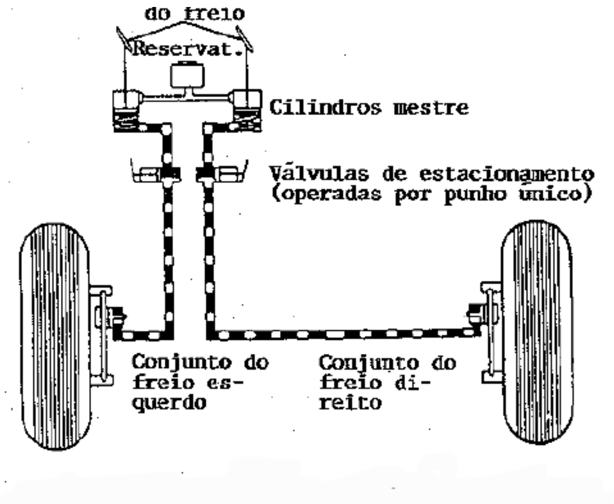

do freio
Reservat.
Cilindros mestre
Válvulas de estacionamento
(operadas por punho único)
Conjunto do freio esquerdo
Conjunto do freio direito

Figura 9-25 Sistema de freio independente.

O cilindro mestre forma a pressão pelo movimento de um pistão dentro de um cilindro vedado, cheio de fluido. A resultante pressão hidráulica é transmitida para a linha de fluido, conectada ao conjunto de freio na roda. Isto resulta na fricção necessária para parar a roda.

Quando o pedal do freio é aliviado, o pistão do cilindro mestre retorna para a posição de repouso, sob ação de mola. O fluido que foi movimentado dentro do conjunto de freio é então, empurrado de volta para o cilindro mestre por um pistão no conjunto de freio.

O pistão do conjunto de freio retorna para a posição de repouso por uma mola de retorno no freio. Algumas aeronaves leves são equipadas com um cilindro mestre simples o qual aplica a ação de freio simultaneamente em ambas as rodas principais. A direção da roda do nariz é conseguida, neste sistema, por ligações mecânicas.

Um cilindro mestre típico tem uma saída de compensação ou válvula que permite o fluxo do fluido da câmara do freio de volta ao reservatório, quando uma excessiva pressão é desenvolvida na linha do freio, devido a variações de temperatura. Isto assegura que o cilindro mestre não trave ou cause o arrasto dos freios.

Vários fabricantes têm projetado cilindros mestres para uso em aeronaves. Todos são semelhantes em sua operação, diferindo apenas em pequenos detalhes e na contrução. Dois tipos, bem conhecidos de cilindros mestres - o Goodyear e o Warner - serão descritos e ilustrados nesta seção.

No cilindro mestre da Goodyear (figura 9-26) o fluido é fornecido de um reservatório externo, por gravidade, para o cilindro mestre. O fluido penetra pela abertura de entrada, passa pela abertura de compensação e preenche o corpo do cilindro, a frente do pistão e a linha de fluido o conduz para o cilindro de atuação do freio.

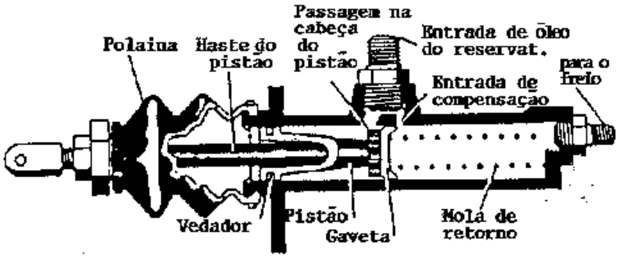


Figura 9-26 Cilindro mestre de freio da Goodyear.

A aplicação do pedal do freio, o qual é ligado à haste do pistão do cilindro mestre, faz com que a haste do pistão o empurre para dentro do corpo do cilindro mestre. Um pequeno movimento para a frente bloqueia a passagem de compensação, e o aumento da pressão se inicia. Esta pressão é transmitida ao conjunto do freio.

Quando o pedal do freio é aliviado e retorna para a posição neutra, o pistão retorna sob a ação da mola, atuando na sua parte frontal, voltando o pistão e o selo para a posição neutra, de encontro ao batente de retorno. Isto faz com que a passagem de compensação fique outra vez livre. O fluido que havia sido enviado ao conjunto do freio e linhas de conexão, é então empurrado de volta ao cilindro mestre pelo pistão do freio, o qual retorna para a posição neutra pela mola de retorno do pistão do freio. Qualquer pressão ou excesso de volume do fluido é aliviado através da passagem de compensação, voltando para o reservatório. Isto evita o bloqueio do cilindro mestre ou ocasiona o arrasto do freio.

Se algum fluido for perdido pelo selo da parte dianteira do pistão, devido a vazamento, ele será automaticamente substituído por fluido vindo do reservatório por gravidade.

Qualquer fluido perdido por vazamento na parte dianteira do pistão, na linha ou no conjunto do freio, será automaticamente reposto através das entradas na cabeça do pistão e ao redor do selo do pistão, quando ele estiver retornando para a posição neutra. O selo da parte dianteira do pistão funciona como vedador apenas durante o acionamento para a frente.

Este processo de substituição automática do fluido mantém o cilindro mestre, as linhas de conexão do freio e o conjunto do freio completamente supridos com fluido, enquanto o reservatório estiver abastecido.

O selo da parte traseira do pistão veda a extremidade traseira do cilindro durante todas as operações, evitando vazamentos do fluido, e a polaina de borracha flexível serve somente de proteção contra poeira.

Os freios podem ser aplicados para estacionamento por uma trava tipo cremalheira, instalada dentro de ligações mecânicas entre o cilindro mestre e o pedal do freio. Qualquer mudança do volume de fluido, devido a expansão enquanto o freio estiver estacionado, é cuidada por uma mola incorporada às ligações mecânicas. Para soltar o freio de estacionamento, é necessária a aplicação de pressão suficiente nos pedais para soltar a cremalheira.

Os sistemas de freio, que empregam o cilindro mestre da Goodyear, devem ser sangrados de cima para baixo. Nunca deve ser tentada a sangria de baixo para cima, porque é impossível remover o ar da parte traseira do selo do pistão.

O cilindro mestre da Warner (figura 9-27) incorpora um reservatório, câmara de pressão, e dispositivos de compensação em uma única carcaça. O reservatório é ventilado para a atmosfera através de um plugue filtro, que contém também uma válvula unidirecional. Um tubo indicador de nível está localizado em um dos lados do corpo do reservatório.

A pressão do pé na parte superior do pedal do freio é transferida para o pistão do cilindro por meio de ligações mecânicas. Quando o pistão se move para baixo, a válvula de compensação é fechada, formando-se pressão na câmara.

Continuando o movimento do pistão, o fluido é forçado no conjunto do freio, criando a ação de frenagem. Quando a pressão do pé é removida do pedal, o pistão, por ação de mola, retorna a posição neutra. O dispositivo de compensação permite o fluxo do fluido entre o reservatório e a câmara de pressão quando os freios estão em condição neutra ficando o sistema por inteiro sob pressão atmosférica.

Alguns modelos do cilindro mestre Warner possuem um dispositivo de parqueamento, que consiste de um mecanismo de mola e cremalheira. A cremalheira trava a unidade, quando acionada, e a mola faz a compensação durante a expansão e contração do fluido.

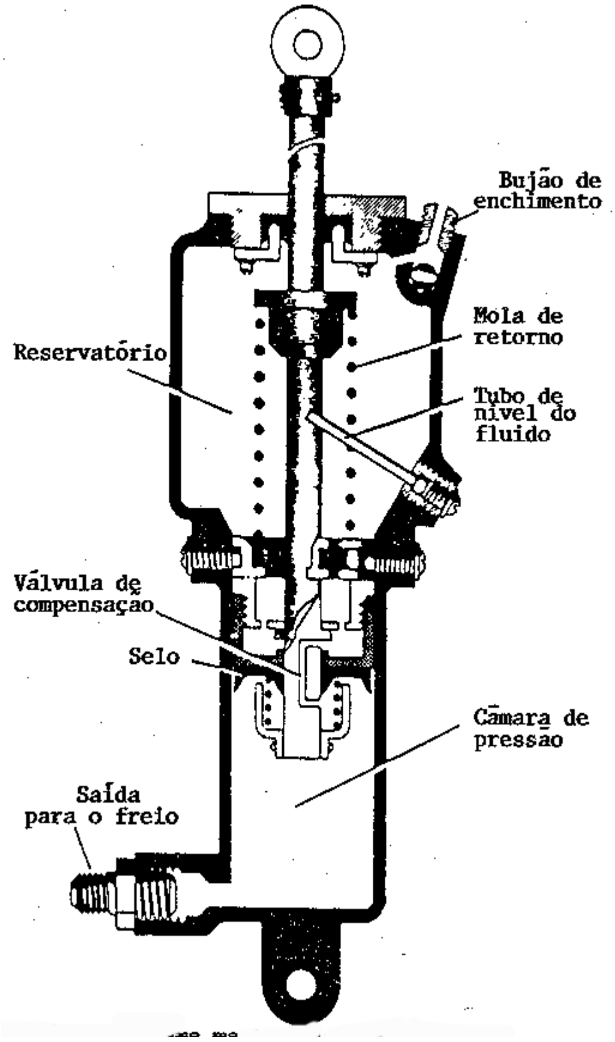


Figura 9-27 Cilindro mestre de freio da Warner.

Sistemas de controle de freio de força

Os sistemas de válvulas de controle de freio de força (figura 9-28) são usados nas aeronaves que requerem um grande volume de fluido para a operação dos freios. Como regra geral, isto se aplica a maioria das aeronaves de grande porte. Devido ao seu peso e tamanho, rodas e freios grandes são necessários. Eles significam maior disponibilidade de fluido e altas pressões e, por esta razão, sistemas com cilindros mestre independentes não são praticáveis em aeronaves pesadas.

Neste sistema uma linha é tomada da linha de pressão do sistema hidráulico principal. A primeira unidade nesta linha é uma válvula unidirecional que evita perda da pressão do sistema de freio no caso de falha do sistema principal. A próxima unidade é o acumulador, o qual estoca uma reserva de suprimento de fluido sob pressão.

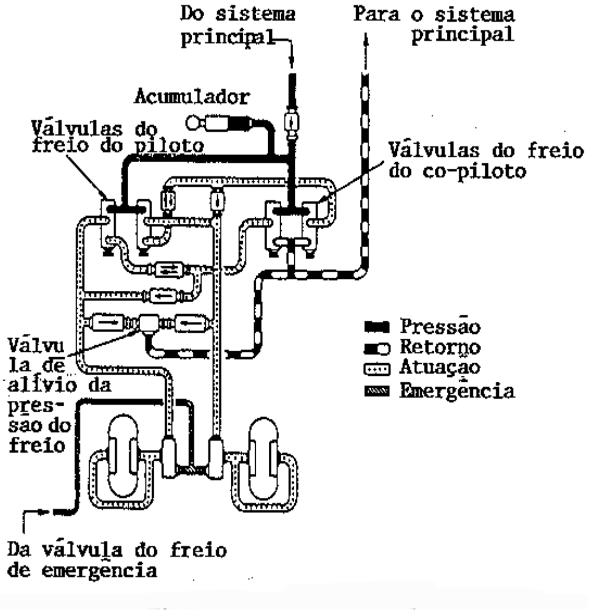

Do sistema principal
Para o sistema principal
Acumulador
Válvulas do freio do piloto
Válvulas do freio do co-piloto
Pressão
Retorno
Atuação
Emergência
Válvula de alívio da pressão do freio
Da válvula do freio de emergência

Figura 9-28 Sistema de válvula de controle do freio.

Quando os freios são aplicados e a pressão cai no acumulador, mais fluido é recolhido do sistema principal, ficando bloqueado pela unidirecional. O acumulador também atua como câmara amortecedora, para cargas excessivas, impostas sobre o sistema hidráulico de freios.

Em seguida ao acumulador, estão as válvulas de controle da posição do piloto e do co-piloto. As válvulas de controle regulam e controlam o volume e a pressão do fluido que atua os freios.

Quatro válvulas de retenção, e duas de retenção com orifícios, estão instaladas nas linhas de atuação do freio do piloto e do co-piloto.

A válvula de retenção permite o fluxo do fluido somente em uma direção. A válvula de retenção com orifício permite o fluxo livre em uma direção vindo da válvula de freio da posição do piloto; o fluxo na direção oposta é restrito por um orifício na válvula. A válvula de retenção com orifício ajuda a evitar a trepidação enquanto se freia.

A próxima unidade nas linhas de atuação do freio é a válvula de alívio da pressão. Neste sistema em particular, a pressão de alívio da válvula, está regulada para abrir a 825 p.s.i.; descarregando o fluido na linha de retorno, e para fechar a 760 p.s.i. no mínimo.

Cada linha de atuação do freio incorpora uma válvula lançadeira, com a finalidade de isolar o sistema de freio de emergência do sistema de freio normal.

Quando a pressão de atuação do freio penetra na válvula lançadeira, ela é movida automaticamente para o lado oposto da válvula. Isto fecha a linha de atuação do sistema hidráulico de freio. O fluido retornando dos freios volta para o sistema, para o qual a lançadeira tenha sido aberta.

Válvula de controle de freio tipo esfera

Uma válvula de controle de freio assistido, do tipo esfera (figura 9-29), alivia e regula a pressão do sistema principal para os freios, e alivia a expansão térmica quando os freios não estiverem sendo usados.

As partes principais da válvula são o corpo da válvula, o conjunto do pistão e o garfo.

O corpo da válvula contém três câmaras e aberturas: entrada de pressão, do freio, e retorno.

Quando a pressão do pé é aplicada no pedal do freio, o movimento é transmitido através das hastes para o garfo. O garfo gira, movendo o pistão para dentro do cilindro. O primeiro movimento para dentro ocasiona o contacto da cabeça do pistão com um flange no pino piloto, fechando a passagem do fluido para o retorno.

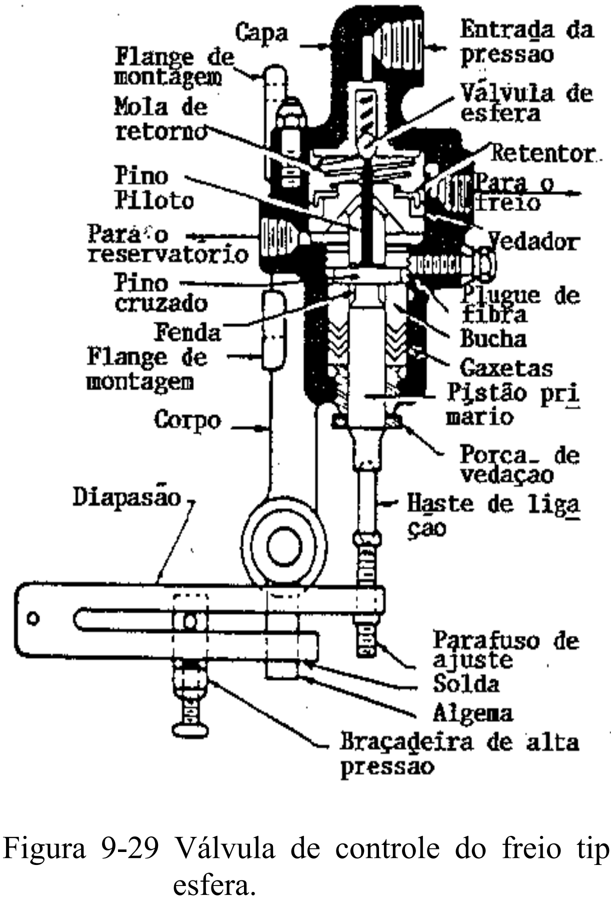

Capa
Flange de montagem
Mola de retorno
Pino Piloto
Para o reservatório
Pino cruzado
Fenda
Flange de montagem
Corpo
Diapasão
Entrada da pressao
Válvula de esfera
Retentor
Para o freio
Vedador
Plugue de fibra
Bucha
Gaxetas
Pistão primario
Porca de vedação
Haste de ligação
Parafuso de ajuste
Solda
Algema
Braçadeira de alta pressao

Figura 9-29 Válvula de controle do freio tipo esfera.

A continuação do movimento desloca a válvula de esfera, permitindo que a pressão do sistema principal penetre na linha do freio. Quando a pressão aumenta no cilindro de atuação do freio e linha, a pressão também aumenta na parte superior do pistão.

Quando a força total na parte superior do pistão for maior do que a força aplicada no pedal do freio, o pistão é forçado para baixo contra a pressão da mola. Isto permite o assentamento da válvula de esfera, fechando a passagem da pressão do sistema. Nesta posição, as aberturas de pressão e de retorno estão fechadas, equilibrando a válvula do freio. Esta ação de equilíbrio corta a pressão do sistema para o freio, fechando a pressão do sistema principal quando a desejada pressão de freio for alcançada. Logo que a válvula tenha alcançado o equilíbrio, o fluido sob pressão é bloqueado no conjunto do freio e na linha.

Válvula de controle do freio tipo carretel deslizante

Uma válvula de controle de freio assistido do tipo carretel deslizante (figura 9-30), básicamente consiste de uma luva e um carretel instalados em um corpo.

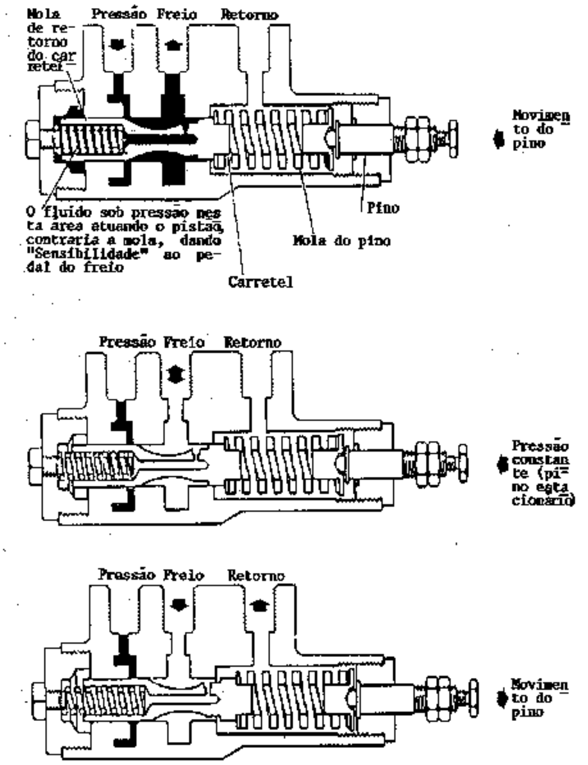

Mola de retorno do carretel
Pressão
Freio
Retorno
Movimento do pino
O fluido sob pressão nesta area atuando o pistão, contraria a mola, dando "Sensibilidade" ao pedal do freio
Pino
Mola do pino
Carretel
Pressão
Freio
Retorno
Pressão constante (pino estacionário)
Pressão
Freio
Retorno
Movimento do pino

Figura 9-30 Válvula de controle do freio tipo carretel deslizante.

O carretel se move dentro da luva, abrindo ou fechando, tanto a passagem da pressão como a do retorno para a linha do freio. Duas molas estão instaladas. A mola maior, chamada de mola do pino, na figura 9-30, dá "sensibilidade" para o pedal do freio. A mola pequena retorna o carretel para a posição neutra.

Quando a pressão no pino é aliviada, a mola grande move o carretel, fechando o retorno e abrindo a passagem da pressão para a linha do freio. Quando a pressão penetra na válvula, o fluido escoa para o lado oposto do carretel através de um orifício, quando a pressão empurra o carretel de volta o suficiente para que a mola grande bloqueie a abertura da pressão, mas sem abrir a passagem para o retorno.

A válvula está então em uma condição estática. Este movimento comprime parcialmente a grande mola, dando "sensibilidade" para o pedal do freio. Quando o pedal do freio é aliviado, a mola pequena move o carretel de volta e abre a passagem do retorno. Isto permite que a pressão do fluido na linha do freio flua para a passagem de retorno.

Cilindros redutores

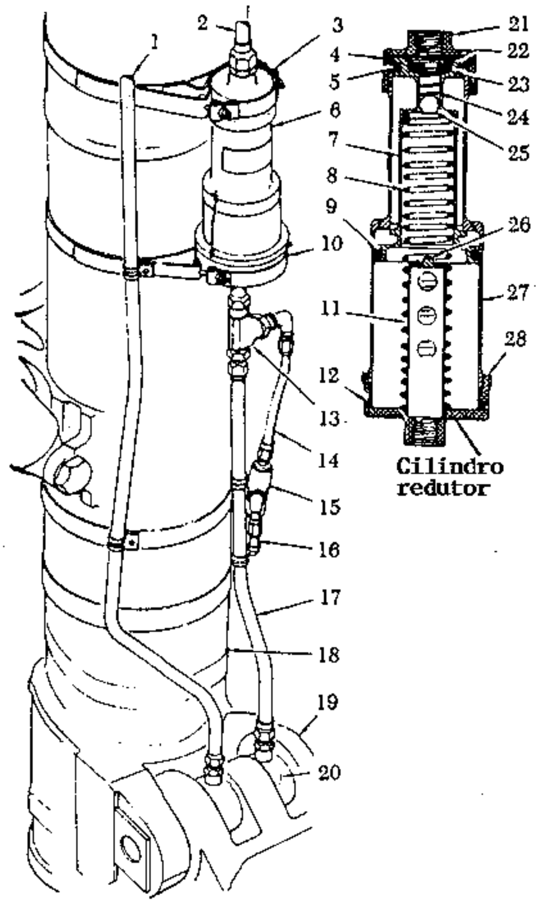
Em alguns sistemas de válvulas de controle de freio de força, cilindros redutores são usados em conjunto com as válvulas de controle dos freios. As unidades redutoras são geralmente usadas em aeronaves equipadas com um sistema hidráulico de alta pressão e freios de baixa pressão. Estes cilindros reduzem a pressão para os freios e aumentam o volume do fluxo de fluido. A figura 9-31 apresenta uma típica instalação, montada no amortecedor de uma perna de força, na linha entre a válvula de controle e o freio.

Conforme é mostrado no diagrama esquemático da unidade, o corpo do cilindro contém uma pequena e uma grande câmara, um pistão com uma pequena e uma grande cabeça, uma válvula de retenção de esfera e uma mola de retorno do pistão.

Na posição "neutra" , o conjunto do pistão é mantido na extremidade de entrada (ou pequena) do redutor pela mola de retorno do pistão. A válvula de retenção de esfera, é mantida na sua sede na cabeça menor do pistão, por uma pequena mola.

O fluido desalojado pela expansão térmica na unidade do freio, pode facilmente empurrar a válvula de retenção de esfera fora da sua sede, para escapar de volta através do redutor para a válvula de controle.

Quando os freios são aplicados, o fluido sob pressão passa pela abertura de entrada para atuar na pequena cabeça do pistão.



1- Linha de pressão do sistema de emergência	15- Válvula de alívio da pressão do freio
2- Linha de pressão do freio principal	16- Linha de transbordamento
3- Braçadeira superior	17- Linha do freio (do redutor para a válvula lançadeira)
4- Junta de vedação	18- Amortecedor
5- Junta de vedação	19- Articulação
6- Conjunto do cilindro redutor	20- Válvula lançadeira do freio
7- Pistão	21- Tampa
8- Mola do pistão	22- Anel freno
9- Junta de vedação	23- Mola de retenção
10- Braçadeira inferior	24- Mola da válvula
11- Tubo levantador	25- Esfera
12- Junta de vedação	26- Sede da esfera
13- Conexão em “T”	27- Tambor
14- Linha do freio	28- Tampa inferior

Figura 9-31 Cilindro redutor da pressão do freio.

A esfera de retenção evita que o fluido passe através do eixo.

A força é transmitida através da cabeça menor para a maior do pistão.

Quando o pistão se movimenta para baixo no corpo do redutor, um novo fluxo de fluido é criado, da parte maior do corpo, através da abertura de saida para os freios.

Devido a força da cabeça menor do pistão estar distribuída sobre a maior área da cabeça maior, a pressão na abertura de saida é reduzida.

Ao mesmo tempo, um maior volume de fluido é deslocado pela cabeça maior do pistão, do que o usado para mover a cabeça menor.

Normalmente, os freios estarão totalmente aplicados antes que o pistão tenha atingido o final de seu percurso. Mas, se o pistão não encontrar suficiente resistência para interromper o curso (devido a perda de fluido da unidade de freio ou linhas de conexão), ele continuará a mover-se para baixo, até deslocar da sede a esfera da válvula no eixo oco. Com a esfera da válvula fora da sede, o fluido passará através do eixo do pistão, para substitur o que foi perdido. Visto que, o fluido passando através do eixo do pistão atua na cabeça maior, ele se moverá para cima, permitindo que a esfera da válvula volte para a sua sede, quando a pressão no conjunto do freio tornar-se normal.

Quando os pedais do freio são aliviados, a pressão é removida da abertura de entrada, e a mola de retorno do pistão rapidamente move o pistão de volta à parte superior do redutor. O movimento rápido causa uma sucção na linha para o conjunto do freio, resultando em rápido alívio dos freios.

Sistemas de freio com reforço de força

De um modo geral, os sistemas de freio com reforço de força são usados em aeronaves que pousam rápido demais para empregar o sistema de freios independentes, entretanto são muito leves no peso, para utilizar válvulas de controle de freio assistido.

Neste tipo de sistema, uma linha é tomada do sistema hidráulico principal, porém a pressão não penetra nos freios. A pressão do sistema principal é usada somente para auxiliar os pedais através do uso dos cilindros mestres de reforço de força.

Um típico sistema de freio com reforço de força (figura 9-32) consiste de um reservatório, dois cilindros mestres de reforço de força, duas válvulas do tipo lançadeiras, e um conjunto de freio em cada roda da perna de força principal.

Uma garrafa de ar comprimido com um indicador e uma válvula de alívio é instalada para a operação dos freios em emergência. A pressão do sistema hidráulico principal é enviada para os cilindros mestres. Quando os pedais do freio são pressionados, o fluido para a atuação dos freios é dirigido dos cilindros mestres de reforço de força para os freios, através das válvulas lançadeiras.

Quando os pedais do freio são aliviados, a abertura de passagem da pressão do sistema principal no cilindro mestre está fechada.

O fluido que se encontrava dentro do conjunto dos freios é forçado à sair pela abertura de retorno por um pistão no conjunto do freio, através da linha de retorno para o reservatório do freio. O reservatório do freio é conectado ao reservatório do sistema hidráulico principal, assegurando um adequado suprimento de fluido para operar os freios.

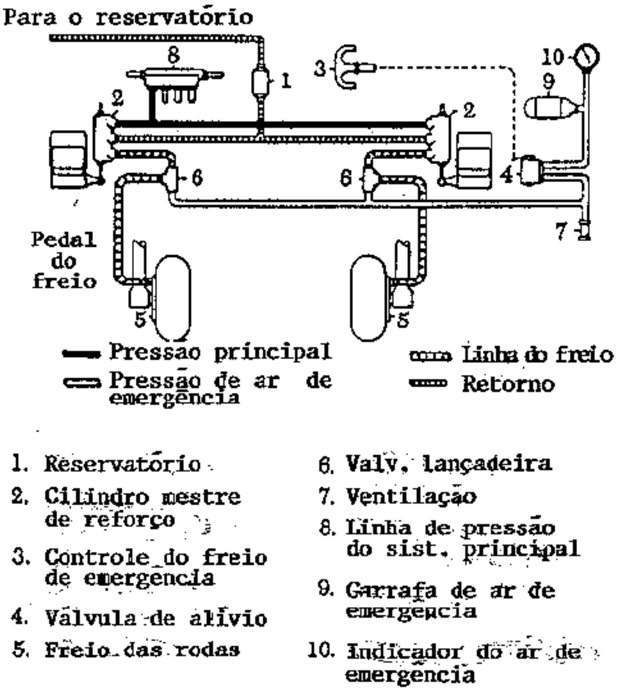

Para o reservatório
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Pedal do freio
Pressão principal
Pressão de ar de emergência
Linha do freio
Retorno
1. Reservatório
2. Cilindro mestre de reforço
3. Controle do freio de emergência
4. Válvula de alívio
5. Freio das rodas
6. Valv. lançadeira
7. Ventilação
8. Linha de pressão do sist. principal
9. Garrafa de ar de emergência
10. Indicador do ar de emergência

Figura 9-32 Sistema de freio com cilindro de reforço de força.

Freios da roda do nariz

Muitas aeronaves de transporte como o B-727 têm freios instalados na roda do nariz. O movimento, tanto do pedal da direita como o da esquerda, atuarão à correspondente-direita ou esquerda-válvula medidora do freio das rodas principais.

Com o movimento de ambos os pedais o freio é aplicado nas rodas principais e na roda do nariz, após aproximadamente metade do curso do pedal. A atuação de um dos pedais de freio para controle direcional não atuará no freio da roda do nariz, até próximo o final do curso do pedal. O freio da roda do nariz é controlado através de ligações diferenciais de freio.

Quando os pedais do freio são pressionados, o diferencial orienta a força através de hastes, em primeiro lugar para a válvula medidora da perna de força principal. Após esta válvula ser aberta, o movimento dos pedais do freio é dirigido para a válvula medidora da perna de força do nariz, abrindo-a e ativando os freios.

O freio da roda do nariz é disponível acima de 15 mph, partindo da posição reta e em frente, com variação lateral de aproximadamente 6º. A partir deste ponto, o interruptor de corte do freio e direção da roda do nariz ativa a válvula do sistema anti-deslizante, e veda o sistema de freios da roda do nariz. Não há freio na roda do nariz abaixo de 15 mph.

CONJUNTOS DE FREIOS

Os conjuntos de freios normalmente usados em aeronaves são: monodisco, duplo disco, múltiplo disco, rotor segmentado, ou do tipo tubo de expansão.

Os tipos monodisco e duplo disco são os mais usados em pequenas aeronaves; o tipo múltiplo disco é normalmente usado nas aeronaves de tamanho médio; e os do tipo rotor segmentado e tubo de expansão são normalmente encontrados em aeronaves pesadas.

Freios monodiscos

Com os freios monodiscos, a frenagem é executada pela aplicação de fricção em ambos os lados de um disco rotativo, que é chavetado às rodas do trem de pouso.Existem muitas variações do freio monodisco; porém todos operam no mesmo princípio, e diferem principalmente no número de cilindros e no tipo da carcaça do freio, que podem ser do tipo uma peça ou do tipo dividido. A figura 9-33 mostra um freio monodisco instalado em uma aeronave com a roda removida.

A figura 9-33 mostra um freio monodisco instalado em uma aeronave com a roda removida.

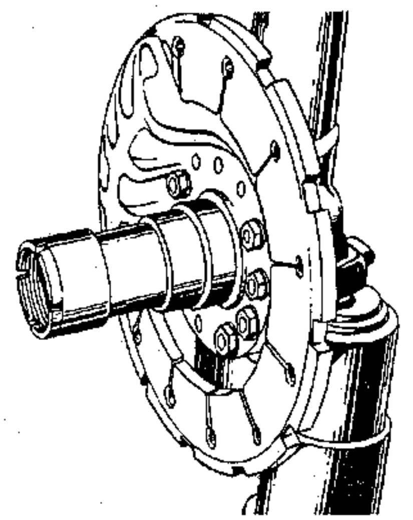


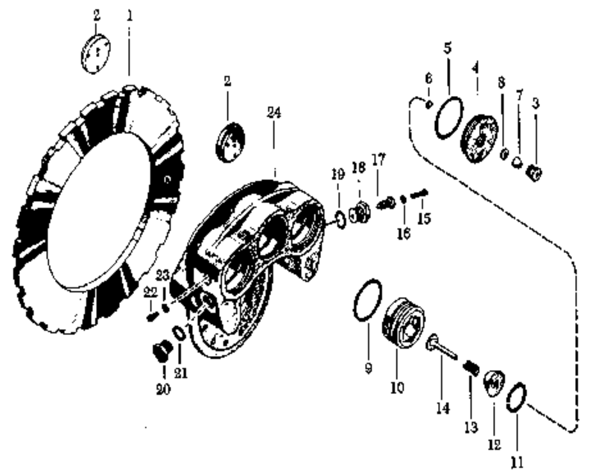
Figura 9-33 Instalação de freio a disco, simples.

A carcaça do freio é fixada ao flange do eixo da perna de força por parafusos. A figura 9-34 apresenta uma vista explodida de um típico conjunto de freio monodisco. Este conjunto de freio tem três cilindros e uma carcaça inteiriça. Cada cilindro contém um pistão, uma mola de retorno e um pino de ajuste automático.

Existem seis pastilhas de freio, três na parte interna e três na parte externa do disco rotativo. As pastilhas externas são presas nos três pistões, e movem-se para dentro e para fora dos três cilindros, quando os freios são operados.

As pastilhas internas são montadas em cavidades da carcaça do freio, e são, portanto, estacionárias. A pressão hidráulica da unidade de controle do freio entra no cilindro do freio, forçando o pistão e suas pastilhas contra o disco rotativo. Este mesmo disco está chavetado na roda da perna de força, porém é livre para mover-se lateralmente dentro de uma cavidade própria, no cubo da roda. Então, o disco rotativo é forçado a entrar em contato com as pastilhas internas montadas na carcaça.

O movimento lateral do disco assegura uma ação de frenagem igual em ambos os lados do disco. Quando a pressão do freio é aliviada, a mola de retorno força o pistão a voltar para permitir um espaço entre as pastilhas e o disco. A ação de auto-regulagem do freio manterá a desejada distância entre pastilhas e disco, sem considerar o desgaste das pastilhas.



1- Disco de freio	13- Mola de retorno
2- Pastilha de freio	14- Pino de ajustagem
3- Porca de pino de ajuste	15- Parafuso de sangria
4- Cabeça de cilindro	16- Arruela
5- Gaxeta (“O” ring)	17- Válvula de sangria
6- Junta	18- Adaptadores do sangrador
7- Garra do pino de ajuste	19- Gaxeta
8- Arruela	20- Bucha da entrada do fluido
9- Junta (“O” ring)	21- Gaxeta
10- Pistão	22- Parafuso
11- Anel de retenção interno	23- Arruela
12- Guia de mola	24- Carcaça do freio

Figura 9-34 Vista explodida de um conjunto de freio de disco simples.

Quando os freios são aplicados, a pressão hidráulica move cada pistão e sua pastilha de encontro ao disco. Ao mesmo tempo, o pistão empurra contra o pino de ajustagem (através da mola guia) e movimenta o pino para dentro, contra a garra de fixação. Quando a pressão é aliviada, a força da mola de retorno é suficiente para afastar o pistão do disco, mas não o bastante para mover o pino de ajuste, o qual é mantido pela fricção da garra de fixação.

O pistão se afasta do disco até parar de encontro com a cabeça do pino de ajuste. Então, sem considerar o desgaste, a mesma distância terá que ser percorrida pelo pistão para aplicar o freio.

A manutenção do freio monodisco pode incluir sangria, execução de checagens operacionais, checagem do desgaste das pastilhas, e substituição das pastilhas ou discos defeituosos.

Uma válvula de sangria está instalada na carcaça para a sangria do freio monodisco.

A sangria deve ser feita sempre de acordo com as aplicáveis instruções do fabricante. Checagem operacionais são feitas durante o táxi. A ação do freio para cada roda das pernas de força principais deve ser igual, com a mesma aplicação de pressão nos pedais e sem evidência de atuação "mole" ou "esponjosa". Quando a pressão do pedal é aliviada, os freios deverão soltar sem qualquer evidência de arrasto.

Freios de duplo disco

Os freios de duplo disco são usados em aeronaves quando for desejada uma maior fricção de frenagem. Este tipo de freio é semelhante ao monodisco, exceto que neste são usados dois discos no lugar de um.

Freios de múltiplos discos

Os freios de múltiplos discos são indicados para trabalho pesado, e projetados para serem usados com válvulas de controle do freio de força ou cilindros mestre de reforço de força.

A figura 9-35 é uma vista explodida de um conjunto de freio de múltiplos discos completo. O freio consiste de um suporte, quatro discos rotativos chamados de "rotores", três discos estacionários chamados de "estatores", um cilindro atuador de forma anular, um ajustador automático, e vários componentes menores.

A pressão hidráulica regulada é aplicada através do ajustador automático para uma câmara no suporte. O suporte é aparafusado no flange do eixo da perna de força e serve como alojamento para o pistão do atuador de forma anular.

A pressão hidráulica força o pistão a morver-se para fora, comprimindo os discos rotativos, os quais são chavetados à roda, e comprimindo os discos estacionários, os quais são chavetados ao suporte. A fricção resultante causa uma ação de frenagem no conjunto roda e pneu.

Quando a pressão hidráulica é aliviada, as molas de retração forçam o pistão de atuação a se retrair na câmara do alojamento do suporte. O fluido hidráulico na câmara é forçado para fora pelo retorno do pistão, e sangrado através do ajustador automático para a linha de retorno.

O ajustador automático bloqueia uma predeterminada quantidade de fluido no freio, apenas suficiente para manter o correto espaço entre os discos rotativos e os estacionários.

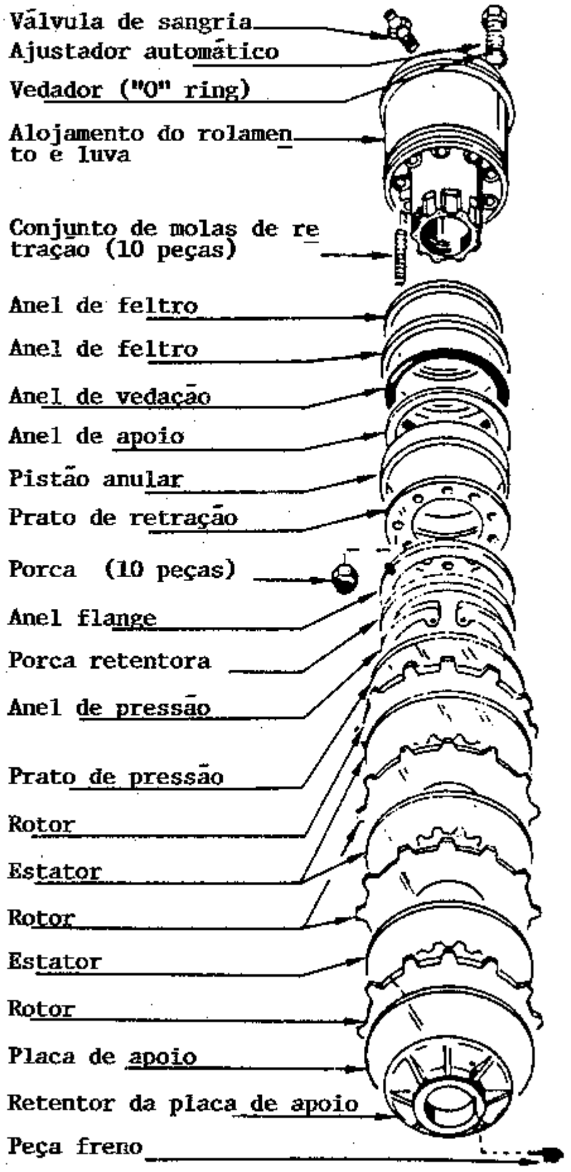

Válvula de sangria
Ajustador automático
Vedador ("O" ring)
Alojamento do rolamento e luva
Conjunto de molas de retração (10 peças)
Anel de feltro
Anel de feltro
Anel de vedação
Anel de apoio
Pistão anular
Prato de retração
Porca (10 peças)
Anel flange
Porca retentora
Anel de pressão
Prato de pressão
Rotor
Estator
Rotor
Estator
Rotor
Placa de apoio
Retentor da placa de apoio
Peça freno

Figura 9-35 Freios de múltiplos discos.

A manutenção do freio de múltiplos discos pode incluir sangria, checagem dos discos quanto a desgaste, substituição de discos e execução de checagem operacional.

Válvulas de sangria estão instaladas, tornando possível a sangria dos freios em qualquer posição. A sangria deverá ser executada de acordo com as instruções para a específica aeronave Os discos são checados por desgaste, usando um calibrador com indicador móvel e pino batente.

Freios de rotor segmentado

Os freios com rotores segmentados são freios para trabalhos pesados, especialmente adaptados para uso em sistemas hidráulicos de alta pressão.

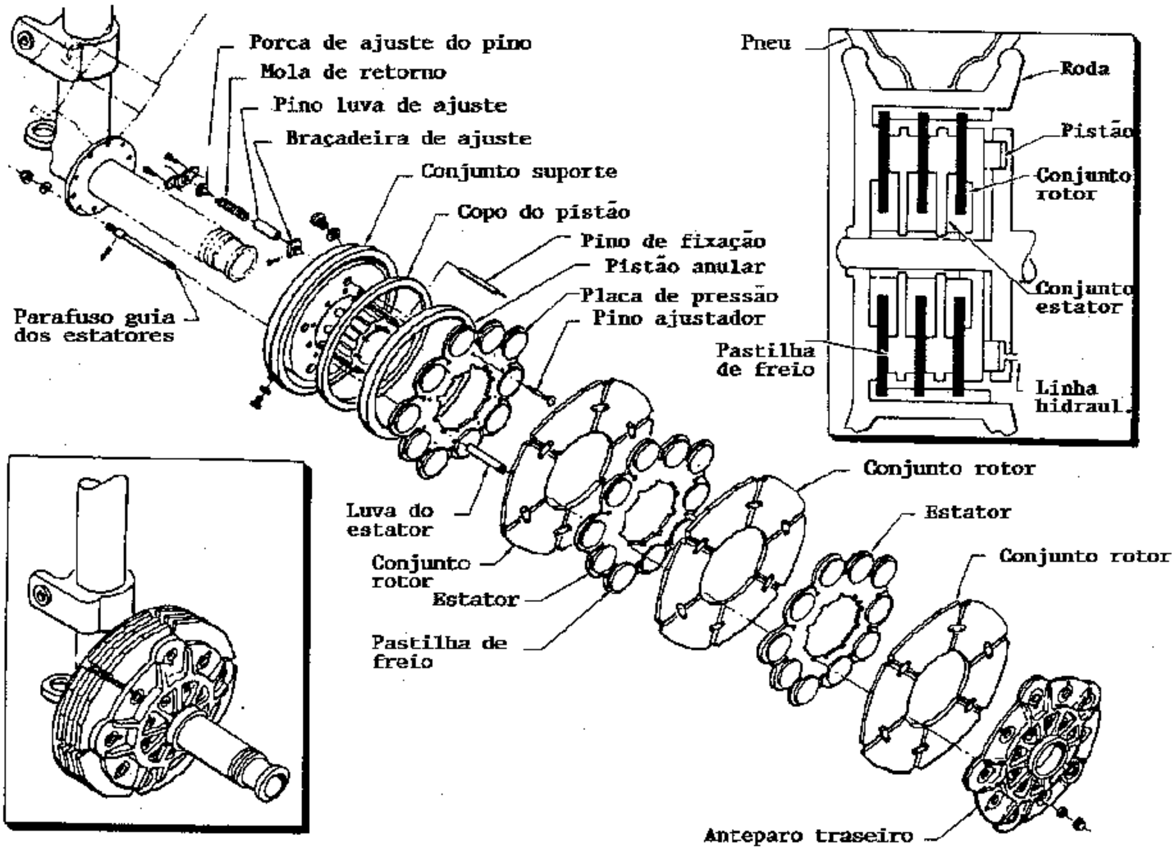

Porca de ajuste do pino
Mola de retorno
Pino luva de ajuste
Braçadeira de ajuste
Conjunto suporte
Copo do pistão
Pino de fixação
Pistão anular
Placa de pressão
Pino ajustador
Parafuso guia dos estatores
Pneu
Roda
Pistã
Conjunto rotor
Conjunt estator
Pastilha de freio
Linha hidraul.
Conjunto rotor
Estator
Conjunto rotor
Luva do estator
Conjunto rotor
Estator
Pastilha de freio
Anteparo traseiro

Figura 9-36 Unidades de um conjunto de freio de rotor segmentado

Esses freios podem ser usados tanto com válvulas de controle de freio de força, ou cilindros mestres com reforço de força. A freiagem é executada por meio de vários conjuntos de pastilhas de freio do tipo alta fricção estacionárias, fazendo contato com os segmentos rotativos (rotores). Uma vista deste tipo de freio é mostrado na figura 9-36.

O freio de rotor segmentado é muito semelhante ao de múltiplos discos, descrito anteriormente.

O conjunto do freio consiste de um suporte, dois pistões e o pistão anular, prato de pressão, um prato estacionário auxiliar, segmentos rotativos, discos estacionários, um espaçador de compensação, ajustadores automáticos e uma placa de apoio.

O conjunto do suporte é a unidade básica do freio. Ele é a parte fixada ao flange da perna de força na qual os outros componentes são montados.

Dois canais, ou cilindros, estão abertos para receber os pistões e os pistões anulares. O fluido hidráulico é admitido nesses cilindros através de uma linha conectada a um bico rosqueado do suporte.

Os ajustadores automáticos são rosqueados em orifícios igualmente separados (figura 9-36), localizados na face do suporte.

Os ajustadores compensam o desgaste das pastilhas para manter um espaço fixo entre as unidades, quando o freio estiver na posição neutra. Cada ajustador automático é composto por um pino ajustador, uma presilha, mola de retorno, luva, porca, e um conjunto de sujeição.

A placa de pressão é uma chapa circular, estacionária, denteada no diâmetro interno para a fixação sobre as luvas de deslizamento das estatoras.

Em seguida à placa de pressão, está a placa estatora auxiliar. Ela é também uma placa estacionária, denteada no diâmetro interno. As pastilhas de freio são rebitadas em um dos lados da placa estatora auxiliar.

A próxima unidade do conjunto é a primeiro de uma série de segmentos rotativos. Cada rotor é denteado na circunferência externa, para permitir que ele seja chavetado na roda da aeronave e gire com ela.

Este modelo, em particular, de freio de rotor segmentado, possui quatro séries desses segmentos rotativos.

Montado entre cada segmento rotativo existe uma placa estacionária (ou placa estatora) (figura 9-37). Essas placas estatoras têm pastilhas de freio rebitadas em ambos os lados. Essas pastilhas são no formato de múltiplos blocos, separados para auxiliar na dissipação do calor.

Em seguida ao último segmento rotativo, encontra-se o espaçador de compensação, que tem por finalidade permitir que as pastilhas de freio sejam utilizadas completamente.

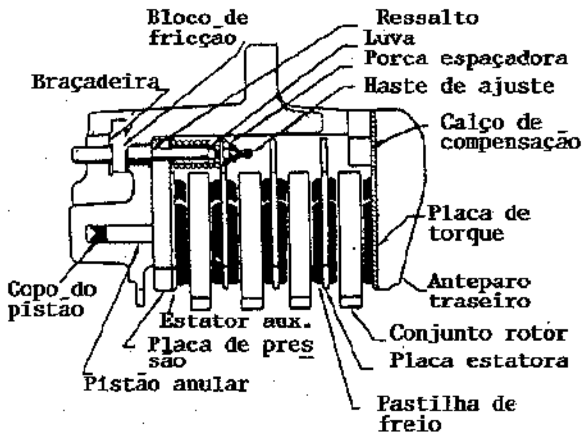


Figura 9-37 Secção de um freio de rotor segmentado.

Sem o espaçador, somente cerca de metade da pastilha poderia ser usada, devido ao limitado curso dos pistões. Após aproximadamente a metade de cada pastilha de freio ter sido consumida, o espaçador é removido.

A braçadeira de ajustagem é então reposicionada no pino ajustador, restaurando o curso do pistão para que o restante da pastilha possa ser usada.

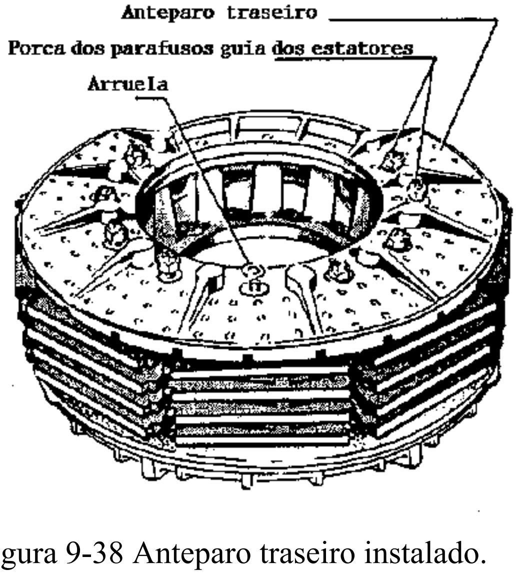


Figura 9-38 Anteparo traseiro instalado.

O anteparo traseiro (figura 9-38) é a unidade final do conjunto sendo uma peça estacionária, e contendo pastilhas de freio rebitadas em sua face interna. O anteparo traseiro é a peça que recebe a força hidráulica resultante da aplicação do freio.

A pressão hidráulica aliviada da unidade de controle dos freios penetra no cilindro do freio e atua no pistão anular e nos pistões, forçando-os para fora do conjunto suporte.

Os pistões aplicam sua força contra a placa de pressão, a qual, por sua vez empurra a placa estatora auxiliar. Esta placa entra em contato com o primeiro segmento rotativo, o qual entra em atrito com a primeira placa estacionária. O movimento lateral continua até que todas as superfícies de freiagem estejam em contato. A placa estatora auxiliar, a placa estacionária e o anteparo traseiro são impedidos de girar pelas luvas de deslizamento das placas estatoras. Assim, as pastilhas presas às placas estacionárias são todas foçadas a entrar em contato com os discos ou segmentos rotativos, criando suficiente atrito para travar a roda na qual os discos rotativos estão chavetados.

A função dos ajustadores automáticos depende da correta fricção entre o pino de ajuste e a braçadeira. O ajuste da folga do freio é governado pela distância obtida entre a arruela de ajuste e a extremidade da porca ajustadora, quando o freio estiver montado.

Durante a aplicação do freio, a placa de pressão move-se na direção dos rotores. A arruela move-se também, causando a compressão da mola. Como o curso do pistão aumenta, e como a placa de pressão se move mais além, a pastilha do freio então entra em contato com os segmentos rotativos.

Quando a pastilha se desgasta, a placa de pressão continua seu movimento e, eventualmente, entra em contato direto com a luva ajustadora através da arruela de ajuste.

Assim, nenhuma força a mais será aplicada na mola. Um percurso adicional da placa de pressão, causada pelo desgaste da pastilha do freio, forçará o pino de ajuste a deslizar através da braçadeira.

Quando a pressão hidráulica no freio é aliviada, a mola de retorno força a placa de pressão a retornar até que ela se apoie no encosto do pino de ajuste. Enquanto este ciclo é repetido durante a aplicação e alívio do freio, o pino de ajuste avançará através da braçadeira, devido ao desgaste das pastilhas, porém a folga entre as superfícies de atrito permanecerá constante.

Freios de câmara de expansão

O freio de câmara de expansão (figura 9-39), é um freio de baixa pressão, com 360º de superfície de frenagem. É um freio de pouco peso, tem poucas peças móveis, e pode ser usado em grandes e pequenas aeronaves.

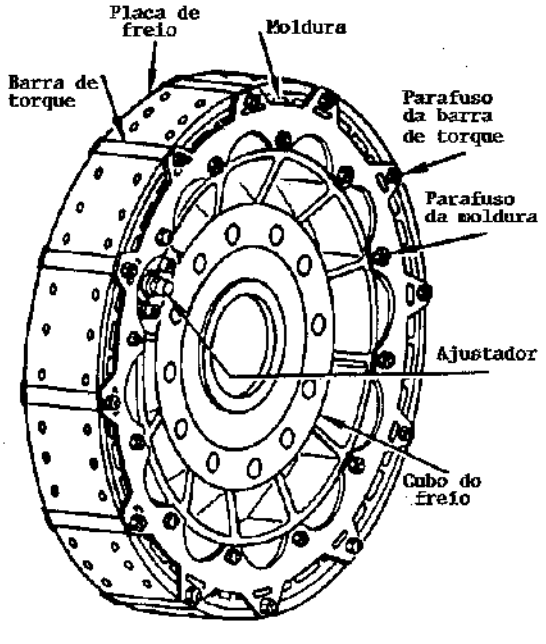

Placa de freio
Moldura
Barra de torque
Parafuso da barra de torque
Parafuso da moldura
Ajustador
Cubo do freio

Figura 9-39 Freio de câmara de expansão já montado.

Uma vista explodida do freio de câmara de expansão é mostrada na figura 9-40.
As principais partes deste freio são a moldura, a câmara de expansão, blocos de freio (lonas), mola de retorno e ajustador de folga.

A moldura do freio é a unidade básica em volta da qual a câmara de expansão é instalada.

A parte principal da moldura é uma peça fundida que é aparafusada no flange de torque da perna de força do trem de pouso. Peças metálicas destacáveis formam um canal em torno da circunferência externa, dentro da qual as partes móveis do freio são fixadas.

A câmara de expansão é feita de neoprene reforçada com tecido, tendo também um bico metálico através do qual o fluido entra e sai da câmara.

Os blocos de freio são feitos de uma fibra especial, sendo a verdadeira superfície de frenagem reforçada por um anteparo metálico. Os blocos de freio são mantidos no lugar, ao redor da moldura, e são impedidos do movimento circunferencial pelas barras de torque.

As molas de retorno dos freios têm uma forma semielíptica, ou de meia lua. Uma é fixada entre cada intervalo dos blocos de freio. As extremidades da mola de retorno empurram para fora de encontro às barras de torque, enquanto a seção abaulada central empurra para dentro, retraindo os blocos de freio quando a pressão de frenagem for aliviada.

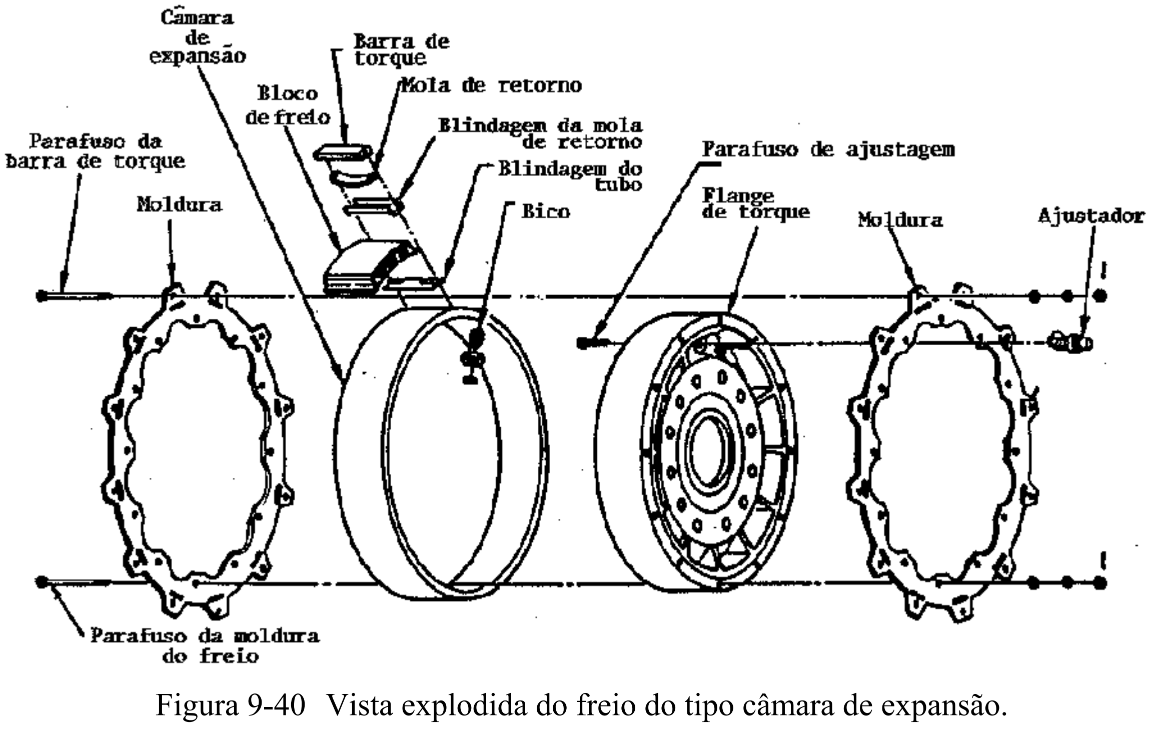

Câmara de expansão
Barra de torque
Bloco de freio
Mola de retorno
Blindagem da mola de retorno
Blindagem do tubo
Bico
Parafuso da barra de torque
Moldura
Parafuso de ajustagem
Flange de torque
Moldura
Ajustador
Parafuso da moldura do freio

Figura 9-40 Vista explodida do freio do tipo câmara de expansão.

Quando o fluido hidráulico sob pressão penetra na câmara de expansão, provoca a sua dilatação. Isto força os blocos de freio de encontro ao tambor, criando fricção. O reforço da câmara evita a sua expansão por entre os blocos de freio, e as barras de torque evitam que os blocos girem com o tambor.

A fricção criada pelo freio é diretamente proporcional a pressão da linha do freio.

O ajustador da folga (figura 9-40) consiste de um pistão sob ação de mola atuando atrás de um diafragma de neoprene.

Ele bloqueia a passagem do fluido na entrada da linha principal quando a tensão da mola for maior do que a pressão do fluido naquela passagem.

A tensão na mola pode ser aumentada ou diminuída, girando-se um parafuso de ajuste. Alguns dos antigos modelos de freios de câmara de expansão não são equipados com ajustadores de folga.

Para os freios equipados com ajustadores, a folga entre os blocos de freio e o tambor é normalmente regulada para um mínimo de 0,002 a 0,015 da polegada, dependendo da exata regulagem do tipo de aeronave. Todos os freios na mesma aeronave devem ser regulados para a mesma folga. Para diminuir a folga, gira-se o botão de ajuste no sentido horário e para aumentar a folga, gira-se o botão de ajuste no sentido anti-horário. Porém, deverá ter-se em mente que girando apenas o botão de ajuste a folga não será obtida. Os freios deverão ser aplicados e soltos após cada regulagem do botão de ajuste para variar a pressão e, por esse meio, variar a folga do freio.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE FREIO

Um adequado funcionamento do sistema de freio é de máxima importância. Por isso, as inspeções devem ser cumpridas em intervalos freqüentes, e a necessária manutenção executada cuidadosamente.

Quando checando sobre vazamentos, o sistema deve estar sob a pressão de operação. Porém, o aperto de conexões frouxas deve ser executado sem pressão no sistema. Checa-se todas as tubulações flexíveis por dilatação, rachaduras e fixação, substituindo se houver evidência de deterioração.

Mantem-se sempre o nível adequado para evitar falhas no freio, ou penetração de ar no sistema. A presença de ar é indicada pela ação "esponjosa" dos pedais do freio. Se houver ar no sistema, remove-se por meio de sangria.

Existem dois métodos de sangria dos freios: sangrando de cima para baixo (método por gravidade) e sangrando de baixo para cima (método por pressão). O método a ser usado, depende geralmente do tipo e características do sistema a ser sangrado. Em algumas situações depende também do equipamento disponível. A seguir, é apresentada uma descrição geral de cada método.

Sangria dos freios por gravidade

No método por gravidade, o ar é expelido, do sistema de freio através de uma das válvulas de sangria existentes no conjunto do freio (figura 9-41).

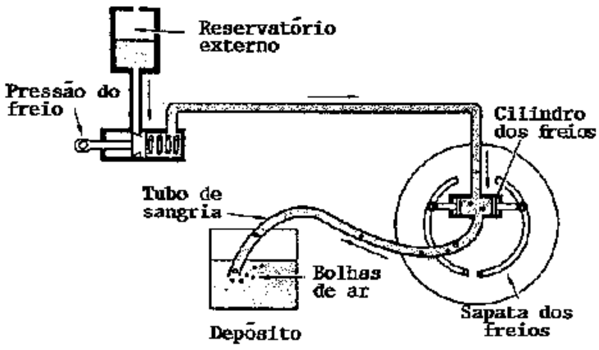


Figura 9-41 Sangria dos freios pelo método de gravidade.

Uma tubulação de sangria é fixada na válvula de sangria, e a extremidade livre da tubulação é colocada em um recipiente contendo fluido hidráulico suficiente para cobrir a extremidade do tubo.

O fluido contendo ar é então forçado a sair do sistema pela operação dos freios. Se o sistema do freio fizer parte do sistema principal da aeronave, um equipamento portátil de teste deverá ser usado para suprir a pressão necessária.

Em ambos os casos, cada vez que o pedal do freio for aliviado, a válvula de sangria ou a tubulação de sangria devem ser fechadas; se isso não for feito, mais ar será aspirado de volta ao sistema.

A sangria deverá continuar, até que não exista mais nenhuma bolha vindo através da tubulação de sangria no recipiente.

Sangria dos freios por pressão

No método por pressão, o ar é expelido através do reservatório do sistema de freio ou outro local especialmente previsto. Algumas aeronaves têm uma válvula de sangria na linha superior de freio. Usando este método, a pressão deverá ser aplicada usando um tanque de sangria (figura 9-42).

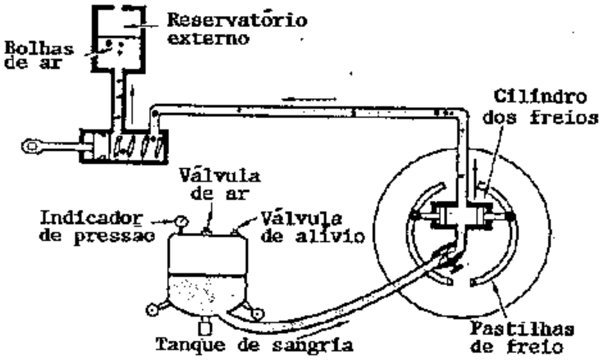


Figura 9-42 Sangria dos freios pelo método de pressão.

Um tanque de sangria é um tanque portátil, contendo fluido hidráulico sob pressão. Ele é equipado com uma válvula de ar, indicador de pressão e uma tubulação de conexão. Esta tubulação está ligada à válvula de sangria do conjunto do freio, e está equipada com uma válvula de corte.

Este método de sangria deve ser executado, estritamente de acordo com as instruções do fabricante da aeronave.

Embora a sangria de cada sistema em particular tenha os seus problemas individuais, as precauções a seguir devem ser observadas em todas as operações de sangria:

(1) Certificar-se de que o equipamento de sangria a ser usado está absolutamente limpo e reabastecido com o adequado tipo de fluido hidráulico.

(2) Manter um adequado suprimento de fluido durante toda a operação. Um suprimento de fluido deficiente permitirá a entrada de ar no sistema.

(3) A sangria deverá continuar até que não sejam mais expelidas bolhas de ar do sistema, e que uma firme aplicação do pedal do freio seja obtida.

(4) Após a operação de sangria ter sido completada, checar o nível de fluido do reservatório. Com o freio sob pressão, checar o sistema quanto a vazamento.

Freios que tenham sofrido superaquecimento por excessiva aplicação são perigosos, e devem ser tratados de acordo.

Excessivo aquecimento dos freios enfraquecem a estrutura do pneu e da roda, e aumentam a pressão dos pneus.

RODAS DE AERONAVES

As rodas de aeronaves permitem a montagem dos pneus, os quais absorvem o choque no pouso, suportam a aeronave no solo, e auxiliam o controle no solo durante o táxi, decolagem e pouso. As rodas são usualmente feitas de alumínio ou de magnésio.

Qualquer um desses materiais proporcionam uma roda resistente, de baixo peso e requerendo pouquíssima manutenção.

(1) Rodas bipartidas - é o tipo mais popular. (figuras 9-43 e 9-44 com rodas para aeronaves pesadas e as figuras 9-45 e 9-46 com rodas para aeronaves leves).

(2) Rodas do tipo flange removível. (figura 9-47).

(3) Rodas com calha central e flange fixo. (figura 9-48).

A roda bipartida é usada na maioria das aeronaves atuais. As ilustrações das rodas, usadas nas aeronaves civis do tipo leve e nas pesadas de transporte, são apresentadas para ilustrar as semelhanças e as diferenças.

Rodas bipartidas

As figuras 9-43 e 9-44 e a descrição a seguir, foram extraídas do manual de manutenção de rodas da B.F. Goodrich.

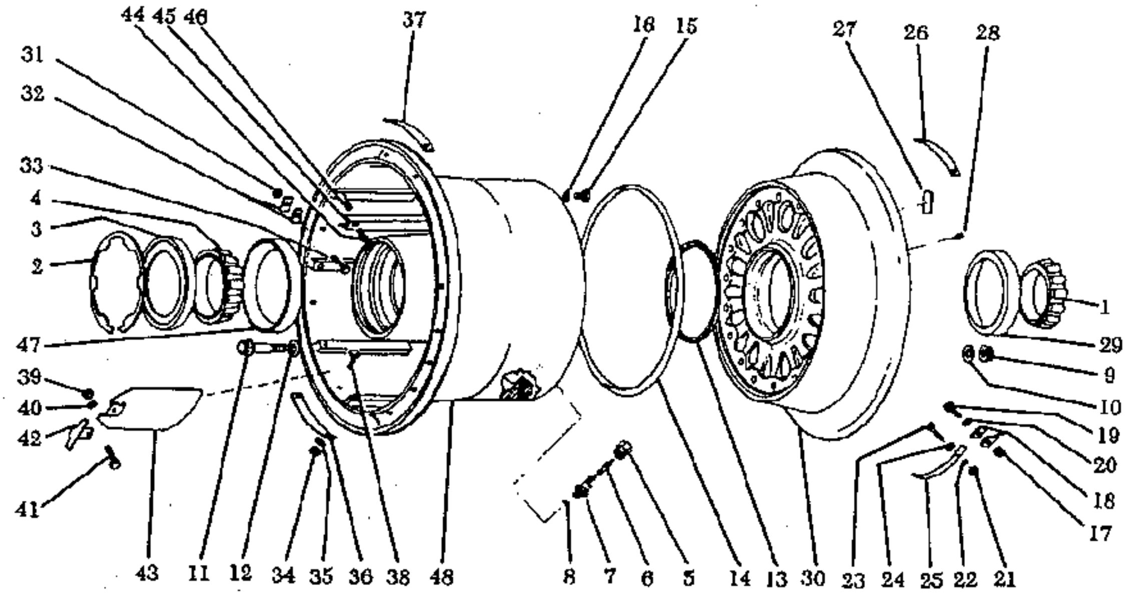


Figura 9-43 Roda bipartida para pneus sem câmara de aeronaves pesadas.

RODA PRINCIPAL PARA PNEU SEM CÂMARA	
1- Rolamento cônico	25- Placa de identificação
2- Anel de retenção	26- Placa de instruções
3- Selo	27- Placa de identificação
4- Rolamento cônico	28- Bucha “Heli-coil”
CONJUNTO DE VÁLVULA	29- Bucha “Heli-coil”
5- Tampa	30- Metade externa da roda
6- Parte interna	**CONJUNTO DA METADE INTERNA DA RODA**
7- Haste	31- Porca
8- Gromete	32- Peso de balanceamento ¼ oz
9- Porca	33- Parafuso de máquina
10- Arruela	34- Porca
11- Parafuso	35- Arruela plana
12- Arruela	36- Placa de identificação
13- Junta de vedação	37- Placa de instrução
14- Junta de vedação	38- Parafuso de máquina
15- Plugue da válvula de alívio térmico	39- Porca
16- Junta de vedação	40- Arruela plana
CONJUNTO DA METADE EXTERNA DA RODA	41- Parafuso de máquina
17- Porca	42- Braçadeira de alinhamento
18- Peso de balanceamento	43- Escudo contra calor
19- Parafuso de máquina	44- Parafuso
20- Arruela plana	45- Friso
21- Porca	46- Bucha “Heli-coil”
22- Arruela plana	47- Bucha do rolamento
23- Parafuso de máquina	48- Metade interna da roda
24- Arruela plana	

Figura 9-44 Lista de partes da roda bipartida para pneus sem câmara de aeronaves pesadas.

A roda apresentada na figura 9-43 é usada na aeronave de transporte B-727 da Boeing.

NOTA*:* Os números entre parêntese referem-se às figuras 9-43 9-44

A- A roda da perna de força principal é um conjunto bipartido, sem câmara, feito de alumínio forjado.

B- Os conjuntos de cada metade da roda, interna e externa são fixadas juntas por 18 parafusos igualmente separados (11), presos com porcas (9). Um conjunto de válvula para pneus sem câmara, instalado na parte interna da metade da roda (48) com a haste da válvula (7) projetando-se através de um orifício de ventilação na parte externa de uma metade da roda (30), é usada para inflar o pneu sem câmara usado com esta roda. Vazamentos de ar em pneus sem câmara, através da superfície de junção das duas metades são evitados por meio de um anel de borracha (14) montado na superfície da metade interna da roda. Um outro anel de vedação (13) montado na superfície interna da metade da roda, veda a área contra sujeira e umidade.

C- Um anel de retenção (2) instalado no cubo da metade interna da roda mantém o selo (3) e o rolamento cônico (4) no seu devido lugar, quando a roda é removida do eixo. O selo retém o lubrificante do rolamento, e evita a penetração de sujeira e umidade. Buchas e rolamentos cônicos (1, 4, 29 e 47) no cubo da metade da roda apoiam a roda no eixo.

D- Frisos (45) instalados na superfície da parte interna da roda (48) engrazam nas fendas dos discos de freio, girando o disco quando a roda gira. Uma proteção contra calor (43), montada por baixo e entre os frisos, dissipa da roda e pneu o calor gerado pelos freios. Duas braçadeiras de alinhamento (42) instaladas a 160º uma da outra, são fixadas com o eliminador de calor na metade da roda. As braçadeiras evitam o desalinhamento dos discos de freio durante a instalação da roda.

Três plugues de alívio térmico (15) igualmente espaçados e montados na armação da metade interna da roda, diretamente sob a supefície de junção, protegendo contra o excessivo calor do freio, que aumentando a pressão do pneu poderia fazer com que ele explodisse. O núcleo do plugue de alívio térmico é feito de um metal fusível que se funde a uma predeterminada temperatura, aliviando a pressão do ar do pneu. Uma junta de vedação (16) está instalada sob a cabeça de cada plug de alívio térmico para evitar o vazamento de ar dos pneus sob condições normais.

As figuras 9-45 e 9-46 foram extraídas do manual de manutenção de rodas da B.F. Goodrich. A roda ilustrada é uma típica bipartida usada em aeronaves leves.

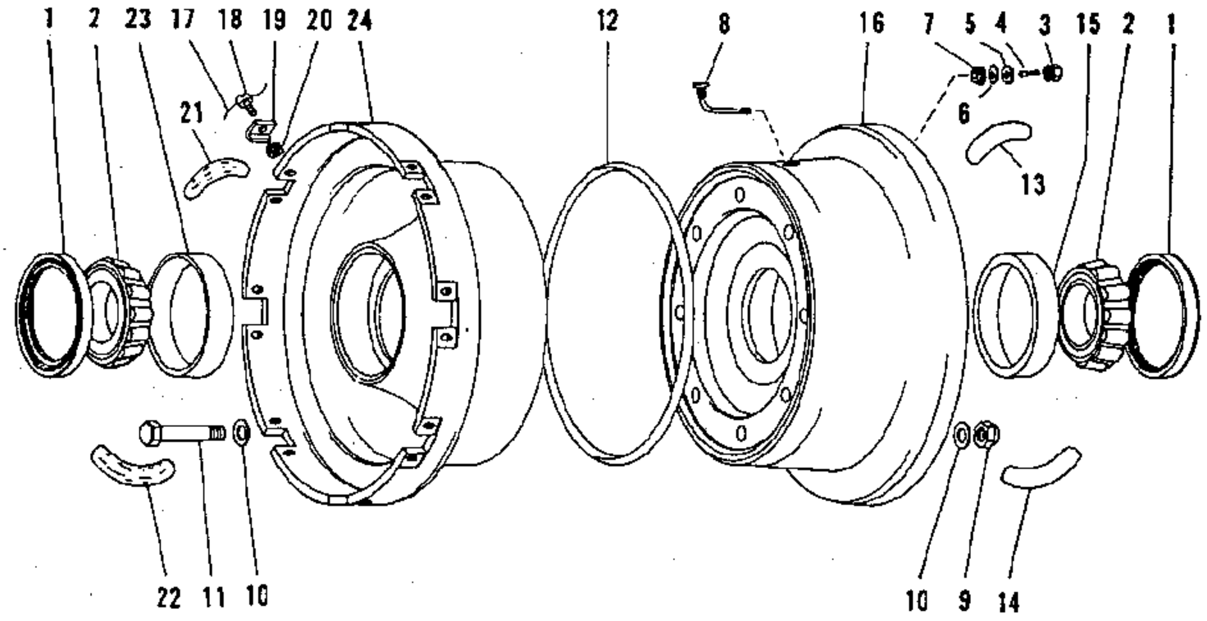


Figura 9-45 Roda bipartida usada em aeronaves leves.

1- Conjunto de vedação
2- Rolamento cônico
CONJUNTO DA VÁLVULA
3- Tampa
4- Miolo da válvula
5- Porca
6- Espaçador
7- Gromete
8- Haste
9- Porca
10- Arruela
11- Parafuso
12- Junta de vedação

CONJUNTO DA METADE EXTERNA DA RODA
13- Placa de identificação
14- Placa de instrução
15-Mancal de rolamento
16- Metade externa da roda
CONJUNTO DA METADE INTERNA
17- Arame de ferro
18- Parafuso
19- Chave de torque
20- Bucha “Heli-coil”
21- Placa de identificação
22- Placa de instrução
23- Mancal do rolamento
24- Metade interna da roda

Figura 9-46 Lista de partes da roda bipartida usada em aeronaves leves

NOTA*:* Os números entre parênteses referem-se às figuras 9-45 e 9-46.

A- Esta roda de perna de força principal é para pneu sem câmara, conjunto do tipo bipartido e feita de alumínio forjado.

B- A metade interna (24) e a externa (16) da roda são conjuntos unidos por 8 parafusos igualmente espaçados (11), fixados com porcas (9). Um conjunto de válvula para pneu sem câmara instalado na metade externa da roda (16) é usado para inflar o pneu sem câmara 6.50-8, usado com esta roda. O vazamento de ar, do pneu sem câmara, através das superfícies de contato das metades da roda, é evitado por um vedador de borracha (12) montado na superfície de contato da metade externa da roda.

C- Um selo (1) retém a graxa no rolamento (2), o qual está instalado dentro do mancal do rolamento (23) na metade interna e (15) na metade externa da roda. Rolamentos cônicos (2) instalados nos mancais de rolamentos nas metades da roda, suportam-na no eixo da perna de força.

D- Chaves de torque (19), instaladas em encaixes na metade interna da roda, engrazam nas ranhuras dos discos de freio, girando esses discos quando a roda girar.

Rodas de flange removível

As rodas de flange removível de base reta ou com depressão central (figura 9-47), têm um flange inteiriço que é mantido no lugar por um anel de retenção.

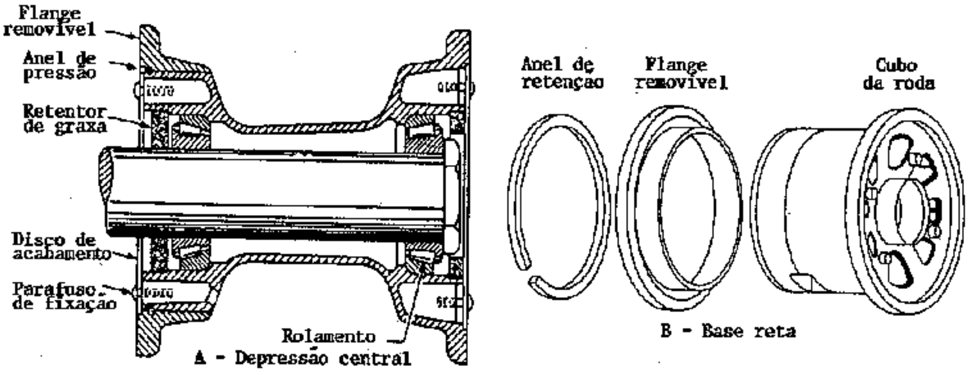


Figura 9-47 Rodas de flange removível.

As rodas do tipo flange removível são usadas com pneus de baixa pressão e podem ter, tanto uma depressão central, como uma base reta. Uma roda de base reta pode ser rapidamente removida do pneus, removendo-se o anel de retenção, que mantém o flange inteiriço removível no seu lugar, e retirando-o de sua sede. Quando um tambor de freio, do tipo convencional, é instalado em cada lado da roda, isto proporciona um conjunto duplo de freio.

Um tambor de freio pode ser mantido no lugar por meio de parafusos de aço, projetando-se através do cubo, com porcas do tipo autofreno no lado interno. Elas podem ser apertadas facilmente através de aberturas no cubo da roda.

As pistas dos rolamentos são fixadas por contração, no cubo da roda, e proporcionam a superfície na qual o rolamento é montado. Os rolamentos são do tipo roletes cônicos.

Cada rolamento é feito a partir de um cone e roletes. Os rolamentos devem ser limpos e engraxados periodicamente de acordo com as aplicáveis intruções do fabricante.

Rodas de flange fixo

Rodas de aeronaves, de flange fixo e depressão central (figura 9-48) são rodas de uso especial, semelhantes às militares para pneus de alta pressão.

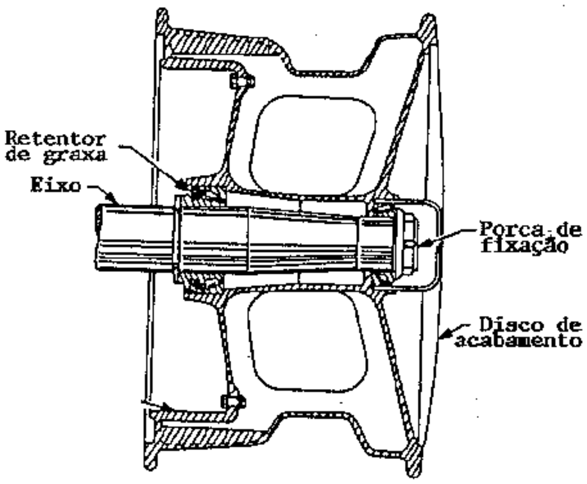


Figura 9-48 Roda de flange fixo.

Algumas podem ser encontradas instaladas em antigos tipos de aeronaves.

Frisos radiais externos, geralmente instalados, dão um apoio adicional ao aro no apoio da banda externa.

A diferença principal entre as rodas usadas para pneus mais estreitos e as usadas para pneus mais largos e de contorno liso, é que as últimas, são mais largas entre os flanges.

Rolamentos das rodas

Os rolamentos de uma roda de aeronave são do tipo rolete cônico, contendo roletes com uma carcaça retentora, e uma pista externa.

Cada roda possui um mancal de rolamento, ou pista, mantida no lugar sob pressão e muitas vezes, é suprida com uma carenagem ou calota para manter o rolamento livre de corpos estranhos.

Adequados retentores são instalados na parte interna do rolamento para evitar que a graxa atinja as lonas de freio.

Selos de feltro são instalados para evitar que detritos sujem os freios de múltiplos discos. Nas aeronaves anfíbias, selos impedem a entrada de água nos rolamentos.

PNEUS DE AERONAVES

Os pneus de aeronaves com câmara ou sem câmara oferecem um amortecimento de ar que ajuda a absorver os impactos dos pousos e decolagens.

Eles suportam o peso da aeronave enquanto está no solo e oferecem uma tração necessária para os freios e parada da aeronave durante o pouso.

Dessa forma, os pneus de aeronaves precisam ser cuidadosamente mantidos para cumprir rigorosas exigências do seu emprego básico, para aceitar, seguramente, uma variedade de tensões estáticas e dinâmicas, nas condições de uma ampla faixa de operação.

Construção do pneu de aeronave

Dissecando um pneu de aeronave, você encontrará um dos mais fortes e resistentes pneumáticos já fabricados. Ele é feito para sustentar altas velocidades e pesadíssimas cargas estáticas e dinâmicas.

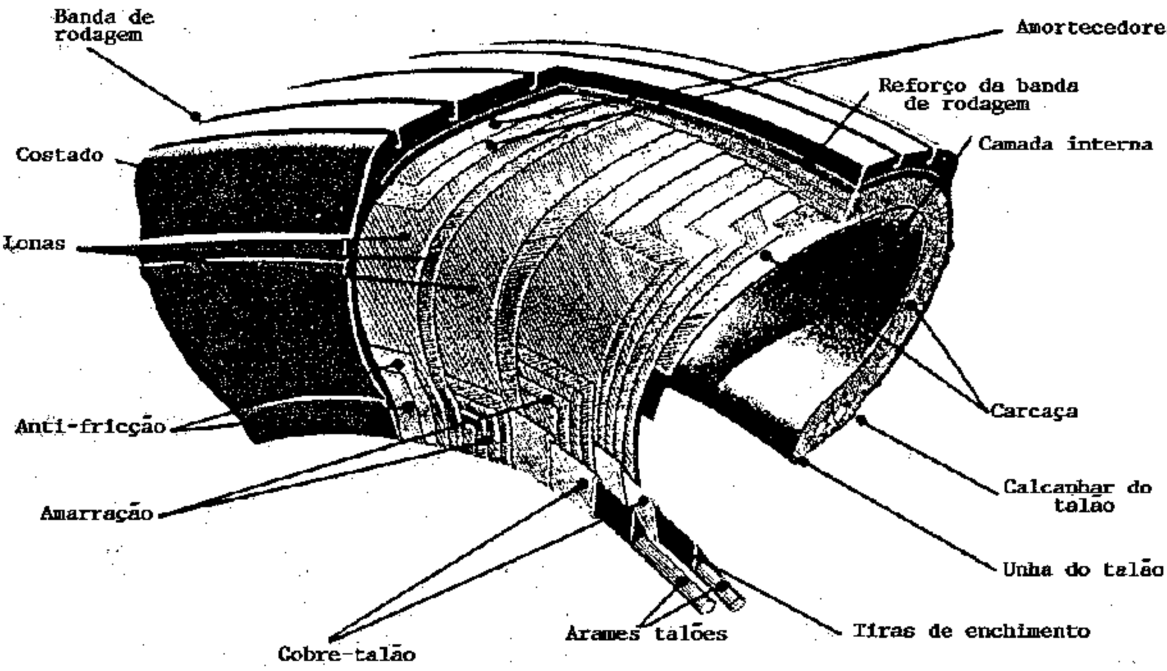

Banda de rodagem
Amortecedores
Reforço da banda de rodagem
Camada interna
Costado
Lonas
Carcaça
Anti-fricção
Calcanhar do talão
Amarração
Unha do talão
Arames talões
Tiras de enchimento
Cobre-talão

Figura 9-49 Construção do pneu de aeronave.

Exemplificando: cada pneu da perna de força principal de um jato quadri-reator é requisitado a suportar velocidades de até 250 MPH, tanto quanto cargas estáticas e dinâmicas de 22 a 33 toneladas, respectivamente.

Banda de rodagem

Feita de um composto de borracha natural, para oferecer resistência e durabilidade, a rodagem é modelada de acordo com os requisitos operacionais da aeronave. O modelo circunferencial raiado é largamente usado, atualmente em virtude de oferecer boa tração em pistas nas mais variadas condições.

Reforço da banda de rodagem

Uma ou mais camadas de cordonéis de nylon reforçado fortificam a rodagem para operação em alta velocidade. Tal reforço é usado principalmente em pneus qualificados para altas velocidades.

Amortecedores

Nem sempre usadas, estas camadas extras de cordonéis de nylon reforçado são colocadas sob a borracha da rodagem, a fim de proteger o envoltório de lonas e reforçar a área da rodagem. Os amortecedores são considerados parte integral da construção da carcaça.

Carcaça

São camadas diagonais de cordonéis de nylon cobertos por borracha, montadas em ângulos opostos, cuja função é dar forma e resistência ao pneu. Circundando completamente o corpo do pneu, as lonas são dobradas em volta dos talões, inserindo-se novamente na carcaça.

Talões

Feitos de arame de aço cobreado, incrustado em borracha e cobertos com tecido, os talões ancoram as lonas da carcaça e proporcionam superfícies firmes para montagem na roda.

Cobre-talão

Estas camadas de cordonéis e borracha isolam a carcaça dos arames do talão e aumentam a durabilidade do pneu.

Antifricção

São camadas de tecido e borracha que protegem a carcaça de danos durante a montagem e desmontagem.

Elas isolam a carcaça do calor dos freios e proporcionam uma boa selagem contra o movimento, durante as operações dinâmicas.

Linha do talão

É a borda interna do talão, próxima à linha central do pneu.

Calcanhar do talão

É a borda externa do talão, que se ajusta ao flange da roda.

Camada interna

Nos pneus sem câmara, esta camada de borracha menos permeável atua como uma câmara de ar embutida, e impede que o ar penetre através das lonas.

Nos pneus com câmara, uma camada mais fina de borracha é usada para evitar o atrito entre a câmara de ar e a lona interna.

Camada de reforço da banda de rodagem

Uma almofada de borracha composta entre a banda de rodagem e a cobertura de lona proporciona resistência e durabilidade.

Isto adiciona proteção contra cortes e danos, durante o tempo de vida da banda de rodagem.

Costado

Os costados são primariamente coberturas sobre as laterais dos cordóneis do corpo para protegê-los de danos e exposição à luz, calor, frio etc.

Pequena resistência é dada aos cordéis do corpo pelo costado.Uma construção especial de costado, o "CHINE TIRE", é um pneu de roda de nariz desenhada com a construção de um deflector para desviar a água da pista para os lados, assim reduzindo os jatos de água nas áreas da frente dos motores a jato.

Tiras de enchimento

A tira de enchimento é um adicional, formado de borracha ao redor do talão para dar contorno à ancoragem da amarração.

Cuidados com os pneus de aeronaves

Os pneus são tão vitais para a operação da aeronave como para a operação dos automóveis.

Durante a operação no solo, os pneus podem ser considerados como superfícies de controle. Regras iguais de segurança no manejo e inspeção cuidadosos, aplicam-se nas rodovias e pistas de pouso.

Eles incluem controle de velocidade, freios, desgaste nos cantos, inspeção de pressão, cortes, danos e sinais de banda de rodagem desgastada.

Ao contrário do que as pessoas pensam - incluindo alguns pilotos inexperientes - a resistência exigida nos pneus de aeronave é suportar aquecimento rápido durante operações no solo muito longas e não impactos de pousos duros.

Os pneus de aeronaves são projetados para serem mais flexíveis do que os dos automóveis - mais do que o dobro. Esta flexão causa tensão interna e fricção quando os pneus rolam na pista. Altas temperaturas são geradas danificando o corpo do pneu.

A melhor segurança contra aquecimento nos pneus de aeronaves são pequenas rolagens, velocidade baixa de táxi; mínimo de freiadas e pressão apropriada nos pneus.

Excessivas freiadas aumentam o calor na banda de rodagem. Da mesma forma rápidos desgastes nos cantos aceleram o desgaste na banda de rodagem. Pressão apropriada assegura a correta quantidade de flexão e reduz o aquecimento ao mínimo, aumentando a vida do pneu e prevenindo excesso de desgaste na banda de rodagem.

A pressão será sempre mantida como especificada no manual de manutenção da aeronave ou de acordo com a informação disponível nos dados do pneu.

Mesmo usando um calibrador de pneus que é o único caminho preciso para um cheque de pressão, uma rápida inspeção visual da banda de rodagem pode revelar se a pressão de ar está alta ou baixa. Excesso de uso na faixa lateral do pneu é uma indicação de baixa pressão. Excesso de uso no centro do pneu sugere alta pressão.

As laterais dos pneus também são cuidadosamente inspecionadas quanto a cortes e danos. O melhor caminho para evitar cortes e danos no pneu da aeronave é ir devagar quando saindo da pista ou taxiando sobre condições adversas de pista.

Visto que os pneus de aeronaves tem que agarrar na pista como os pneus de carro agarram na estrada, a profundidade da banda de rodagem também é importante. As ranhuras da banda de rodagem precisam ser profundas o bastante para permitir que a água passe embaixo do pneu, minimizando os perigos de drenagens e sustentação hidro-dinâmicas em pistas molhadas.

A banda de rodagem do pneu será inspecionada visualmente ou com um instrumento de profundidade aprovado de acordo com as especificações do fabricante.

Outra inspeção tem como objetivo a detecção e remoção de algumas manchas de gasolina ou óleo nos pneus. Tais fluídos minerais danificam a borracha reduzindo o tempo de vida do pneu. Da mesma forma os pneus serão inspecionados por cheques de ozônio. A eletricidade muda o oxigênio do ar para o ozônio que também diminui a vida útil da borracha.

Montagem de conjuntos duplos

Nos pneus montados em conjunto duplo, ou conjuntos duplos montados em configuração de multitrem de pouso, é necessário que cada pneu tenha a mesma área de contato com o solo e igual carga distribuída entre eles. Somente os pneus tendo diâmetro dentro das tolerâncias listadas a seguir, farão par no mesmo conjunto duplo.

A pressão dos pneus não pode ser medida antes deles terem sido montados e inflados pelo menos 12 horas à temperatura normal do ambiente.

DIÂMETRO EXTERNO	TOLERÂNCIA MÁXIMA PERMITIDA
ATÉ 24”	1/4”
25” A 32”	5/16”
33” A 40”	3/8”
41” A 48”	7/16”
49” A 55”	1/2”
56” A 65”	9/16”
66” E ACIMA	5/8”

Figura 9-50 Montagem de pneus em conjuntos duplos

MANUTENÇÃO DE PNEUS DE AERONAVES

Toda a manutenção de pneus de aeronaves é publicada nos manuais de manutenção e instrução.

As seguintes informações sobre pneus de aeronaves foram extraídas do “B.E Goodrich Publication Care and Maintenance of Aircraft Tires, Fourth Edition”, e publicada com a sua permissão.

Pressão apropriada para um serviço satisfatório

A pressão de inflação é, sem dúvida, a função de manutenção mais necessária para segurança e longo tempo de serviço dos pneus de aeronaves. A pressão do pneu deve ser checada com instrumento de precisão pelo menos uma vez na semana ou com frequência; também é recomendado que sejam inspecionados antes de cada vôo.

Entretanto, se um pequeno vazamento se desenvolver, poderá causar perda de ar dentro de dois ou três dias, resultando em danos ao pneu e à câmara de ar.

As pressões de ar devem ser inspecionadas quando os pneus estão frescos. É aguardado pelo menos duas horas após o vôo antes de inspecionar as pressões (três horas em tempo quente).

Nova montagem de pneu

Uma nova montagem de pneu e/ou câmara de ar deve ser inspecionada pelo menos diariamente por alguns dias, após o que deverá ser seguida uma lista de controle de inflação. Isto é necessário porque o ar é normalmente preso entre o pneu e a câmara de ar durante a montagem, dando uma leitura falsa de pressão.

Como o ar preso sai por baixo dos talões do pneu e ao redor da cavidade da válvula na roda, o pneu pode vir a ficar abaixo da pressão de inflação dentro de um ou dois dias.

Esticamento do nylon

Atualmente, todo o pneu de aeronave é fabricado com cordonéis de nylon. Um tempo inicial de 24 horas de esticamento de um pneu de nylon recentemente montado, pode resultar em 5 a 10 por cento de queda na pressão de ar.

Desta forma, tal pneu não deve ser colocado em serviço antes de ter sido colocado em espera pelo menos 12 horas após montado e inflado com uma pressão regular de operação.

A pressão do ar então deve ser ajustada para compensar o decréscimo na pressão causada pelo estiramento dos cordonéis.

Perda por difusão de ar nos pneus sem câmaras

A máxima difusão permitida é de 5 por cento por um período de 24 horas. Entretanto, nenhum teste de precisão deve ser feito após o pneu ter sido montado e inflado pelo menos 12 horas, e adicionado ar para compensar a queda de pressão devido a expansão do corpo de nylon e algumas mudanças na temperatura do pneu.

Uma queda de pressão superior a 10 por cento durante o período inicial deve ser uma razão suficiente para não colocar o conjunto de roda e pneu em serviço.

Conjuntos duplos: Equalização de pressões

Diferentes pressões de ar em pneus montados em conjuntos duplos, principal ou nariz, devem causar inquietação.

Normalmente, um daqueles pneus estará carregando mais carga do que o outro. Se houver uma diferença de mais de 5 libras, deverá ser anotado no "Log-book" (Livro de Manutenção), e deverão ser feitas referências a cada inspeção de inflação subsequente.

Falhas do pneu e da câmara de ar, prestes a acontecer, podem frequentemente ser detectadas por este método.

Se uma pressão diferente é encontrada, verifica-se o centro da válvula pingando um pouco de água sobre o topo e a base da mesma. Se não aparecem bolhas, pode-se concluir que a válvula está retendo a pressão satisfatoriamente.

Fontes de dados de pressões

A inflação dos pneus das rodas do nariz seguem as recomendações dos fabricantes da aeronave, porque eles levam em consideração tanto a carga extra transferida para a roda do nariz pelo efeito dos freios, como a carga estática.

A pressão de ar no pneu da roda do nariz, baseado somente na carga estática, resultará em baixa inflação para suportar cargas quando os freios forem aplicados.

Pneus de bequilha sempre devem ser inflados de acordo com a carga estática no eixo.

Quando os pneus são inflados sobre o efeito de uma carga a pressão deve ser incrementada 4 por cento.

A razão disto é que a porção deflectada do pneu causa a redução do volume da câmara de ar, e incrementa a leitura da pressão de inflação, que precisa ser compensada de acordo com a regra acima.

Efeitos de baixa inflação

Inflação baixa resulta em efeitos nocivos e perigos em potencial. Os pneus de aeronave que têm inflação baixa são muito mais prováveis de patinar e deslizar na roda durante o pouso, ou quando os freios forem aplicados.

A câmara de ar pode ser cortada e o pneu completo, câmara e conjunto de roda podem ser destruídos devido a tais condições. Uma pressão muito baixa pode também causar desgaste rápido e desigual na/ou perto da borda da banda de rodagem.

Baixa inflação provê maior oportunidade das paredes laterais, ou o ombro do pneu, de serem destruídos pelo aro da roda, no pouso, ou na lateral da pista de pouso, enquanto manobrando a aeronave.

Os pneus podem flexionar sobre a flange da roda, com grandes possibilidades de danos do talão e nas áreas baixas das paredes laterais. Pode resultar uma lasca ou ruptura do corpo de nylon do pneu. Uma baixíssima inflação pode resultar no afrouxamento dos cordonéis e destruição dos pneus, devido ao extremo calor e esticamento produzido pela ação flexiva excessiva. Estas condições iguais podem causar um esfolamento do interior da câmara, resultando no estouro do pneu.

Recomendações sobre cargas

Desde o início do transporte aéreo, os pneus de aeronaves tiveram o seu emprego requerido com eficiência e segurança. Porém, há um limite de carga que cada pneu de aeronave pode operar segura e eficientemente. Carga sobre os pneus de aeronaves, acima dos limites, pode resultar nestes defeitos indesejáveis:

1 - Um esticamento não devido sobre o corpo dos cordonéis e talão dos pneus, reduzindo o fator de segurança e tempo de vida;

2 - Há grande chance de ser lascado devido a pancada em obstáculo ou durante o pouso (lascamento do freio, impacto no freio, flexão dos freios nas paredes laterais e ombro do pneu);

3 - Possibilidade de danos nas rodas. Sob o severo esforço de uma carga extra, uma roda pode falhar antes do pneu.

Nota: Enquanto uma pressão de ar adicional (inflação) para compensar uma carga adicional, pode reduzir excessivamente a deflexão do pneu, isto proporciona um esforço adicional ao corpo dos cordonéis, e aumenta a possibilidade de cortes, lascas e impactos nos freios.

Marcas de achatamento nos pneus de nylon

Os pneus de nylon de aeronaves desenvolvem, temporariamente, uma marca de achatamento sob cargas estáticas. O grau desta marca varia de acordo com a pressão interna do pneu e a quantidade de peso sustentado pelo mesmo.Naturalmente, estas marcas podem ser mais observadas durante tempos frios, e é mais difícil o trabalho de um pneu a baixa temperatura. Sob condições normais, uma marca plana desaparecerá no final de uma pista de táxi. Se isto não acontecer, o pneu pode geralmente ser remodelado pela sobreinflação a 25 ou 50 por cento, e movimentando a aeronave até a parte de baixo do pneu (parte plana) ficar para cima.

Sumário de manutenção preventiva
1- Confira a pressão do pneu, com um instrumento de precisão, pelo menos uma vez por semana, e antes de cada vôo. Os pneus deverão estar na temperatura ambiente.
2 - Confira a pressão, após novas montagens de pneus ou câmaras, diariamente, durante alguns dias.
3 - Após a montagem de um pneu novo, ele só deverá ser posto em serviço após o esticamento dos cordéis terem sido compensados com uma reinflação.
4 - Checar quanto a difusão de ar.
5 - Siga cuidadosamente recomendações durante a inflação.
6 - Observe as recomendações sobre carga.
7 - Movimente a aeronave regularmente ou a mantenha sobre apoios (cavaletes) quando fora de serviço por longos períodos.

Figura 9-51 Sumário de manutenção preventiva.

Esta pressão deve ficar no pneu por uma hora. Pode até mesmo ser necessário taxiar ou rebocar a aeronave antes da remodelagem estar completa. É desnecessário dizer que alguns achatamentos podem causar sérias vibrações e outras sensações desagradáveis para os pilotos e passageiros.

Aeronaves que permanecem inativas por períodos maiores que três dias, devem ser movimentadas a cada 48 horas, ou suspensas em macacos até que nenhum peso fique nos pneus. As aeronaves estocadas (fora de serviço por mais de 14 dias), devem ficar suspensas para que não haja peso nos pneus.

A figura 9-51 dá um sumário da manutenção preventiva dos pneus.

INSPEÇÃO DO PNEU MONTADO NA RODA

Vazamento ou danos na válvula

Para inspecionar as válvulas quanto a vazamentos, coloca-se umas gotas de água no seu bico de enchimento. Se apareceram bolhas, troca-se o conjunto da válvula, e a inspeção é repetida.

Sempre inspeciona-se a válvula para ter certeza de que a rosca não está danificada; verifica-se, também, se o conjunto da válvula e a tampa não estão em boas condições.

Se as roscas estiverem danificadas, a válvula pode ter as roscas internas ou externas refeitas pelo uso da ferramenta de reparo de válvulas, sem desmontar o pneu da roda.

Com os dedos é confirmado se as válvulas têm suas tampas apertadas firmemente.

As tampas protegem da poeira, óleos e outras misturas que possam penetrar no interior das válvulas, danificando seu núcleo. As tampas também selam o ar e servem de proteção em caso de vazamento ocorrido no núcleo da válvula.

Inspeciona-se a válvula para ter certeza de que a mesma não está roçando na roda. Se ela estiver curvada, rachada ou severamente gasta, desmonta-se o pneu, e a câmara ou a válvula é trocada.

Banda de rodagem danificada

Inspeciona-se cuidadosamente a área da banda de rodagem quanto a cortes ou danos.

Obrigatoriamente terão que ser removidos alguns pedaços de vidro, pedras, metais ou outros objetos desconhecidos, que podem estar incrustados na banda de rodagem, ou que tenha penetrado nos cordonéis.

Usa-se um furador rombudo para esta situação, embora uma chave de fenda possa ser usada se um furador não estiver disponível.

Quando sondando um corte a procura de material estranho, têm-se o cuidado em não alargar o corte ou dirigir a ponta do furador, ou da chave de fenda, para dentro do corpo de cordonéis além da profundidade do corte.

Quando extraindo o material estranho que está incrustado, a outra mão deve ficar sobre a fenda, protegendo a pessoa que está fazendo a inspeção, evitando que o objeto atinja o seu rosto.

Os pneus com cortes ou outros danos que exponham, ou tenham penetrado no corpo de cordonéis, devem ser removidos e reparados, recapeados ou descartados.

Quando o corte não expõe a carcaça dos cordonéis , não é obrigatória a retirada do pneu do serviço.

Remove-se os pneus que mostram sinais de saliências na banda de rodagem ou laterais. Isto pode ser resultado de uma fenda nos cordonéis, ou pode indicar separação da banda de rodagem ou de camadas.

As saliências devem ser sempre marcadas com giz, antes de esvaziar o pneu; de outra forma, pode ser muito difícil, se não impossível, localizar a área após o pneu estar vazio.

Danos nas laterais

Inspeciona-se ambas as laterais quanto a evidências de desgaste ou teste de ozônio e rachadura, rachaduras radiais, cortes, protuberâncias, etc. Se os cordonéis estiverem expostos, o pneu deve ser removido do serviço.

Quando remover para recauchutagem

Inspeciona-se os pneus quanto a necessidade de recauchutagem. Eles devem sair de serviço quando:

a) Tiverem um ou mais achatamentos. Geralmente um simples achatamento ou uma “queimada” devido a uma derrapagem não expõe a carcaça de cordonéis, e o pneu pode permanecer em serviço, a não ser que sérios relatórios de desbalanceamento sejam feitos pela tripulação.

b) Eles mostram 80 % ou mais de desgaste da banda de rodagem.

c) Existem numerosos cortes que requeiram reparos. Em outras palavras, se o custo do reparo dos cortes ultrapassar 50 % ou mais o custo da recapagem, então será considerado mais econômico recapear o pneu.

Uso desigual

Inspeciona-se os pneus quanto a evidências de mau alinhamento das rodas.

Os pneus que mostram tal uso, devem ser desmontados, virados e remontados, na ordem de uso. Também, inspeciona-se quanto a não uniformidade, uso irregular devido a freios defeituosos, e então é feito as correções mecânicas, logo que possível.

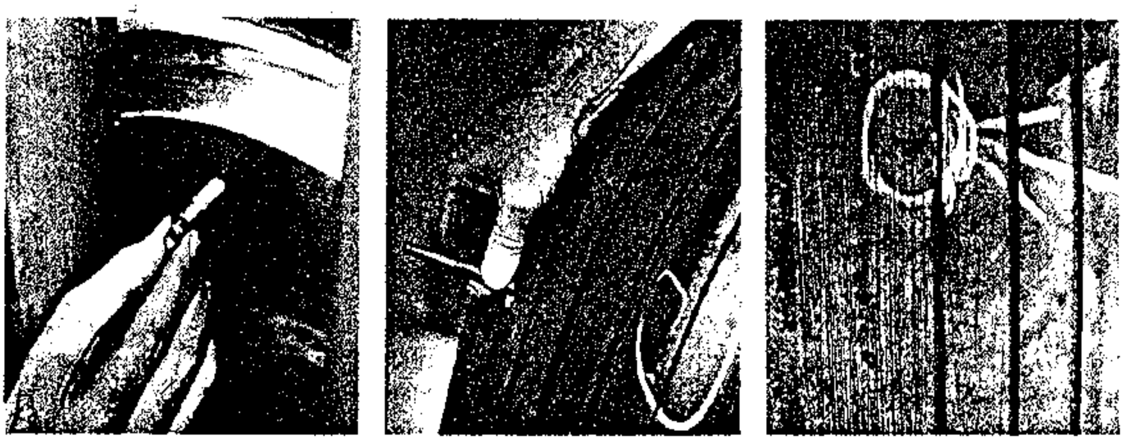
Danos na roda

Inspeciona-se a roda completa quanto a danos. As rodas que tiverem rachaduras ou fendas devem ser retiradas do serviço e enviadas para inspeção, reparo ou troca.

Quando se inspeciona um pneu montado na roda do avião, deve-se ter certeza de que nenhum objeto esteja preso entre o trem de pouso e o pneu, e que nenhuma peça do trem de pouso esteja roçando no pneu.

Neste momento, inspeciona-se também, o interior do alojamento onde os pneus encaixam, quando o trem de pouso é recolhido. O espaço livre é algumas vezes reduzido e algum material estranho ou peças perdidas ou quebradas no alojamento podem causar sérios danos ao pneu, e até mesmo causar falha no trem de pouso.

A figura 9-52 mostra as inspeções a serem feitas enquanto o pneu é montado.



A - Colocar uma tampa em cada uma das válvulas.

B - O medidor de profundidade mostra o desgaste.

C - Marcar e remover os objetos estranhos.

Figura 9-52 Manutenção básica de pneus.

INSPEÇÃO DO PNEU DESMONTADO

Desmontagem periódica

Uma determinada lista pode ser implantada com os procedimentos para inspeções regulares dos pneus e câmaras, após um certo número de horas ou pousos, e para que cada pneu e câmara seja retirado da roda para inspeção. Entretanto, se uma aeronave tiver feito um pouso duro, o pneu e a câmara devem ser desmontados e inspecionados, para determinar se existe algum dano oculto. A roda também deve ser inspecionada na mesma ocasião.

Investigando os danos

Examina-se todos os cortes, furos e outros danos na banda de rodagem com uma punção, e remove-se o material estranho. Quando se extrai o material estranho incrustado na rodagem, uma das mãos é colocada sobre o corte, para que o objeto extraído não atinja o rosto da pessoa que está conduzindo a inspeção.

Comprimindo as laterais juntas, também será possível abrir o corte. A largura e a profundidade do corte podem ser determinadas sondando com um furador. Não se empurra a ponta do furador para dentro dos cordonéis, além da profundidade do corte.

Reparando os danos

Cortes internos, ou através da carcaça do corpo de cordonéis, medindo não mais do que 1/4” no lado de fora, e 1/8” no lado de dentro, serão considerados furos e são facilmente reparáveis sem precisar remendo para reforçar o interior do pneu.

Pneus qualificados para velocidades acima de 160 mph podem ser reparados se forem encontradas as seguintes qualificações. Cortes através da rodagem não devem penetrar mais do que 40% do efetivo corpo da lona; eles deverão medir não mais do que 1 1/2” de comprimento e 1/4” de largura, antes do desgaste da rodagem; e após o desgaste da rodagem, o corte não deve ser maior que 1” de comprimento e 1/8” de largura, na superfície.

Pneus qualificados para velocidades menores do que 160 mph podem ser reparados se o corte ou dano penetrar através da lona mais do que 40%, e não maior do que 1” no comprimento.

Naturalmente existe um limite de número de cortes que um pneu pode ter. A decisão de recauchutagem ou não do pneu deve ser deixada por conta do fabricante do pneu.

Condições das laterais

Inspeciona-se ambas as laterais quanto a evidência de desgaste por tempo ou inspeção de ozônio e rachadura, rachaduras radiais, cortes e protuberâncias.

a) Descartar qualquer pneu com cortes radiais que se estendam aos cordonéis.

b) Descartar qualquer pneu com desgaste por tempo, ozônio ou rachadura, que estende-se aos cordonéis. O desgaste por tempo é uma condição normal afetando todos os pneus e, antes dos cordonéis serem expostos, não afeta a disponibilidade e a segurança do pneu.

c) Pneus com cortes ou protuberâncias nas laterais que estas danificada no exterior da lona, devem ser descartados.

Dano no talão

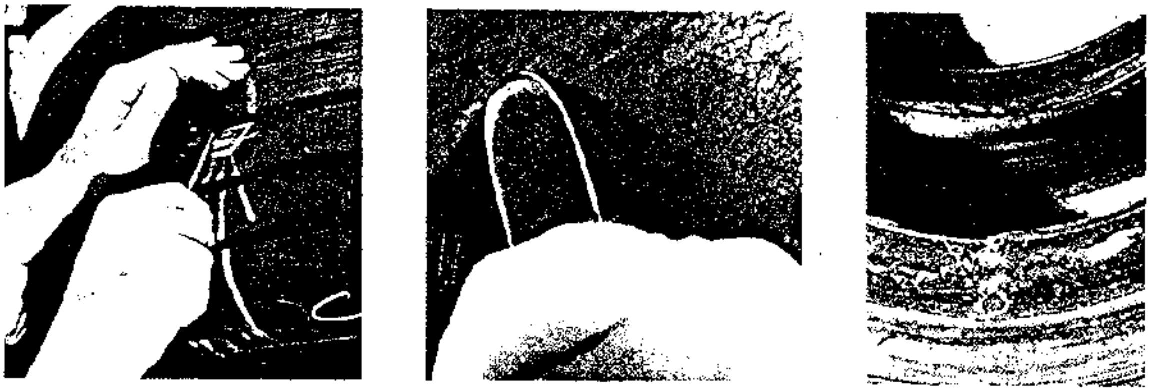
Inspeciona-se o talão interior e a área sobre o calcanhar do talão do lado de fora do pneu, quanto a esfolamento pelo flange da roda ou danos por ferramentas de pneu.

Alguma bolha ou separação do anti-fricção da primeira lona requer reparo ou troca da anti-fricção. Se os cordonéis da primeira lona sob o anti-fricção estiverem danificados, o pneu deverá ser descartado.

Se o fio do talão estiver saliente, e a separação do fio do talão ou um enroscamento péssimo do talão for encontrado, o pneu deve ser descartado.

Uma tira solta, ou formação de bolhas no acabamento geralmente pode ser trocada durante o processo de recauchutagem, porém os pneus não devem continuar em serviço sob tais condições.

A figura 9-53 mostra as inspeções a serem feitas com o pneu desmontado.



A - Com haste de ponta rombuda e escudo com a mão.

B - Estão os cordonéis laterais expostos?

C - Danos reparáveis no acabamento.

Figura 9-53 Manutenção básica de pneus.

Saliências - Cordonéis quebrados

Inspeciona-se os pneus cujas saliências foram marcadas quando eles estavam montados e inflados. Se nenhuma ruptura for encontrada no interior do pneu, sonda-se com um furador para ver se existe separação. Se a separação for encontrada, o pneu deve ser descartado, a menos que haja somente uma pequena separação localizada entre a rodagem ou a borracha das laterais e o corpo de cordonéis.

Neste caso, um pequeno reparo ou uma recauchutagem pode ser satisfatório.

Se for encontrado um pneu com cordonéis soltos, desgastados ou rachados no interior, deverá ser descartado.

IMPORTANTE: Não usar um furador ou uma ferramenta pontiaguda no interior do pneu sem câmara, para sondagem ou inspeção.

Pneus sem câmaras - Área do talão

Um pneu sem câmara é adequadamente mais apertado na roda do que um pneu com câmara, para reter apropriadamente a pressão do ar.

Portanto, a face do talão (a superfície plana entre a unha e o calcanhar do talão) não podem estar danificada para não causar um vazamento do pneu.

A superfície principal de selagem de um pneu sem câmara é esta área; ela é examinada cuidadosamente quanto a evidências de danos por ferramentas de pneus e falta de aderência, enquanto em serviço, ou danos que permitirão ao ar escapar do interior do pneu.

Cordonéis desencapados na face do talão, normalmente não causarão problema.

Bolhas no forro ("Liner")

Pneus sem câmaras, com falhas no forro interno ou separação das áreas do forro, maiores que 4" x 8", devem ser descartados. Geralmente pequenas bolhas (não maiores que duas polegadas de diâmetro) não causam problemas e não precisam ser reparadas. Entretanto, não se perfura a bolha, isto pode destruir a capacidade de retenção do ar do pneu.

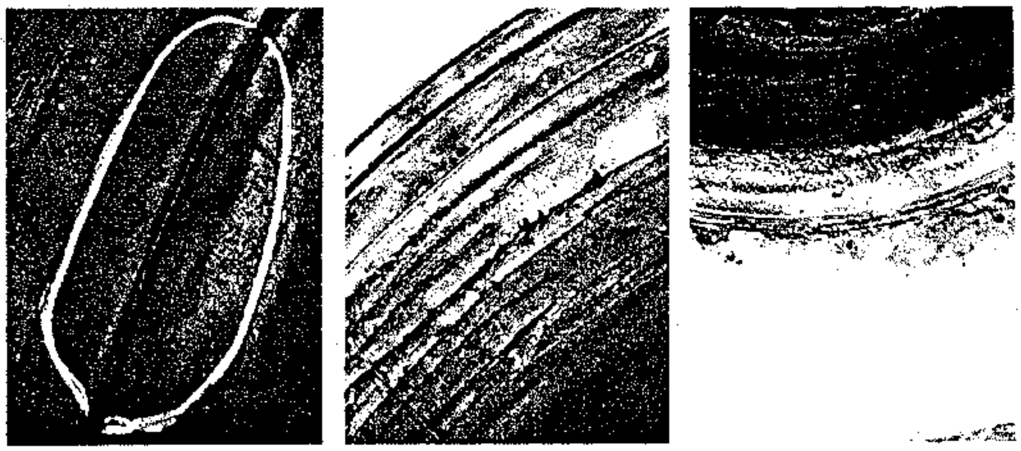
Fusível térmico

Algumas rodas de aeronaves tem um dispositivo que se destina a sentir temperaturas elevadas, e baixar a pressão de ar para evitar que o pneu estoure ou agarre na roda.

O ar deve sair devido ao derretimento de um dos sensores deste dispositivo, e é recomendado que o pneu envolvido seja descartado. Entretanto, um esforço deve ser feito para determinar se o sensor derreteu a uma temperatura mais baixa do que a prevista, ou se o ar pode ter saído ao redor do sensor, devido a uma instalação imprópria.

Se um pneu foi sujeito a uma alta temperatura, bastante para derreter um dos sensores, deve ser cuidadosamente inspecionado quanto a evidências de reversão da cobertura de borracha ao redor da área de contato com o aro.

A figura 9-54 mostra uma marcação quanto a áreas com saliências, reversão da borracha no contato com o aro, e danos externos na área externa.



A - Marque as áreas com protuberâncias.

B - Costado externo com lona danificada, descartar o pneu.

C - Reversão da borracha devido a roda aquecida.

Figura 9-54 Manutenção básica de pneus.

INSPEÇÃO DA CÂMARA

Tamanho adequado

Em pneus com câmara, falhas na câmara de ar podem facilmente causar danos irreparáveis ao pneu onde está montada, bem como à roda da aeronave ou a ela mesma.

È muito importante que as câmaras de ar tenham o tamanho adequado e estejam equipadas com as válvulas corretas.

Quando se inspeciona as câmaras, não se coloca mais ar do que o necessário, é preciso apenas dar o contorno da circunferência interna da câmara. Muito ar colocado estica os remendos e as áreas ao redor da haste da válvula. Adicionando excesso de ar, o tecido básico da câmara se danifica, podendo causar nele esticamento do lado externo da câmara. Inspeciona-se cuidadosamente quanto a vazamentos a baixa pressão, preferencialmente pela inflação e submersão na água.

Se a câmara for muito grande para ser submergida no tanque de água disponível, água é vaporizada sobre a superfície, e a câmara é inspecionada quanto a formação de bolhas.

Haste da válvula

A câmara é examinada cuidadosamente ao redor da haste da válvula quanto a vazamentos, sinais de separação do apoio da válvula, inclinação ou danos na haste da válvula.

Rugas

As câmaras com muitas rugas devem ser retiradas de serviço e descartadas. Estas rugas são evidências de montagem imprópria dentro do pneu, e sempre que ocorrer um enrugamento, poderá surgir um aquecimento por fricção, podendo ocorrer um estouro.

Desgaste por atrito

Inspeciona-se as câmaras quanto a evidências de desgaste por atrito nas unhas do talão do pneu. Se houver evidências consideráveis de desgaste por atrito, retira-se a câmara de serviço.

Afinamento

Onde o calor é muito intenso, a câmara tem uma tendência de ser muito esticada ao redor da borda do assento do talão da roda. Isto é uma das razões que faz com que na montagem as câmaras sejam sempre infladas até o talão do pneu ficar em posição; depois, completamente esvaziada e então reinflada até a pressão final.

O esticamento da câmara é então equalizado através da periferia interna e externa.

Também inspeciona-se as câmaras quanto ao afinamento do tecido devido ao aquecimento do tambor durante as freiadas na área onde elas tem contato com a roda e a unha do talão.

Na figura 9-55, pode ser visto que o "assentamento" ou o formato da câmara pode ser observado quando ela for retirada de serviço devido ao afinamento do tecido na área do talão.

Nas rodas com um único tambor de freio, esta condição de aquecimento do conjunto será normalmente notada em um dos lados da câmara. Nesses casos, quando o tambor do freio está a uma distância considerável do aro, não é provável que esta condição venha a ocorrer.

Câmaras de ar a base de tecidos

Em casos onde o tambor do freio aquece, será necessário uma checagem cuidadosa na câmara de ar, assim como também deverá ser feita no talão do pneu, para precaver-se de falhas, as quais podem ter consequências desastrosas.

Em casos semelhantes, as câmaras de ar a base de tecido deverão sempre ser usadas. Elas possuem uma camada de fios de nylon diretamente embebidos na borracha da circunferência interna das câmaras de ar, para protegê-las contra o afinamento devido ao calor do tambor do freio.

Uma proteção adicional está prevista, contra a ação de desgaste da unha do talão do pneu e de danos causados pela montagem e desmontagem.

MONTAGEM E DESMONTAGEM

O objetivo dessas instruções é mostrar como executar o serviço tão fácil e seguro quanto possível, usando as ferramentas adequadas sem danificar os pneus, as câmaras de ar, ou as rodas.

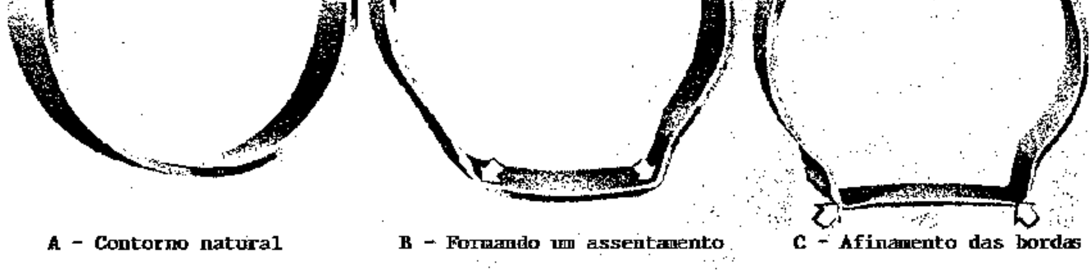

A - Contorno natural
B - Formando um assentamento
C - Afinamento das bordas

Figura 9-55 Inspeção da câmara de ar.

Quase todos os profissionais experientes em serviços de pneus de aeronaves, desenvolvem métodos os quais são mais ou menos particulares e, sem dúvida, alguns desses métodos são tão práticos quanto os sugeridos aqui.

Essas instruções, são intencionalmente simples para que elas possam ser realizadas com as ferramentas normalmente disponíveis, em contraste com o equipamento especializado, que é usualmente encontrado somente nos grandes aeroportos ou instalações militares.

Inspeção e instalação de câmaras de ar

Antes de montar qualquer pneu, a roda é examinada cuidadosamente a fim de que não esteja rachada ou com partes danificadas.

Naturalmente, o pneu e a câmara de ar deverão ser cuidadosamente inspecionados, como descrito nas páginas que se referem a inspeção de pneus e câmaras.

Uma checagem rápida deverá ser feita sempre para nenhum material estranho fique dentro do pneu ou preso dentro da câmara de ar.

A parte interna do pneu, e toda a parte externa da câmara de ar, é pulverizada com talco para pneus, antes da câmara de ar ser instalada. Isto evita que a câmara cole na parte interna do pneu ou na sua borda.

A pulverização de talco também auxilia a câmara de ar a assumir a sua forma normal, dentro do pneu durante a inflação, e removendo a possibilidade de enrugamento ou adelgaçamento.

É uma boa prática sempre montar a câmara de ar no pneu, com a válvula se projetando pelo lado do pneu que contém o número de série.

Lubrificação

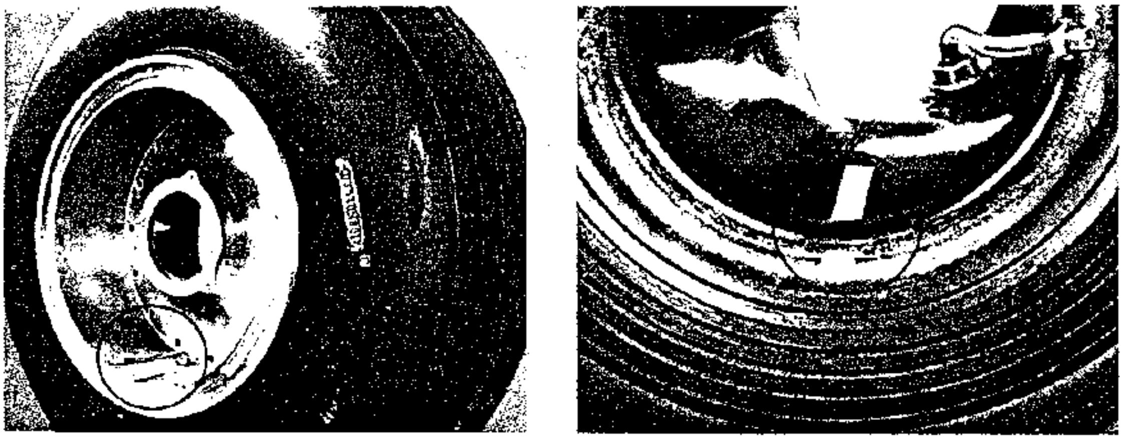
Os pneus sem câmaras ajustam-se melhor nas rodas do que os tipos com câmara de ar. Portanto, é desejável lubrificar a unha do talão com uma aprovada solução a 10% de sabão de óleo vegetal, ou simplesmente com água pura. Isto facilitará a montagem, e permitirá assentamento apropriado das bordas do pneu de encontro com os flanges da roda, para que não haja perda de ar.

Cuidado deve ser tomado, no entanto, para certificar-se de que nenhuma solução chegue na área do talão, fazendo contato com o flange da roda.

Nos pneus com câmara, a lubrificação das bordas do pneu pode ou não ser necessária, dependendo do tipo de roda que está sendo usada. Uma solução aprovada para montagem, como aquela de 10% de sabão de óleo vegetal, ou água, como foi mencionado anteriormente, pode ser usada na unha do talão, e sempre no lado de entrada da câmara no cubo, para facilitar a montagem.

Balanceamento

O balanceamento de um conjunto de rodas de aeronave é muito importante.



A - Projeção da válvula no lado do nº de serie.

B - Alinhamento das marcas de balanceamento do pneu com a da câmara.

Figura 9-56 Conjunto básico de pneu e câmara.

Do ponto de vista do desgaste, quando as rodas estão na posição do pouso, uma parte mais pesada da roda terá uma tendência em manter-se para baixo e, desta maneira, sempre tocará no solo, ou pista de pouso, em primeiro lugar.

Isto resulta em severo desgaste em só uma área do pneu, podendo ocasionar uma antecipada substituição.

Além disso, o não balanceamento dos pneus pode causar fortes vibrações as quais podem afetar a operação da aeronave. Na verdade. pilotos têm reportado, algumas vezes, que alguns instrumentos passam informações não confiáveis, por causa da vibração.

As marcas de balanceamento aparecem nas câmaras de ar das aeronaves para indicar a porção dura de ar da câmara. Essas marcas são de aproximadamente ½ polegada de largura por 2 polegadas de comprimento.

Quando a câmara é introduzida no pneu, a marca de balanceamento da câmara deverá estar coincidindo com a marca de balanceamento do pneu (Figura 9-56). Se a câmara não possuir marca de balanceamento, o lugar da válvula deverá ficar na posição da marca do pneu.

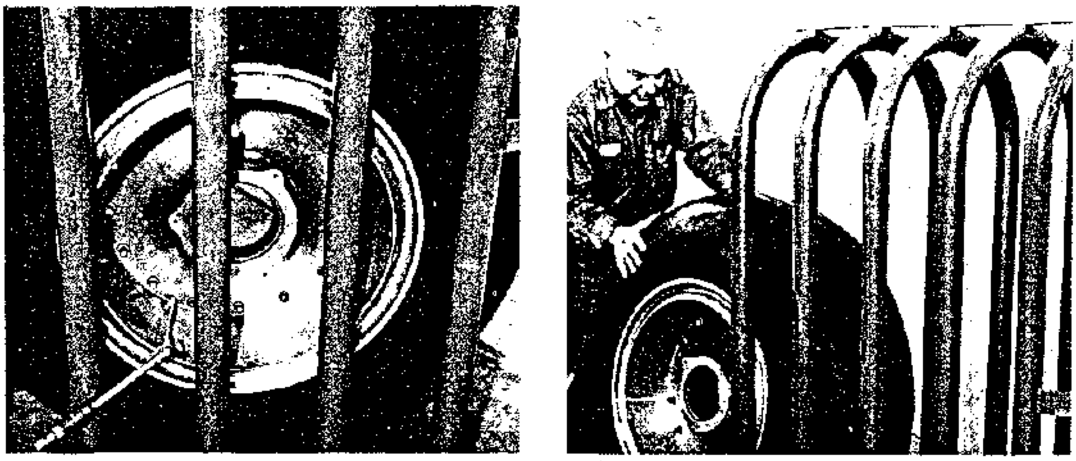
Quando montando os pneus sem câmara, a marca vermelha de balanceamento do pneu deverá ser sempre colocada na direção da válvula que está montada na roda.

Segurança na calibragem

Após o pneu e a câmara de ar estarem montados na roda, o conjunto deverá ser colocado em uma gaiola de segurança para a calibração.

A gaiola deverá ser colocada de encontro a uma parede externa, construída de modo a resistir, se necessário, os efeitos de uma explosão do pneu, da câmara ou da roda (Figura 9-57).

A linha de ar do compressor ou outra fonte de ar deverá ser colocada em um local pelo menos de 20 a 30 pés de distância da gaiola de segurança, tendo a válvula e o medidor de pressão instalados nesse ponto.



A - A fixação do bico permite a inflação, de uma distância segura da gaiola.

B - Gaiola recomendada para todas as oficinas de pneus.

Figura 9-57 Preucações na inflação.

A linha deverá ser estendida e fixada na gaiola de segurança com uma tira de borracha, desde a conexão. O final da mangueira deverá ser fixado com um grampo para a execução dos trabalhos de inflação. Este exemplo torna desnecessária a aproximação de pessoas, para a checagem de pressão de ar na gaiola de segurança, enquanto o pneu estiver sendo inflado.

Assentamento da câmara no pneu

Para ajustar as bordas do pneu corretamente na roda, primeiramente o pneu deve ser inflado até a pressão recomendada, para o particular tipo de pneu e para a aeronave na qual ele será montado. Então, o pneu deverá ser completamente esvaziado e finalmente reinflado para a pressão correta (não prender a válvula no cubo até que esta operação tenha terminado). Usa-se a extensão da válvula para a inflação, se necessário.

Esse procedimento tem por finalidade ajudar a remover rugas na câmara de ar; evitar beliscões na câmara pela unha do talão; eliminar as possibilidades de uma seção da câmara ser esticada mais do que o restante, danificando aquela área; e ajudar na remoção do ar preso entre a câmara e o pneu.

Nota: Com os pneus sem câmara, não é necessário esse procedimento de enche-esvazia-enche.

É recomendado que um conjunto recém-montado seja estocado, longe da área de trabalho, por um mínimo de 12 horas, e de preferências por 24 horas. Isso é para determinar se existe algum ponto fraco na estrutura do conjunto pneu, câmara e roda. Isso também permite uma revisão no pneu após um período de 12 ou 24 horas, para determinar alguma queda de pressão, e se esta queda está de acordo com o tipo de pneu.

Quando o conjunto é montado na aeronave, deve ser feito um teste para assegurar-se de que cada parte do conjunto está disponível para o serviço.

Segurança na desmontagem

É preciso estar seguro de ter esvaziado completamente os pneus, antes da desmontagem. Muitos acidentes tem acontecido, por falhas, em não seguir corretamente este passo. Para uma melhor prática, é recomendado esvaziar o pneu, antes da roda ser removida da aeronave.

Nota: Usar de precaução quando desaparafusando o núcleo das válvulas, porque a pressão de ar dentro da câmara ou do pneu poderá causar a ejeção do núcleo da válvula, como um projétil, e provocar ferimentos.

Cuidados no manuseio do talão e das rodas

Em alguns tipos de rodas, a borda do talão do pneu pode ser solta do flange da roda e encaixar a borda após alguns passos na desmontagem. Mesmo usando ferramentas apropriadas, extremo cuidado deve ser tomado.

A - Pneus sem câmara - Rodas bipartidas

No projeto dos pneus sem câmara, o pneu e a roda são usados para conter a pressão de ar. A inflação é executada através de uma válvula própria instalada na roda.

O orifício para a válvula, na roda, por onde o pneu sem câmara é inflado, é selado contra a perda de ar, por um anel vedador ou um anel de seção circular (“O” ring). Ver a figura 9-58.

As rodas bipartidas são seladas para evitar perda de ar por um vedador circular, montado em uma ranhura na superfície da junção de uma das metades da roda.

As rodas de flanges desmontáveis são similarmente seladas para evitar perda de ar, por um anel de vedação, instalado na ranhura da base da roda, sob a área coberta pelo flange desmontável.

A pressão de ar é mantida, no pneu sem câmara selado, com a borda do pneu e com a borda da roda, assentando-se para evitar escapamentos de ar.

As rodas que usam disco de freio possuem fusíveis térmicos de alívio, do tipo plugue, instalados na área do rotor da direção da roda, como medida de proteção contra explosões do pneu, devido ao excesso de aquecimento.

Os fusíveis têm como miolo, um metal que se funde a uma determinada temperatura, aliviando a alta pressão acumulada.

Montagem

Deve-se checar a válvula de enchimento dos pneus sem câmara e fusível térmico, quanto a correta instalação e ausência de danos.

Consulta-se o manual do fabricante da roda, para os corretos procedimentos de instalação.

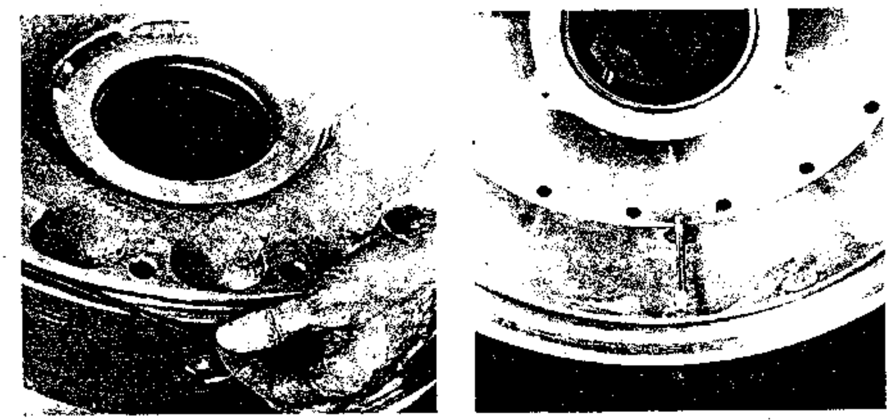
Os vedadores circulares (“O” rings) usados para selar a roda, são inspecionados quanto a danos e trocá-los se necessário.

Lubrifica-se o vedador circular, como especificado pelo fabricante da roda, e colocando-o na ranhura da roda.

O certo é que o vedador circular fique livre de dobras, torções e que esteja assentado corretamente. Montando um flange desmontável, toma-se cuidado para não deslocar ou danificar o vedador circular previamente instalado na base da roda.

Monta-se um pneu sem câmara da mesma maneira que um pneu com câmara. As bordas da roda devem estar limpas e secas, para garantir uma correta selagem do pneu sem câmara na borda da roda.

O conjunto de metades da roda do tipo bipartida, com os lados mais leves (com uma letra "L" estampada nas bordas) a 180º defasados um do outro, asseguram uma condição mínima de desbalanceamento. As porcas, arruelas e parafusos para o conjunto de roda do tipo bipartida devem estar em ordem e em posição e as superfícies de rolamento estão lubrificadas corretamente.Aperta-se as porcas e parafusos com os valores de torque recomendados. Consulta-se o manual do fabricante das rodas, para os procedimentos corretos.



A - O selo em "O" é vital - manuseie e instale com cuidado.

B - Inspecione o selo da válvula quanto a sinais de dano e deteriorizaçao.

Figura 9-58 Inspeção do selo da roda bipartida.

Desmontagem

Os procedimentos para desmontagem dos pneus sem câmara são geralmente da mesma forma que os pneus com câmara. De qualquer modo, tomar cuidado para evitar danos em (1) Ranhura do anel de vedação da roda e marcação da junção das superfícies; (2) Área de assentamento dos flanges (bordas) da roda com as bordas do pneu; e (3) Orifício da válvula de enchimento dos pneus sem câmara.

Essas áreas da roda são críticas, e se danificadas resultarão em falhas nas unidades da roda e do pneu, em relação a manutenção da pressão de ar calibrada.

B - Pneu com câmara

Montagem

A câmara de ar totalmente vazia é instalada no pneu, e enchida até o ajuste. O núcleo da válvula deverá estar dentro dela durante esta operação.

Aplica-se com escova ou esfregão uma solução de sabão de óleo vegetal a 10%, em toda a extensão da câmara e no interior do pneu. Não se lubrifica a borda do pneu que fica em contato com os flanges da roda. Insere-se no pneu a seção da roda que possui o orifício da válvula, e empurra-se a válvula através do orifício próprio, na roda. O outro lado da roda enquanto mantém a válvula em posição é inserido. É preciso cuidado durante esta operação para não trincar a câmara entre as duas seções da roda. Encher, esvaziar e encher novamente com a pressão recomendada. Instala-se a porca ou porcas, apertando-as com segurança. Coloca-se a tampa da válvula, apertando com os dedos.

Desmontagem

Remove-se o núcleo da válvula, até esvaziar completamente a câmara de ar. Não se usa espátula (Pry bar), hastes de ferro ou qualquer outra ferramenta cortante para remover a borda do pneu, pois poderá danificar a roda. Descola-se a borda após afrouxar os parafusos para evitar danos nas superfícies que contenham inscrições.

Usa-se uma ferramenta de descolar somente para afrouxar o talão de ambas as partes dos flanges da roda, pela aplicação de pressão em volta de toda a circunferência de cada lado da roda.

Remove-se os parafusos e porcas de fixação da roda, e puxa-se ambas as metades da roda de dentro do pneu.

C - Rodas com depressão central e flange removível

Montagem

Com a câmara de ar totalmente vazia, a marca de balanceamento da câmara é alinhada com a marca de balanceamento do pneu. Começamos com o pneu sobre o flange formando um ângulo, tendo o cuidado de não danificar a válvula. Deve ocorrer a remoção da extensão da válvula ou ferramentas de fixação antes que a roda seja instalada.

Desmontagem

Os passos são os seguintes:

- Desinflar totalmente;
- Fazer uso total da roda, puxando sobre o flange no lado removível;
- Movimentar a roda para cima e para baixo para facilitar a saída do pneu; e
- Para uma desmontagem, por apenas um homem, o pneu pode ser apoiado em uma parede ou bancada, com o lado da válvula para fora.

D - Pneus de roda de bequilha de contorno liso

Nota: Pneus de contorno liso são normalmente duros para manusear devido às bordas endurecidas, pequenos espaços e reduzidos diâmetros.

Montagem

Infla-se a câmara o suficiente para arredondá-la, certificando-se de que durante toda a volta ela não trincará.

Em primeiro lugar, coloca-se o talão do pneu oposto à válvula sobre a borda da roda. Depois, esvazia-se a câmara.

O segundo talão é mantido na borda da roda para permitir a colocação da válvula no orifício próprio para ela.

Inflar, esvaziar, reinflar.

Desmontagem

- Usar somente ferramentas que permitam um bom braço de alavanca;
- Ter cuidado em não danificar o metal macio do flange do aro da roda;
- Após remover o anel de retenção, manter a câmara de ar inflada; e
- Manusear com cuidado a câmara de ar ao retirá-la, usando água como lubrificante antes de completar a desmontagem.

E - Rodas inteiriças com depressão central

Montagem

A roda no pneu é introduzida, invertendo a seqüência dos procedimentos (o lado que contém o orifício da válvula deverá entrar em primeiro lugar). Levanta-se o talão do pneu sobre o flange da roda em pequenos golpes, usando uma ferramenta adequada. Quando o primeiro talão estiver sobre a roda, a câmara é introduzida. Certificamo-nos de que nenhuma parte da câmara esteja preso sob o talão.

Inflar, esvaziar, reinflar.

Desmontagem

Após solto o talão, colocamos o pneu deitado sobre um pedaço de madeira de 3 a 4 polegadas de altura, apoiando a parte lateral da roda. Remove-se o outro talão em pequenos golpes.

F - Rodas de base plana, flange removível e com anel de travamento

Montagem

Examina-se a roda e os flanges cuidadosamente quanto a rebarbas ou mossas.

Alinha-se a câmara de ar com a marca de balanceamento do pneu. A câmara de ar é pulverizada com talco.

Encosta-se o pneu em uma bancada ou parede, com o flange para a parte externa. Examina-se o flange livre, cuidadosamente quanto a ligação.

Desmontagem

- Soltar o talão cuidadosamente;
- Usar um macete ou malho de borracha para soltar o anel lateral;

- Levantar o anel lateral uniformemente; e
- Colocar a roda e o pneu sobre um bloco de madeira de aproximadamente 14 polegadas de altura, com largura suficiente para apoiar o cubo da roda, para que possa ser removida mais facilmente.

CAUSAS DE PERDA DA PRESSÃO DO AR EM PNEUS SEM CÂMARA PARA AERONAVES

Existem numerosas causas para a perda da pressão do ar nos conjuntos de rodas e pneus de aeronaves, portanto, é mais econômico e sensato seguir uma sistemática lista de checagem.

Sem este procedimento, um mal julgamento ou erro na substituição de peças, pode, desnecessariamente, aumentar o custo da manutenção de pneus.

Por exemplo, reclamações sobre perda da pressão do ar, em conjuntos de pneus sem câmara para aeronaves, são mais comuns durante o tempo frio, porém, sem limitações em outros períodos.

Fatores que podem parecer estranhos ao problema (mudança do pessoal de manutenção do pneu, manômetros sem aferição, flutuações na temperatura do ar) são muitas vezes as causas fundamentais de serviços de pneus insatisfatórios, além disso, enfatizando a necessidade de simples procedimentos de checagem.

Como guia para direcionar os métodos de inspeção, existem áreas dos conjuntos de rodas e pneus, as quais podem ser envolvidas nas perdas de pressão de ar (ver a figura 9-59).

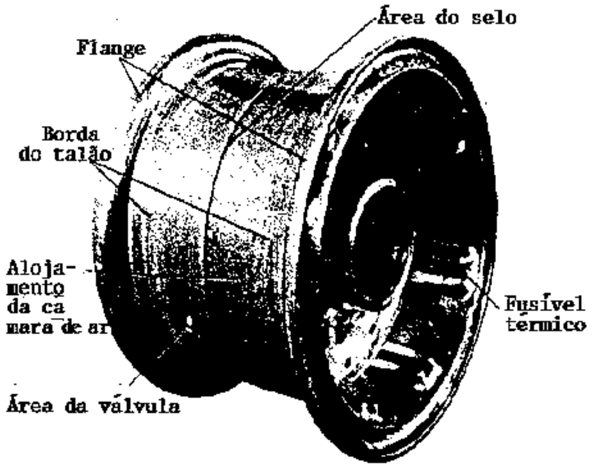


Figura 9-59 Perda de pressão de ar em roda bipartida.

TALÕES DANIFICADOS - Checar quanto a exposição da carcaça na área da unha do talão ou sob a face do talão.

ASSENTAMENTO IMPRÓPRIO DOS TALÕES - A condição pode ser causada por: (a) insuficiente pressão de ar; (b) talões não lubrificados; (c) talões torcidos ou com pregas.

CORTES OU FUROS - Checar inteiramente quanto a cortes e furos através da carcaça e camada interna.

Temperatura do ar

Se o pneu for inflado em um ambiente aquecido e, depois estocado do lado de fora, a pressão cairá aproximadamente 1 p.s.i para cada 4º de queda da temperatura.

Os pneus deverão ser checados e a pressão ajustada para as especificações requeridas, quando os pneus tiverem atingindo a temperatura ambiente externa.

Ventilação dos pneus sem câmara

Os pneus sem câmara para aeronaves são ventilados na área da parede lateral, para permitir que algum ar que tenha sido acumulado entre a camada interna e a carcaça possa escapar, evitando assim, que um aumento de pressão dentro da carcaça e banda de rodagem causem uma separação.

A razão de difusão desse ar, varia de acordo com o fabricante. A máxima permissível é de 5% em um período de 24 horas.

Os orifícios de ventilação penetram na borracha da parede lateral, para dentro ou para fora da carcaça, podendo variar em tamanho, profundidade e ângulo. Portanto, a quantidade de ar ventilado através desses orifícios pode variar também. Então, quando água ou uma solução de água com sabão for colocada sobre a parte externa de um pneu sem câmara inflado, bolhas de ar serão formadas.

Alguns orifícios poderão emitir uma contínua seqüência de bolhas, enquanto outros poderão fazê-lo de forma intermitente. Isto é normal e não deve ser considerado como defeito do pneu. De fato, tão logo um pneu sem câmara seja inflado, o ar estará saindo por esses orifícios de ventilação. Onde a razão da perda exceder os 5 porcento em 24 horas, deverá ser feita uma verificação por possíveis danos. Os orifícios de ventilação podem ser cobertos ou fechados com solvente ou pintura do pneu. Eles podem ser cobertos também durante o processo de recauchutagem.

Deve-se checar se a ventilação foi refeita, após o pneu ter sido recauchutado.

Período inicial de dilatação

Todos os pneus de aeronaves são construídos de "nylon", e uma certa quantidade de dilatação ocorre depois que o pneu for inflado. Isto, por si só, reduzirá a pressão do ar dentro do pneu.

É absolutamente necessário que o pneu seja inflado para a sua pressão regular e mantido por, no mínimo, 12 horas, para permitir a dilatação da carcaça. Isto poderá resultar em uma queda de 10% da pressão do ar. Somente após este período de dilatação inicial, poderá ser determinada a verdadeira pressão interna do pneu.

A RODA

Algumas das seguintes condições da roda podem contribuir para a perda de ar na área do talão do pneu:

Rachaduras ou arranhões no bordo do talão ou área do flange - Rachaduras podem usualmente ser causadas por fadiga do material, enquanto arranhões ou mossas são o resultado de danos por manuseio ou uso inadequado das ferramentas de remoção de pneus.

Superfície extremamente lisa da borda de assentamento do talão

Corrosão ou desgaste na área da borda do talão - Usualmente ocorre na área da unha do talão do pneu.

Mau assentamento na área do talão - Pode ser causado pelo acúmulo de borracha do pneu ou por sujeira.

Serrilhado - As rodas convertidas do tipo de pneu com câmara deverão ter o serrilhado removido.

Conjuntos de rodas porosas - Podem ser protegidos tanto pelo procedimento de pintura adequada, como por um processo de impregnação.

Orifícios para fixação de componentes do conjunto da roda. - No caso de parafusos usados para fixar itens como aletas para conjunto de freios, etc., os parafusos de montagem devem ser devidamente selados. As recomendações do fabricante deverão ser seguidas.

Rachaduras na área do alojamento da roda, na maioria dos casos, não podem ser reparadas.

Vedação das superfícies

Examina-se quanto a danos ou defeitos de serviços de máquina, nas superfícies de junção. Cuidados devem ser tomados na verificação de danos causados pelo manuseio.

Qualquer irregularidade deverá ser corrigida antes da remontagem da roda e do pneu (ver a figura 9-60).

Material estranho ou tinta podem enfraquecer a superfície de selagem. Sendo assim, todo material estranho deverá ser removido da superfície a ser selada, antes da montagem da roda.

Uma camada fina e uniforme de tinta base é permissível. Porém, a superfície deverá estar livre de imperfeições ou sujeira sob a tinta.

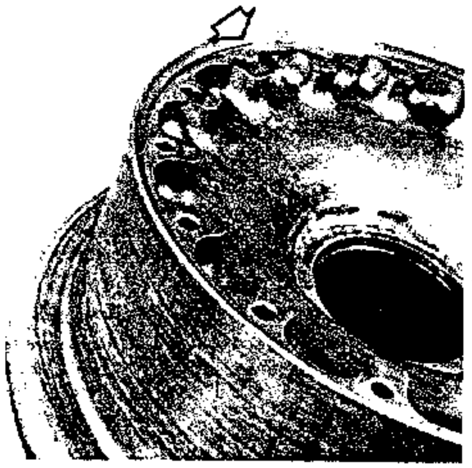


Figura 9-60 Inspeção da roda.

Instalação incorreta de vedadores ("O"rings)

Vedadores torcidos ou com falhas de prover lubrificação, quando especificados, podem causar perda do ar.

Vedadores de seção circular ("O"rings), de medida ou tipo inadequados, ou ainda erroneamente de material especialmente para baixa temperatura, poderão causar vazamentos.

Inspeciona-se cuidadosamente o anel de vedação. Ele não deve estar adelgaçado, cortado, deformado, danificado ou então deteriorado.

Parafusos de união

O torque apropriado e os procedimentos de aperto, como especificados pelo fabricante da roda, deverão ser seguidos para assegurar adequada compressão do vedador sob todas as condições de temperatura.

Torque baixo, temperatura baixa, e contração das metades da roda, podem causar uma significativa perda de compressão no anel de vedação de seção circular.

Orifícios da válvula das rodas para pneus sem câmara

Os orifícios e as áreas ao redor devem estar livres de arranhões, sulcos ou material estranho.

A adequada junta de borracha, ou vedador de seção circular, devem ser usados como especificado pelo fabricante da roda.

Selos que não sejam os especificados, podem não funcionar adequadamente quando submetidos a cargas de compressão e baixa temperatura, como requerido para uma boa vedação. O aperto da válvula de pneus sem câmara deverá seguir as específicas instruções do fabricante da roda. O miolo da válvula deverá ser checado e substituído quando estiver vazando; e as tampas das válvulas deverão ser usadas e apertadas com os dedos.

Instalação do fusível térmico

Uma falha do fusível térmico pode causar vazamento e requerer substituição. Normalmente, este é o resultado da falta de ligação entre o material de fusão térmica e o corpo do parafuso.

As superfícies seladas pela gaxeta fusível devem estar limpas e livres de arranhões e sujeira. Em alguns casos, as superfícies podem ser reparadas de acordo com as instruções do fabricante.

Assegura-se de que a gaxeta de vedação é especificada pelo fabricante da roda, da medida e do material específico para aquela função. A gaxeta deverá estar livre de torção, cortes, etc.

Para a prevenção contra a perda de pressão de ar antes da montagem, o mais seguro é uma cuidadosa e completa inspeção. Após a montagem, se ocorrer uma perda de ar, o uso de uma solução de sabão (ou, se possível, uma completa imersão do conjunto roda-pneu) pode indicar o ponto exato da fonte do vazamento.

Prática para boa indicação de pressão

Frequentemente, as diferenças de pressão de ar encontradas são inteiramente devido a falta de precisão em diferentes instrumentos, do que em variações da pressão de ar.

Não é difícil encontrar um instrumento inexato, em uso constante, com uma etiqueta indicando que a leitura tem um certo número de libras a mais ou menos. Infelizmente, este erro mudará as diferentes pressões que estão sendo checadas.

Um manômetro de pneu indicando 10 libras a mais em 80 libras de pressão poderá, muito bem, indicar 25 libras a mais a 150 libras de pressão. Portanto, medidores incorretos para pneus deverão ser reparados ou substituídos. Eles não deverão ser mantidos em serviço.

Temperaturas baixas podem afetar os manômetros para pneus e causar leituras de pressão abaixo das que existem realmente. Ocasionalmente, também, um manômetro pode ser erroneamente tratado com óleo ou algum outro lubrificante, na expectativa de que funcione melhor. Isto certamente causará leituras incorretas, e provavelmente tornará o manômetro impróprio para posteriores serviços. É de boa prática recalibrar periodicamente os instrumentos e usar o mesmo manômetro para a execução de ciclos de inflação de pneus - para o original período de tempo de 12 ou de 24 horas.

Os manômetros, do tipo mostrador, de boa qualidade, são altamente recomendados para todas as instalações de manutenção de pneus - independentemente do tamanho.

ESTOCAGEM DE PNEUS E CÂMARAS DE AR PARA AERONAVES

A localização ideal para pneus e câmaras de ar serem estocados é um ambiente frio, seco e razoavelmente escuro, livre de correntes de ar e de sujeira. Enquanto baixas temperaturas (não abaixo de 0ºC, ou 32ºF) não são prejudiciais, altas temperaturas (23ºC, ou 80ºF) são danosas e deverão ser evitadas.

Evitar umidade e ozônio

As condições úmidas ou molhadas tem um efeito de fermentação e podem até mesmo danificar, quando a umidade contém elementos estranhos que são danosos para a borracha e o tecido com cordonéis.

Correntes de ar forte devem ser evitadas, antes que aumentem a quantidade de oxigênio e por carregar, frequentemente, bastante ozônio, causando o envelhecimento da borracha.

Também cuidados particulares devem ser tomados na estocagem dos pneus, longe dos motores elétricos, carregadores de baterias, equipamentos de solda elétrica, geradores elétricos e equipamentos similares que criam ozônio.

Perigos dos combustíveis e solventes

Deve ser tomado cuidado com pneus para não terem contato com óleo, gasolina, querosene, fluídos hidráulicos ou outro tipo de solvente de borracha que, antes de tudo, são inimigos naturais e causam a desintegração rapidamente.

Um especial cuidado está em não colocar os pneus em pisos que estejam sujos de óleo e/ou graxa.

Quando trabalhando em motores ou trem de pouso, os pneus devem ser cobertos para que não pingue óleo sobre eles.

Estocagem no escuro

A sala de estocagem deve ser escura ou pelo menos livre da iluminação direta do sol. Deve ser dada às janelas uma cobertura de tinta azul ou cobertura com plástico preto para prevenir a difusão de luz durante o dia. O plástico preto é preferido porque mantém a temperatura baixa na sala durante os meses quentes, e permite que os pneus sejam estocados com as janelas fechadas.

Suportes sugeridos para pneu

Sempre que possível, os pneus devem ser estocados em suportes regulares, que os mantenham na vertical. A superfície do suporte contra qual o peso do pneu incida, deve ser plana, se possível com 3 a 4 polegadas de largura, de modo que não sejam causados defeitos permanentes.

Tamanho	Pneu s/câmara	Pneu c/câmara
26 x 6	5	6
33”	4	5
36”	4	5
44”	4	5
47”	3	4
56” SC e maior	3	4
12.50-16	4	5
15.00-16	3	4
17.00-16	3	4
15.50-20	3	4
17.00-20	3	4
Pneus sem câmaras de tamanho menores podem ser estocados até a altura de cinco quantidades, isto inclui tamanhos até 39 x 13. Tamanhos maiores de pneus sem câmaras não devem ser estocados em quantidade superiores a quatro.		

Figura 9-61 Estocagem permitida para pneus.

Se os pneus são empilhados um sobre o outro, não se deve estocá-los muito alto, porque causará defeitos, principalmente com pneus sem câmara, como aqueles que ficam no fundo da pilha e que podem ter os talões amassados.

Uma ferramenta de assentamento de talão terá que ser usada para forçar o talão do pneu para cima da roda, e longe o bastante para reter a pressão do ar.

Estocagem de segurança de câmaras

Câmaras devem ser sempre estocadas em suas embalagens originais, tanto que elas são protegidas da luz e corrente de ar. Elas nunca devem ser estocadas em caixas grandes ou prateleiras sem serem embrulhadas, preferencialmente em várias camadas de papel.

As câmaras também podem ser estocadas dentro do pneu, inflando-as levemente até que tomem o formato dos mesmos. Está claro que devem ser feitas medições temporárias. Entretanto, antes do uso de tal conjunto, a câmara deve ser removida do pneu e o interior desse cuidadosamente inspecionado, já que frequentemente materiais estranhos se alojam entre os dois e, se não forem removidos, podem causar danos irreparáveis a ambos, pneu e câmara.

Em hipótese nenhuma as câmaras devem ser penduradas em pregos ou pregadores, ou sobre qualquer objeto que possa deformá-los. Uma eventual deformação pode causar rachaduras na câmara.

REPAROS DE PNEUS E CÂMARAS

Muitos pneus e câmaras de ar de aeronaves, que tiveram danos durante o serviço podem ser reparados satisfatoriamente. Da mesma forma, os pneus de aeronaves muito usados em serviços ou deformados e removidos prematuramente, podem ser recauchutados, de modo que uma nova banda de rodagem dê uma condição de serviço semelhante à banda de rodagem original.

A recauchutagem e reparo de pneus de aeronaves têm sido praticada durante muitos anos, fazendo com que os operadores das aeronaves economizem consideradas somas em dinheiro. Os pneus que foram descartados, são recondicionados com segurança (repetidas vezes) para continuar em serviço.

Recauchutagem de pneus de aeronaves

Recauchutagem é uma expressão geral em que o significado é o recondicionamento de um pneu pela restauração da banda de rodagem ou restauração de uma ou ambas as laterais (ver figura 9-62). Há atualmente quatro diferentes tipos de recauchutagem de pneus de aeronaves.

Cobertura superior (Top Capping) - Para os pneus gastos até a parte de baixo do desenho da banda de rodagem, não com muita deformação e/ou ambos desgastados, a velha banda de rodagem está áspera, uma nova banda deve ser aplicada.

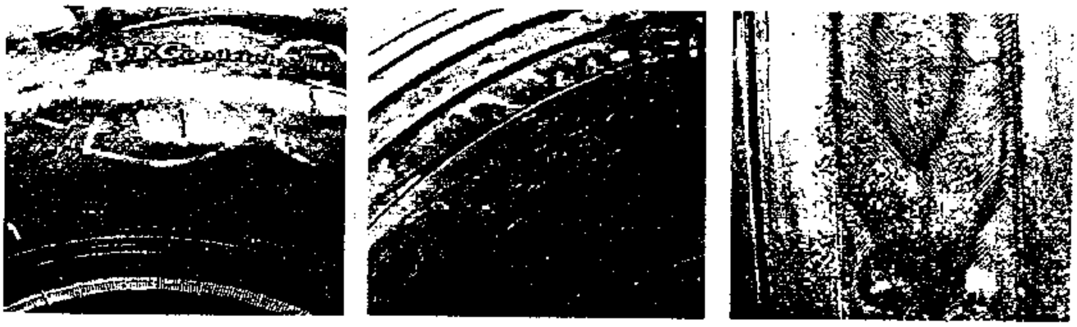
Cobertura Total (Full Capping) - Para os pneus gastos em toda a sua volta, aqueles com deformações até os cordonéis ou aqueles com numerosos cortes na área da banda de rodagem, o novo material da rodagem é mais largo do que aquele usado na cobertura superior (*TOPCAP*), e desce algumas polegadas sobre o ombro (*SHOULDER*) do pneu.

Recauchutagem três-quartos (Three - Quarter Retread) - Para pneus precisando de uma nova rodagem e mais a restauração da borracha de uma das laterais, devido a danos ou desgaste por tempo, uma capa total é aplicada e em adição, aproximadamente 1/16” de espessura da borracha da lateral velha é lixada, uma nova borracha é então aplicada no talão até a borda da nova rodagem, do único lado lixado.

Recauchutagem talão a talão (Bead to bead retread) - Uma nova rodagem em ambas laterais são aplicadas por este método.

Pneus que podem ser recauchutados

Pneus que têm o corpo de cordonéis e os talões em bom estado ou que se encontram com as limitações descritas como “Pneus reparáveis de aeronaves”.



A - Cordonéis do costado danificados além do permitido para reparo.

B - Cordonéis do costado "OK" para recauchutagem.

C - Gasto apenas por freiagem. "OK" para recauchutagem.

Figura 9-62 danos Operacionais.

Pneus com desgaste de 80% ou mais de profundidade total de sua rodagem. Pneus com um ou mais marcas de achatamento, severas o bastante para causar uma condição de desbalanceamento, sem se importar com a porcentagem de uso. Existem pneus que com alguns poucos cortes na rodagem, tornam o seu reparo antieconômico.

Pneus não recauchutáveis

Existem danos de pneus que os tornam irrecuperáveis. Pneus com seis lonas ou mais, apresentando muito uso, atingindo mais do que um corpo de lona. (Geralmente não é considerado econômico recauchutar pneus de aeronaves de 4 e 6 lonas.) Pneus com desgaste pelo tempo ou rachaduras causadas pelo ozônio, na rodagem ou laterais que exponha os cordonéis.

Pneus reparáveis de aeronaves

Quando considerando um pneu somente para reparos, a quantidade de tempo que ele permaneceu em serviço é importante. Alguns pneus com pelo menos 30% de permanência de vida de rodagem, normalmente será considerado como tendo deixado o serviço somente para garantia de reparos.

Pneus não reparáveis de aeronaves

As seguintes condições desqualificam um pneu para reparos.

Alguns danos nos talões ou dentro da área dos talões (exceto danos limitados a cobertura do talão ou no final da tira como previamente mencionado em pneus reparáveis de aeronaves).

Alguns pneus com o fio do talão saliente ou pessimamente enrugado.

Alguns pneus que apresentam evidências de reparos de lonas ou rodagem.

Alguns pneus com rachaduras ou cordonéis do lado de fora da lateral ou na área dos ombros. Pneus que tenham tido achatamento total ou parcial, devido ao derretimento ou falha do dispositivo sensor da roda, devem ser descartados, até mesmo se não houver evidências visíveis de danos no interior ou exterior dos pneus.

A única exceção, é quando se tem certeza de que o vazamento do ar foi causado por um defeito do fusível.

Reparos parciais

Quando for considerado econômico, os reparos parciais podem ser feitos, tomando cuidado com danos tais como cortes, protuberâncias etc., os quais não devem ter mais do que 25% do real corpo de lonas do pneu, e não acima de 2 polegadas de comprimento na superfície. Reparos parciais vulcanizados são também feitos, as vezes, para encher o friso da banda de rodagem, que não seja mais fundo do que a borracha da banda de rodagem e não penetre no corpo dos cordonéis.

Pneus de baixa velocidade (abaixo de 160 m.p.h.), com danos na rodagem que penetram não mais do que 25% do real corpo de lonas (faixa estreita de freiada não incluída) e tenham no máximo 2 polegadas de comprimento na superfície, podem ser reparados.

Se um dano penetrar além dos 25% do real corpo de lonas, pode ainda assim ser reparado, porém o comprimento do dano na superfície não deve ter mais do que 1 polegada.

Danos através do corpo de cordonéis na área de rodagem, medindo 1/8" ou menos, do ponto mais distante, são considerados perfurações e são facilmente reparados.

Cortes rasos na borracha das laterais e ombros, somente são reparáveis se os cordonéis estiverem expostos, porém não danificados.

Pneus com menores danos através da faixa de acabamento, ou danos superficiais causados por ferramentas em geral, na área do talão, são reparáveis se o dano não se estender até as lonas do pneu, e a certeza de que não há sinais de reparação na área do talão.

Se a faixa de acabamento estiver perdida ou com bolhas, elas somente podem ser trocadas pela recauchutagem de talão-a-talão (bead-to-bead). Bolhas no revestimento, menores do que 4" x 8", podem ser reparadas se não houver mais do que duas em um quarto da seção do pneu, e não mais do que cinco no pneu completo. Normalmente, é mais econômico fazer este reparo durante a recauchutagem do pneu.

É considerado antieconômico reparar pneus de aeronaves dos tipos 4 e 6 lonas.

INFORMAÇÕES SOBRE MANUSEIO E OPERAÇÕES

Taxiando

É desnecessário dizer que danos no pneu ou uso excessivo devem ser evitados por um maior cuidado com a aeronave durante o táxi.

A maior parte do peso de uma aeronave fica nas rodas do trem de pouso, nos dois, quatro, oito ou mais pneus.

Os pneus são projetados e inflados para absorver impactos no pouso e deflexionar (ficar bojudo sobre as laterais) cerca de duas vezes e meia a mais do que os pneus de um carro ou os de um caminhão.

A grande deflexão causa mais trabalho na rodagem, produzindo uma ação de arrasto externo dos joelhos da rodagem, resultando um desgaste mais rápido.

Também, se um pneu de aeronave bater em um buraco, pedra ou algum objeto estranho jogado nas pistas de pouso ou de táxi, ou ainda no pátio de estacionamento, haverá maior possibilidade de serem cortados, furados ou danificados devido à porcentagem de deflexão.

Uma das rodas do trem de pouso, quando girando em uma curva, pode sair da superfície pavimentada causando sérios danos nas laterais ou nos ombros do pneu. Alguns tipos de danos podem também ocorrer, quando as rodas rolam de volta sobre a borda da superfície pavimentada.

Com rodas duplas, no trem de pouso principal, um pneu pode ser forçado a tomar um impacto danoso (o que é previsto aos dois suportarem sem danos), simplesmente devido a todo o peso em um dos lados da aeronave estar concentrado em um pneu, ao invés de ser dividido entre os dois.

Com o crescimento dos aeroportos no tamanho e nas pistas de táxi; aumentam as chances de danos no pneu e desgastes mais rápidos. Pistas de táxi não devem ser maiores do que o necessário e deve ser feitas para velocidades não superiores a 25 m.p.h., particularmente para aeronaves não equipadas com roda de trem do nariz.

Para reduzir os pequenos danos durante o táxi, todas as pessoas devem inspecionar os pátios de estacionamento, rampas, pistas de táxi e de rolagem. Ou seja, todas as áreas pavimentadas, regularmente, quanto a limpeza e remoção de objetos estranhos (FOD) que possam causar danos nos pneus.

Freiando e girando

Com o aumento do tráfego nos aeroportos, longos taxiamentos, decolagens e pousos sujeitam os pneus a um maior calor resultante de freiadas, rolagens e giros.

O uso severo dos freios pode desgastar pontos específicos dos pneus e fazer com que eles fiquem fora de balanceamento, o que vai causar um recapeamento ou a necessidade prematura de troca.

Aplicação severa ou prolongada dos freios pode ser evitada quando a velocidade no solo for reduzida.

Realização de curvas de forma cuidadosa também ajuda a prolongar a vida dos pneus. Se uma aeronave fizer uma curva como um automóvel ou um caminhão faz, em um raio bem maior, o desgaste na banda de rodagem será materialmente reduzido. Entretanto, quando uma aeronave faz uma curva travando uma roda (ou rodas), o pneu na roda travada é torcido com mais força contra o pavimento.

Um pequeno pedaço de pedra ou rocha que normalmente são causaria nenhum dano, pode, nesse caso, ser literalmente aparafusado no pneu. Este arrasto ou ação de desgaste tira borracha da banda de rodagem e coloca uma tensão muito severa nas paredes laterais do pneu.

Para manter esta ação mínima, é recomendável que sempre que uma curva seja feita, à(s) roda(s) da parte interna seja permitido que rolem num raio de 20 a 25 pés; e até 40 pés para aeronaves com mais de uma roda no trem de pouso.

Decolagem e pouso

Os conjuntos de pneus de aeronaves estão sempre sob tensão nas decolagens ou pousos. Mas nas condições normais, com o controle próprio e manutenção dos pneus, eles podem suportar muito mais tensões sem sofrer danos.

Os danos de pneus na decolagem, até o ponto da aeronave estar no ar, é geralmente o resultado de atropelar algum objeto estranho. Pontos chatos ou cortes podem também ser causados pelos danos durante a decolagem ou pouso.

Dano dos pneus na hora do pouso pode ser ocasionado por erro de julgamento ou circunstâncias imprevisíveis.

Pousos suaves resultam em menor desgaste e eliminam o excesso de tensões nos pneus no momento do impacto.

Pousos com freios travados são coisas do passado, mas podem resultar em pontos chatos. No pneu a remoção para recapeamento ou trocas é na maioria das vezes indicada. A utilização dos freios nos pousos sempre causa um aquecimento severo no ponto de contato da banda de rodagem, e pode até derreter a borracha da banda de rodagem (queima de derrapagem). O calor tem a tendência de enfraquecer as cintas dos pneus e colocar tensões severas na banda de rodagem. Além disso, o grande aumento de calor nos freios, pode literalmente desvulcanizar o pneu na área de rolagem. Nessas circunstâncias, estouros não são incomuns porque o ar sob compressão deve se expandir.

Quando aquecido em aeronaves equipadas com bequilhas, com pousos em dois pontos, é bem mais suave do que um pouso em três pontos, mas comumente é feito em velocidades consideravelmente maiores. Como resultado, mais freio deve ser requerido para trazer a aeronave para o repouso.

Se os pneus derraparem numa pista de alta velocidade, a ação é similar a de um pneu sendo encostado a uma pedra de esmeril em alta rotação. Algumas vezes, a aeronave vem para o pouso com tanta velocidade que a vantagem do comprimento da pista não pode ser aproveitada, e os freios devem ser aplicados tão severamente que alguns pontos chatos serão produzidos no pneu.

Se os freios forem aplicados quando a aeronave ainda estiver em alta velocidade, e exista algum esforço considerável, os pneus podem derrapar na pista ficando danificados além do limite de recuperação ou recondicionamento. A mesma coisa pode ocorrer durante um pouso brusco, se os freios forem aplicados após o primeiro toque. Para o máximo serviço do pneu, a aplicação dos freios é atrasadas, até que a aeronave esteja definitivamente apoiada na pista na sua rolagem final.

A maioria dos pneus falham na decolagem e não no pouso, e tais falhas na decolagem podem ser bastante perigosas. Por essa razão, a ênfase deverá ser colocada nas inspeções de pré-vôo com relação a rodas e pneus.

Condição da pista de pouso

Além da manutenção preventiva, e o extremo cuidado que é tomado pelos pilotos e pela tripulação de terra no manuseio da aeronave, o dano aos pneus é quase sempre o resultado da pista de pouso, pista de táxi, rampas e outras superfícies pavimentadas que estejam em más condições ou sem manutenção.

Buracos, trincas no pavimento ou degraus nessas áreas, tudo isso pode causar danos aos pneus. Em climas frios, especialmente durante o inverno, todas as trincas na pavimentação devem ser reparadas imediatamente.

Outra condição perigosa que é muitas vezes deixada de lado, é o acúmulo de material na superfície pavimentada, e o chão do hangar. Pedras e outros objetos devem ser afastados dessas áreas pavimentadas. Além disso, ferramentas, parafusos, rebites, e outros materiais de reparos, algumas vezes são deixados dentro ou em cima da aeronave, e quando a aeronave é movida , esses materiais caem no chão.

Esses objetos que são pegos pelo pneu de outra aeronave podem causar furos, cortes, ou falha completa do pneu, câmara e mesmo da roda. Em aeronave a jato, ainda é mais importante que esse material estranho seja mantido fora das áreas utilizadas pela aeronave.

Hidroplanagem

Essa é uma condição, na qual em pistas molhadas, uma onda de água pode se formar a frente dos pneus que estão rodando e, quando são sobrepujados, os pneus não mais entrarão em contato com a pista. Isso resulta numa falha completa de direção e de ação de freio.

A hidroplanagem pode também ser um fino filme de água misturado com os contaminantes presentes. (Veja a figura 9-63).

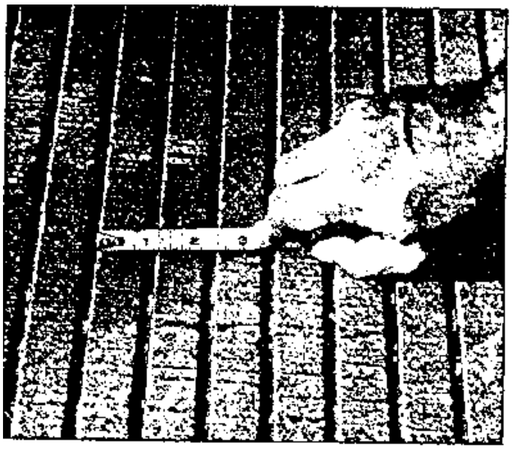


Figura 9-63 Pistas com sulcos cruzados reduzem o perigo de hidroplanagem.

Alguns sulcos cruzados nas pistas foram feitos em alguns aeroportos de grande porte e reduziram bastante o perigo da hidroplanagem. Entretanto, sulcos no concreto criados por esses cortes cruzados podem causar o corte tipo V nas nervuras da banda de rodagem, particularmente onde altas pressões de ar são utilizadas como nas aeronaves a jato.

Esses cortes são em ângulos retos em relação as nervuras e raramente penetram na cinta de reforço. Tais danos não serão considerados causas para remoção do pneu, a não ser que a lona esteja exposta devido a um pedaço da banda de rodagem ter sido arrancado.

REPAROS DE CÂMARAS DE AR

A maioria dos reparos de câmara, são necessários por causa das válvulas terem se quebrado ou danificado. Entretanto, ocasionalmente, uma câmara pode ser cortada, furada ou danificada pelas ferramentas, no manuseio do pneu durante a montagem ou desmontagem.

Danos maiores que uma polegada podem ser reparados utilizando um remendo dentro da própria câmara. Esse remendo deve ser do mesmo material que é usado para reparar a câmara na parte externa. Um dano menor que uma polegada não necessita de um remendo. Desgaste causado pelo roçamento da câmara no próprio pneu, ou afinamento da câmara devido ao calor ou outras causas, são motivos para o imediato sucateamento da câmara.

Existem três tipos gerais de válvulas usadas nas câmaras de ar das aeronaves:

1- A válvula de borracha que tem uma haste e uma base de borracha vulcanizada na superfície da parte interna da câmara. Essa válvula é similar aquelas usadas nas câmaras internas nos carros de transporte de passageiros. A troca dessa válvula pode ser feita por qualquer posto de gasolina ou garagem, desde que eles tenham a válvula correta para a troca.

2- A válvula de metal com base de borracha. Essas são facilmente reconhecíveis, uma vez que a base de borracha é similar àquela usada na válvula que é feita completamente de borracha, já descrita anteriormente. Geralmente, a troca é feita pelo mesmo método, mas é absolutamente necessário que na troca a válvula substituta tenha as mesmas dimensões que a substituta tenha as mesmas dimensões que a original.

3- Uma válvula de metal com uma base reforçada de borracha e tecido. A base pode ser vulcanizada na parte superior da câmara, ou ela poderá ser vulcanizada dentro da câmara. A válvula de metal pode ser dobrada para o ângulo próprio ou outros ângulos. O reparo deste tipo de câmara é mais difícil porque é necessário trocar o enchimento da válvula.

Pessoal experiente e equipamento especial são necessários para efetuar a cura adequada do enchimento da válvula a ser trocada dentro da câmara. Válvulas tipo reparável também estão disponíveis para as válvulas mencionadas nos itens 2 e 3, já citados. Essas se aplicam cortando-se a válvula original e aparafusando-se uma válvula reparo no enchimento da válvula original. As instruções, fornecidas pelo fabricante dessas válvulas de reparo, deverão ser seguidas.

PNEUS COM INFLAÇÃO LATERAL

Alguns pneus de aeronaves pequenas são fabricados com uma válvula na própria parede lateral, eliminando, assim, a necessidade de usinar a roda para se utilizar a válvula do tipo convencional (Figura 9-64). O enchimento do pneu, como também a verificação da pressão de ar, é executado inserindo-se uma agulha através da válvula, na parte lateral do pneu, similar àquelas utilizadas em bolas de futebol e outros tipos de bolas que usam os mesmos métodos de enchimento.

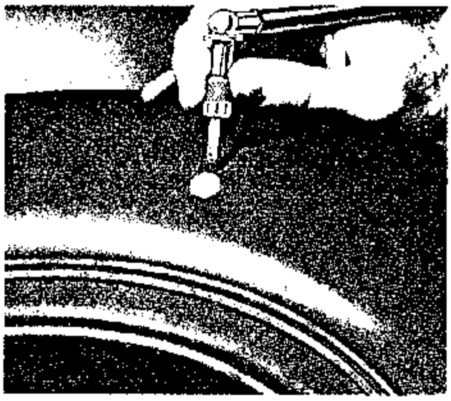
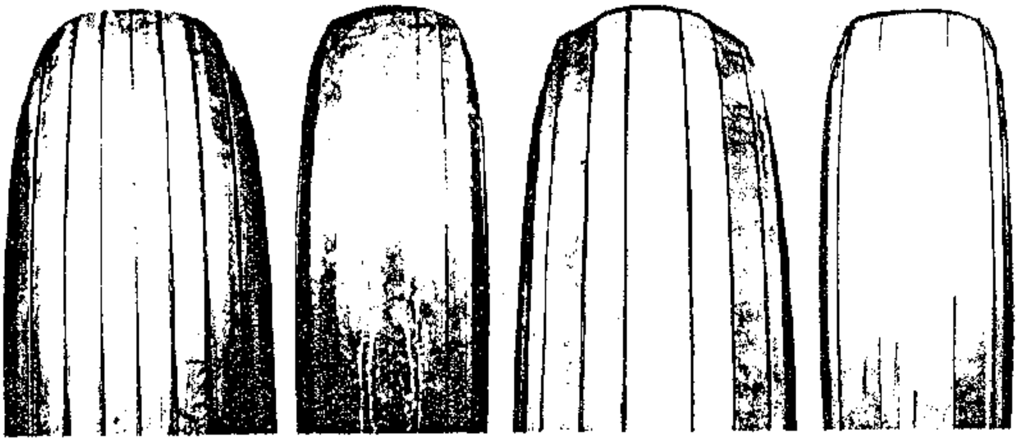


Figura 9-64 Pneu com inflação lateral.

Deve-se tomar cuidado com essas agulhas, se danificadas elas podem atingir a válvula, resultando em perda de ar, particularmente quando esse pneu estiver com carga.

A troca dessa válvula é fácil. O único equipamento necessário é uma faca ou uma tesoura para cortar a válvula antiga dentro do pneu, e um pedaço de barbante para inserir a válvula a ser trocada. É também possível trocar essas válvulas sem remover o pneu da roda.



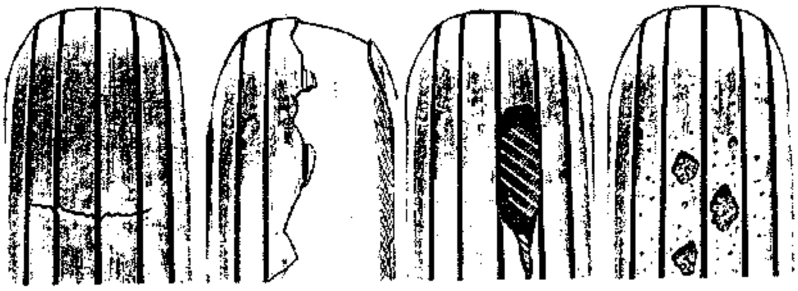
A - Corretamente usado

B - Desgastado

C - Pressão deficiente

D - Pressão demasiada

Figura 9-65 A Danos comuns em pneus - desgaste da banda de rodagem.

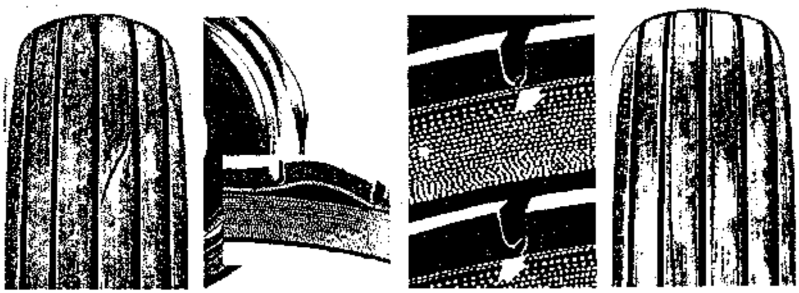


A - Banda de rodagem aberta

B - Perda de rodagem

C - Raia cortada

D - Danos na banda de rodagem

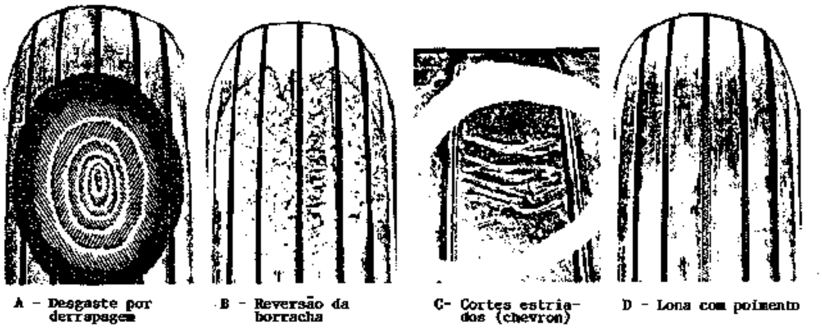


A- Cortes

B - Separação da banda e formação de bolhas

C - Sulcos trincados ou cortes nas nervuras

D - Descamação e rebarbas



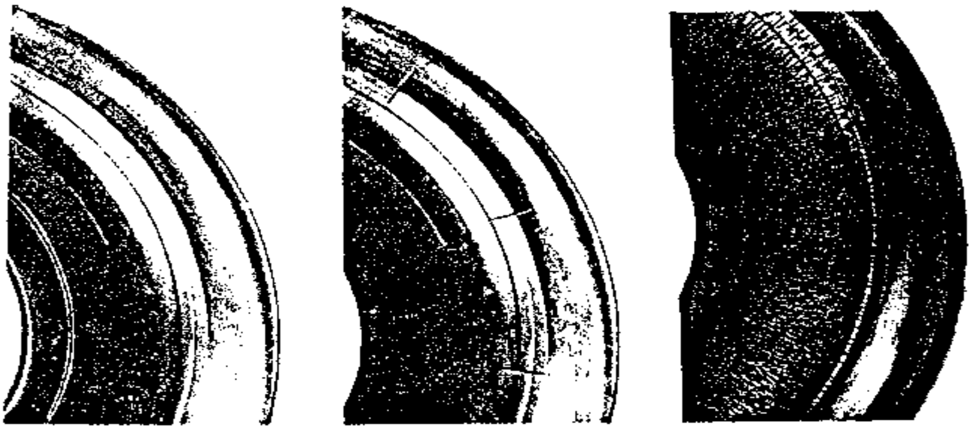
A - Desgaste por derrapagem

B - Reversão da borracha

C- Cortes estriados (chevron)

D - Lona com polimento

Figura 9-65B Danos comuns em pneus - avarias na banda de rodagem.

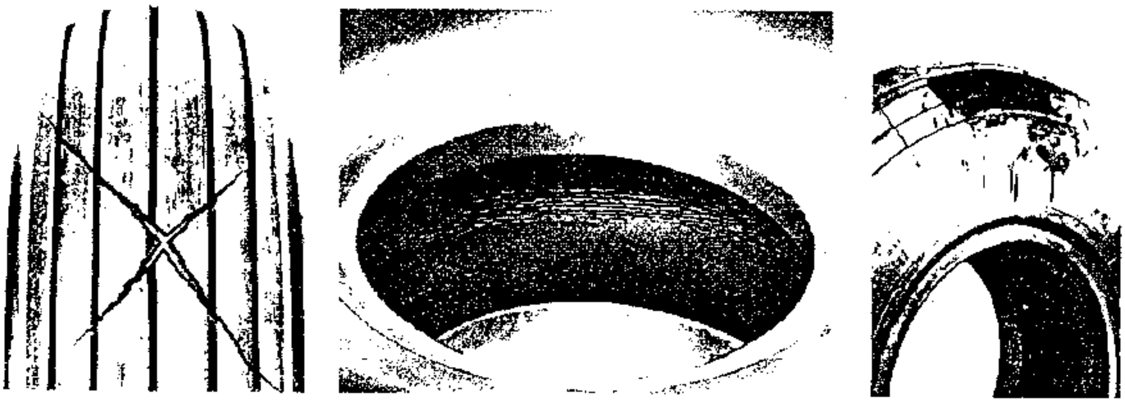


A - Trincas circunferenciais

B - Trincas radiais

C - Comprovação de tempo

Figura 9-65 C Danos comuns em pneus - avarias no costado.

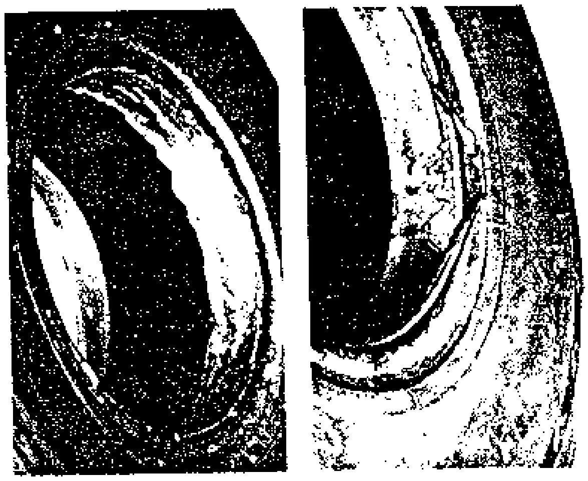


A - Rompimento por impacto

B - Desgaste da camada interna

C - Contaminação

Figura 9-65 D Danos comuns em pneus - avarias na carcaça.



A - Efeitos do calor do freio

B - Fadiga causada pelo atrito

Figura 9-65 E Danos comuns em pneus - avarias no talão.

RESUMO DA INSPEÇÃO DE PNEUS

Os pneus em serviço devem ser inspecionados regularmente quanto ao excesso de desgaste e outras condições que possam torná-los inseguros. Isso vai reduzir notadamente os custos, e pode evitar acidentes sérios. A figura 9-65 mostra os casos mais comuns de desgaste e danos em pneus.

SISTEMA DE ANTIDERRAPAGEM

A finalidade do freio da roda é parar rapidamente a aeronave, durante o movimento de rolagem sobre o solo. Isto se faz, pela troca da energia do movimento, em energia térmica, através da fricção desenvolvida pelos freios.

Uma forma encontrada nas altas performances do sistema de freios da aeronave é controlar a derrapagem, ou proteção contra ela.

Este é um sistema importante porque se uma roda derrapar, o seu valor de frenagem é grandemente reduzido.

O sistema de controle da derrapagem executa quatro funções: (1) Controle normal de derrapagem, (2) Controle de travamento da roda, (3) proteção no toque com o solo, e (4) proteção contra falhas. Os principais componentes do sistema consistem em dois geradores de controle de derrapagem, uma caixa de controle, duas válvulas de controle, um interruptor, uma lâmpada de alarme e um controle elétrico, com cablagens e conexão para a chave “SQUAT”.

Controle de derrapagem normal

O controle de derrapagem normal inicia-se quando a rotação da roda diminui lentamente, mas não chega a parar.

Quando esta lenta diminuição acontece, uma ação de deslizamento tem início, mas não atinge uma alta escala de derrapagem. Nessa situação, a válvula de controle remove alguma pressão hidráulica da roda. Isto permite que a roda gire um pouco rápido e pare o seu deslizamento.

Em uma derrapagem mais intensa, maior pressão do freio é removida. A detecção e o controle de derrapagem de cada roda é completamente independente das demais. A intensidade da derrapagem da roda é medida pela quantidade de queda de giros.

Gerador do controle de derrapagem

O gerador de controle de derrapagem é a unidade que mede a velocidade de rotação da roda. Ele sente também qualquer mudança de velocidade.

Ele é um pequeno gerador eletrônico, um para cada roda, montado no eixo. A armadura do gerador está acoplada e sendo conduzida pela roda principal, através do captador de rotação na roda. Quando ela gira, o gerador desenvolve um sinal de corrente e voltagem.

A intensidade do sinal indica a rotação da roda. Este sinal está alimentando a caixa de controle através das cablagens.

Caixa de controle de derrapagem

A caixa lê o sinal vindo do gerador e sente a mudança da intensidade do sinal. Ela pode interpretar este sinal, como derrapagem em desenvolvimento, travamento das rodas, aplicação e liberação dos freios. Ela analisa tudo, de forma a enviar os sinais apropriados para os solenóides nas válvulas de controle de derrapagem.

Válvulas de controle de derrapagem

As duas válvulas de derrapagem montadas na válvula de controle do freio são operadas por solenóides. Os sinais elétricos vindos da caixa de controle de derrapagem atuam os solenóides. Se não houver sinal (por não existir roda derrapando), a válvula de controle de derrapagem não terá nenhum efeito na operação do freio. Mas, se uma derrapagem desenvolver-se, levemente ou seriamente, um sinal é enviado para o solenóide, que baixa a pressão medida na linha entre a válvula de medição e os cilindros dos freios. Ela também faz a retirada do fluído para a linha de retorno do reservatório, sempre que o solenóide for energizado.

Naturalmente, isto alivia imediatamente a aplicação dos freios. O fluxo de pressão, nas linhas dos freios, vindo das válvulas de medição continuará enquanto o piloto pressionar o pedal do freio. Mas, o fluxo e a pressão são retornados para o reservatório ao invés de ir para os freios das rodas. A pressão do sistema de utilidade entra na válvula de controle do freio, onde ela é medida para os freios das rodas, na proporção da força aplicada no pedal pelo piloto. Porém, antes que ela possa ir para os freios, ela precisa passar pela válvula de controle de derrapagem. Se o solenóide estiver atuado, uma passagem é aberta na linha, entre a válvula de controle do freio e o freio.

Essa passagem desvia a pressão de aplicação do freio para a linha de retorno do sistema de utilidade. Isso reduz a aplicação do freio e as rodas giram rápido novamente. O sistema é projetado para operar abaixo do ponto de derrapagem. Isto dá maior efetividade na frenagem.

Controle do piloto

O piloto pode cancelar a operação do sistema de antiderrapagem, por meio de um interruptor na cabine. Uma lâmpada de alarme acende quando o sistema estiver desligado ou se houver uma falha no sistema.

Controle de derrapagem de roda travada

O controle de derrapagem de roda travada faz com que o freio seja completamente liberado, quando a roda travar.

Uma roda travada ocorre facilmente na camada de gelo, devido a falta de atrito do pneu com a superfície. Ela ocorrerá se o controle de derrapagem normal não evitar que a roda atinja uma derrapagem completa.

Para liberar uma roda travada, que está derrapando, a pressão é sangrada acima da função normal de derrapagem. Isso é para dar à roda tempo suficiente para recuperar a velocidade. O controle da roda travada fica fora de ação durante velocidades menores que 15 a 20 m.p.h.

Proteção no toque com a pista

O circuito de proteção no toque com a pista evita que os freios sejam aplicados durante o pouso, caso os pedais do freio sejam pressionados. Isto evita que as rodas estejam travadas quando tocarem a pista de pouso.

As rodas tem uma chance de começar a rodar antes de suportarem todo o peso da aeronave.

Duas condições precisam existir antes das válvulas de controle de derrapagem permitirem a aplicação do freio, sem elas a caixa de controle não enviará o sinal apropriado para o solenóide da válvula.

A primeira, é que a chave "SQUAT" precisa do sinal de que o peso da aeronave está sobre as rodas. A segurança, é que o gerador da roda sinta que a velocidade dela está acima de 15 a 20 m.p.h.

Proteção contra falhas

O circuito de proteção contra falhas, monitora a operação do sistema de controle de derrapagem. Ele automaticamente retorna completamente o sistema de freio para manual, em caso de falha do sistema. Ele também ativa uma luz de alarme.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DO TREM DE POUSO

Por causa das tensões e da ação da pressão no trem de pouso, inspeções, serviços e outras ações de manutenção tornam-se um processo contínuo.

O mais importante trabalho na manutenção do sistema do trem de pouso é através de inspeções acuradas.

Para proporcionar apropriadamente as inspeções, todas as superfícies devem estar limpas, para assegurar que todos os pontos com problemas serão detectados.

Periodicamente serão necessárias inspeções dos amortecedores de choque, amortecedores de vibração (SHIMMY), rodas, rolamentos das rodas, pneus e freios.

Durante essas inspeções, verifica-se a presença das travas de segurança no solo, e se estão bem instaladas.

Verifica-se o indicador de posição do trem de pouso, luzes e buzinas de alarme, quanto a operação; e também os punhos dos controles e sistemas de emergência, quanto a posição e condições apropriadas.

Inspeciona-se as rodas do trem de pouso quanto a liberdade de movimento e presença de corrosão e de rachaduras; e se os parafusos de fixação das rodas estão frouxos. Verifica-se a fiação do sistema antiderrapagem quanto a deterioração; os pneus quanto a desgaste, cortes, deterioração, presença de graxa ou óleo, alinhamento das marcas de deslizamento e da apropriada inflação.

Inspeciona-se os mecanismos do trem de pouso quanto a condições, operação e ajustes apropriados. Lubrifica-se o trem de pouso, incluindo o comando de direção da roda do nariz quanto a desgaste, fios quebrados, alinhamento e segurança. Inspeciona-se os amortecedores do trem de pouso quanto as condições de quebra, corrosão, rachaduras e segurança. Onde for aplicável, verifica-se as folgas dos freios.

Vários tipos de lubrificantes são requeridos para os pontos de fricção e desgaste do trem de pouso. Estes lubrificantes são aplicados com a mão, com almotolia de óleo, ou com uma pistola de graxa do tipo sob pressão.

Após a utilização, da pistola engraxadeira sob pressão, limpa-se os bicos de lubrificação, removendo a graxa antiga e o acúmulo de sujeira porque essa sujeira, e areia misturadas com lubrificantes produzem um composto muito abrasivo e destrutivo.

Quando cada ponto for lubrificado, o excesso de lubrificante deve ser removido. Limpa-se a haste do pistão de todos os cilindros expostos; particularmente antes de operar, para prevenir danos para os selos e superfícies polidas.

Periodicamente os rolamentos das rodas precisam ser removidos, limpos, inspecionados e lubrificados. Quando limpamos o rolamento das rodas, utilizamos um solvente suave de limpeza (gasolina com chumbo não deverá ser usada). Seca-se o rolamento pelo direcionamento de jatos de ar seco entre os roletes. Não direcionamos o ar nos rolamentos para que os detritos, não possam ser projetados sobre pessoas nas proximidades.

Quando se inspeciona o rolamento, checa-se quanto a defeitos que poderão torná-lo inútil para o serviço, tais como: lascas, rachaduras, ou com superfícies quebradas; aspereza devido a pressão de impacto ou desgaste; corrosão ou furos na superfície do rolamento; descoloração causada por superaquecimento; gaiolas rachadas ou quebradas; capas ou cones de rolamentos riscados ou frouxos, os quais podem afetar o assentamento correto do eixo na roda.

Se qualquer um desses defeitos existir, troca-se o rolamento. Para evitar a corrosão e ferrugem, lubrifica-se o rolamento imediatamente após a limpeza. Para se aplicar um lubrificante aos rolamentos selados, coloca-se uma pequena porção do lubrificante adequado na palma da mão. Segura-se o cone do palma da mão. Segura-se o cone do conjunto do rolamento com o polegar e os primeiros dois dedos da outra mão, mantendo o diâmetro maior do rolamento próximo a palma.

Move-se o conjunto do rolamento através da mão em direção ao polegar, forçando o lubrificante no espaço entre o cone e os roletes. Vira-se o conjunto após cada ciclo, até que todas as aberturas entre os roletes estejam cheias de lubrificante. Remove-se o lubrificante em excesso do cone e da parte externa da capa do rolamento.

Ajustagem e alinhamento do trem de pouso

Ocasionalmente se faz necessário ajustar os interruptores, portas, articulações, travas e gatilhos dos trens de pouso, para assegurar a operação correta das portas e do próprio trem de pouso. Quando os cilindros atuadores dos trens de pouso são trocados, e o ajuste do comprimento é feito, deve ser checado quanto a extensão excessiva.

Extensão excessiva é a ação do pistão do cilindro além do movimento necessário para a extensão do trem de pouso ou retração. A ação adicional opera o mecanismo de trava do trem de pouso. Por causa de uma grande variedade de tipos e projetos de aeronaves, os procedimentos para ajuste e alinhamento do trem de pouso variam bastante.

Folga para as articulações de trava em cima e em baixo, ajuste dos interruptores limitadores e outros ajustes do trem de pouso, variam bastante com o projeto deste próprio trem de pouso. Por esta razão, sempre devemos consultar o manual de serviço e manutenção do fabricante, antes de executar qualquer fase de ajuste ou instalação do trem de pouso.

Ajustando as travas do trem de pouso

Os ajustes das travas são uma das maiores preocupações para o mecânico de aeronaves. A trava é usada no sistema de trem de pouso para manter a unidade numa determinada posição, após a unidade ter sido movimentada através de uma parte ou de todo o seu ciclo.

Em algumas aeronaves, quando o trem de pouso é retraído, cada perna de força é mantida na posição em cima por uma trava. O mesmo acontece quando o trem de pouso é estendido. As travas são também usadas para segurar as portas do trem de pouso nas posições aberta e fechada.

Existem muitas variações nos projetos das travas. Entretanto, todas as travas são projetadas para executar a mesma tarefa. Elas devem operar automaticamente e no momento adequado, e manter a unidade na posição desejada. Um mecanismo típico de trava da porta do trem de pouso está descrito nos seguintes parágrafos.

Nas aeronaves particulares, a porta do trem de pouso é mantida fechada por duas travas.

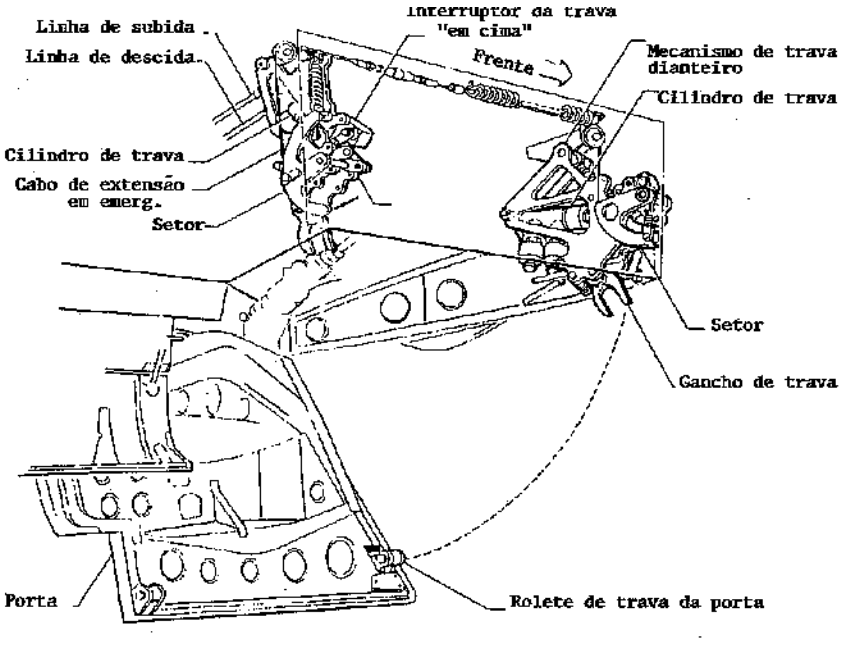
Conforme mostrado na figura 9-66, uma é instalada próxima a parte traseira da porta.

Para que a porta fique seguramente travada, ambas as travas devem segurar e manter a porta pressionada contra a estrutura da aeronave. Os componentes principais de cada mecanismo de trava mostrado na figura 9-66 são: um cilindro de trava hidráulico, um gancho de trava, uma articulação sob ação de mola, e um setor.

O cilindro de trava é hidraulicamente conectado com o sistema de controle do trem de pouso, e conectado mecanicamente através das articulações com o gancho de trava.

Quando a pressão hidráulica é aplicada, o cilindro opera as articulações para engatar ou desengatar o gancho com o rolete de trava da porta. Na seqüência do trem de pouso em baixo, o gancho é desengatado pela carga da mola da articulação.

Na seqüência do trem em cima, a ação da mola é revertida quando a porta que está fechando entra em contato com o gancho da trava, e o cilindro opera a articulação para engatar o gancho com o rolete da trava. Cabos de extensão em emergência do trem de pouso estão conectados ao setor para permitir a liberação em emergência dos roletes de trava.



Figuras 9-66 Mecanismos de trava da porta da perna principal do trem de pouso.

Um interruptor de trava em cima está instalado, e é atuado por cada trava para dar uma indicação positiva do trem em cima na cabine de comando.

Com o trem em cima e a porta travada, inspeciona-se o rolete da trava, quanto a folga adequada conforme mostrado na figura 9-67 vista "A". Nesta instalação, a tolerância necessária é de 1/8 ± 3/32 de polegada. Se o rolete não estiver dentro desta tolerância, ele deverá ser ajustado, afrouxando-se os parafusos de montagem e elevando-se ou abaixando-se o suporte dos roletes de carga.

Isto pode ser feito devido aos furos alongados e a superfície de trava serrilhada do suporte do rolete da trava, e a placa serrilhada. (Vista "B").

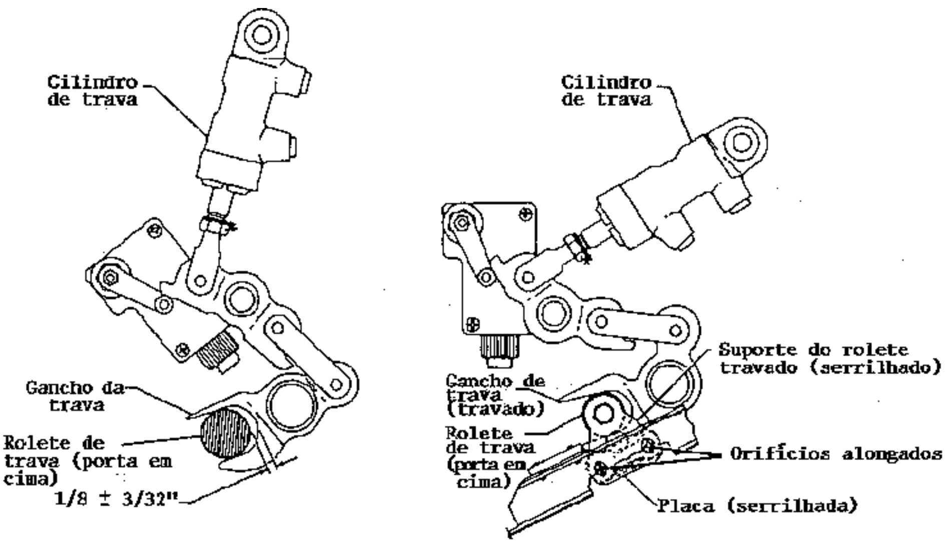

Cilindro de trava
Gancho da trava
Rolete de trava (porta em cima)
1/8 ± 3/32"
Cilindro de trava
Suporte do rolete travado (serrilhado)
Gancho de trava (travado)
Rolete de trava (porta em cima)
Orifícios alongados
Placa (serrilhada)

Figura 9-67 Instalações da trava da porta do trem de pouso.

Estas tolerâncias podem ser mantidas, ajustando-se as dobradiças das portas e as hastes de conexão, e ajustando-se o excesso de material das portas, se necessário.

Em algumas instalações, as dobradiças são ajustadas colocando-se uma dobradiça serrilhada e arruelas serrilhadas nas posições corretas, e torqueando os parafusos de montagem.

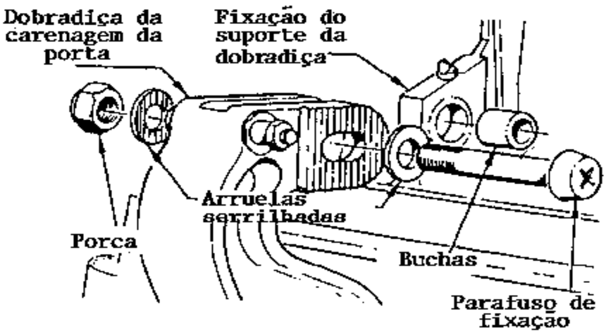

Dobradiça da carenagem da porta
Fixação do suporte da dobradiça
Arruelas serrilhadas
Porca
Buchas
Parafuso de fixação

Figura 9-68 Instalação das dobradiças ajustáveis da porta.

A figura 9-68 ilustra este tipo de montagem que permite ajustes lineares. A porção de ajustes lineares é controlada pelo comprimento do orifício alongado dos parafusos na dobradiça da porta. A distância que as portas do trem de pouso abram ou fecham, depende do comprimento das hastes da porta, e o ajuste dos batentes da mesma.

Os manuais do fabricante especificam o comprimento das hastes da porta e o ajuste dos batentes das mesmas, ou outros procedimentos, pelos quais os ajustes corretos podem ser feitos.

Ajuste dos braços de arrasto e braços laterais do trem de pouso

Os braços laterais do trem de pouso ilustrados na figura 9-69, consistem de uma haste superior e uma inferior articuladas no centro, para permitir que o braço tenha um movimento de "canivete", durante a retração do trem de pouso.

Os pivôs superiores são fixados em um mancal no alojamento do trem de pouso. A parte inferior é conectada aos amortecedores.

No braço lateral ilustrado, uma haste de travamento está incorporada entre a extremidade superior do amortecedor e a haste de arrasto. Usualmente, neste tipo de instalação, o mecanismo de trava é ajustado de maneira que fique posicionado ligeiramente fora do centro. Isto dá um travamento positivo no braço e no mecanismo de trava; e como precaução adicional de segurança, previne-se o colapso inadvertido do trem de pouso, causado pelo dobramento do braço lateral.

Folgas da porta do trem de pouso

As portas do trem de pouso tem uma folga permissível específica que deve ser mantida entre as portas e a estrutura da aeronave ou outras portas do trem de pouso.

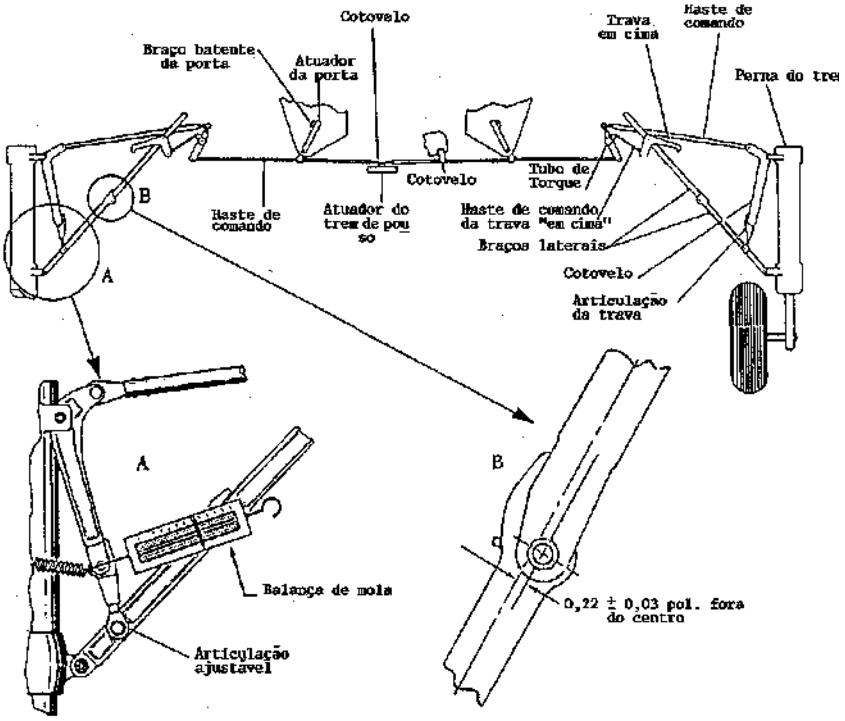

Cotovelo
Braço batente da porta
Atuador da porta
Trava em cima
Haste de comando
Perna do tre
B
A
Haste de comando
Atuador do trem de pouso
Cotovelo
Tubo de Torque
Haste de comando da trava "em cima"
Braços laterais
Cotovelo
Articulação da trava
A
Balança de mola
Articulação ajustavel
B
0,22 ± 0,03 pol. fora do centro

Figura 9-69 Esquema do trem de pouso mostrando os ajustes fora de centro.

Para ajustar a posição fora de centro da haste de travamento do braço lateral, ilustrado na figura 9-69, coloca-se o trem de pouso na posição em baixo, e ajusta-se o terminal da haste de travamento, de maneira que a haste do braço lateral esteja segura firmemente, apesar de fora de centro.

Manualmente, dobra-se a haste de travamento, e move-se a perna de força para uma posição de 5 a 6 polegadas afastada da posição travada em baixo, e então solta-se a perna de força. Ela deverá deslocar-se livremente e travar na posição baixada, quando liberada desta posição.

Além disso, para o ajuste do curso fora de centro, a tensão da mola da trava em baixo deve ser checada usando uma balança.

A tensão deverá estar entre 40 e 60 libras para o tipo de haste ilustrado. A tensão específica e o procedimento de checagem são diferentes em outras aeronaves.

Checagem de retração do trem de pouso

Existem várias ocasiões em que uma checagem de retração do trem de pouso deve ser executada. Primeiramente, uma checagem de retração deve ser executada durante uma inspeção anual do sistema do trem de pouso.

Em segundo lugar, quando executando manutenção que possa afetar as fixações e os ajustes, como a substituição de um atuador, é feita uma retração para verificar se todas as ligações estão devidamente conectadas e ajustadas.

Em terceiro lugar, pode ser necessário fazer-se um cheque de retração, após um pouso pesado ou com supercarga, que possam ter danificado o trem de pouso.

E finalmente, um método de localizar defeitos no sistema do trem de pouso, é executar um cheque de retração.

Existe um grande número de inspeções específicas a serem executadas, quando fazendo uma checagem de retração do trem de pouso. Incluindo as seguintes:

(1) As pernas de força quanto a correta retração e extensão.

(2) Interruptores, luzes e buzinas de alarme quanto a correta operação.

(3) Portas do trem quanto a folgas, liberdade de funcionamento e travamento.

(4) Hastes de ligação e fixação quanto a operação adequada, ajustagens e condições gerais.

(5) Trincos e travas quanto a operação correta e ajustagens.

(6) Sistemas alternados de extensão e retração quanto a operação correta.

(7) Qualquer ruído anormal que possa ser causado por atrito, aquecimento por fricção, ou vibração.

Os procedimentos e informações apresentadas têm como finalidade fornecer familiarização com alguns detalhes, envolvendo o alinhamento e os ajustes do trem de pouso, e as checagens de retração, sem ter aplicação geral.

Para informações exatas sobre um específico sistema de trem de pouso, consulta-se as instruções aplicáveis do fabricante da aeronave.

CAPITULO 10

SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA FOGO

INTRODUÇÃO

Em virtude do fogo ser uma das mais perigosas ameaças para uma aeronave, as zonas de fogo em potencial de todas as aeronaves multimotoras, atualmente produzidas, são garantidas por um sistema fixo de proteção de fogo.

Uma "zona de fogo" é uma área ou região da aeronave, designada pelo fabricante, que requer detecção e/ou equipamento de extinção e um alto grau de essencial resistência ao fogo.

O termo "fixo" significa um sistema permanentemente instalado, em contraste com qualquer equipamento portátil de extintor de fogo como a de CO_2. Um sistema completo de proteção contra fogo das modernas aeronaves, ou em muitos modelos antigos de aeronaves, inclui tanto um sistema de detecção como um de extinção de fogo.

Para detectar o fogo ou as condições de superaquecimento, equipamentos são colocados nas várias zonas a serem monitoradas.

O fogo é detectado nas aeronaves com motores convencionais, usando um ou mais dos seguintes itens:

(1) Detectores de superaquecimento.

(2) Detectores de aumento da razão de temperatura.

(3) Detectores de chama.

(4) Observação pela tripulação.

Somando-se a esses métodos, outros tipos de detectores são usados nos sistemas de proteção contra fogo em aeronaves, mas raras vezes são usados para detectar fogo nos motores.

Por exemplo, detectores de fumaça são mais apropriados para monitorar área como compartimentos de bagagens, onde os materiais queimam vagarosamente ou sem chama.

Outros tipos de detectores, nesta categoria incluem os detectores de monóxido de carbono e do equipamento de coleta química, capaz de detectar vapores de combustível que podem levar ao acúmulo de gases explosivos.

MÉTODOS DE DETECÇÃO

A lista a seguir apresenta métodos de detecção, incluindo aqueles mais usados em sistemas de proteção contra fogo de aeronaves com motores à turbina.

Um sistema completo de proteção contra fogo, da maioria das grandes aeronaves com motor à turbina, incorporam vários destes métodos de detecção:

(1) Detectores de aumento da razão de temperatura.

(2) Detectores sensores de radiação.

(3) Detectores de fumaça.

(4) Detectores de superaquecimento.

(5) Detectores de monóxido de carbono.

(6) Detectores de vapores de combustível.

(7) Detectores de fibra ótica.

(8) Observação pela tripulação ou passageiros.

Os três tipos de detectores mais usados para rápida detecção de fogo são de razão de aumento de temperatura, sensores de radiação e detectores de superaquecimento.

Exigências de um sistema de detecção

Os sistemas de proteção contra fogo, das aeronaves produzidas atualmente, não confiam na observação pela tripulação como um método primário de detecção de fogo.

Um sistema ideal de detecção de fogo deve incluir, tanto quanto possível, as seguintes características:

(1) Um sistema que não cause falsosalarmes sob qualquer condição de vôo.

(2) Rápida indicação de fogo e sua exata localização.

(3) Acurada indicação de que o fogo está extinto.

(4) Indicação de que o fogo foi reativado.

(5) Indicação contínua da duração do fogo.

(6) Possibilidade de testar eletricamente o sistema detector desde a cabine da aeronave.

(7) Detectores resistentes a danos causados por exposição ao óleo, água, vibração, temperaturas extremas e ao manuseio.

(8) Detectores que tenham pouco peso e sejam facilmente adaptáveis em qualquer posição de montagem.

(9) Detectores instalados em circuitos operados diretamente do sistema de força da aeronave sem inversores.

(10) Exigências mínimas de corrente elétrica quando não houver indicação de fogo.

(11) Cada sistema detector deverá acender uma lâmpada na cabine, indicando a localização do fogo e deverá ter um sistema de alarme sonoro.

(12) Um sistema detector separado para cada motor.

Existem diversos tipos de detectores ou dispositivos sensores disponíveis. Vários modelos antigos de aeronaves, ainda em operação, estão equipadas com algum tipo de interruptor térmico ou sistema de par térmico.

SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO

Um sistema de detecção deverá sinalizar a presença de fogo. As unidades do sistema são instaladas em locais onde são maiores as possibilidades de um incêndio. Três sistemas detectores de uso mais comum são o sistema de interruptor térmico, sistema de par térmico e o sistema detector de circuito contínuo.

Sistema de interruptor térmico

Um sistema de interruptor térmico consiste de uma ou mais lâmpadas energizadas pelo sistema de força da aeronave, e interruptores térmicos que controlam a operação da lâmpada (ou lâmpadas).

Esses interruptores térmicos são unidades sensíveis ao calor que completam os circuitos elétricos a uma determinada temperatura. Eles são conectados em paralelo um com outro, mas em série com as luzes indicadoras (figura 10-1).

Se um aumento de temperatura ultrapassar um determinado valor em qualquer seção do circuito, o interruptor térmico fechará completando o circuito da lâmpada indicadora de fogo ou da condição de superaquecimento.

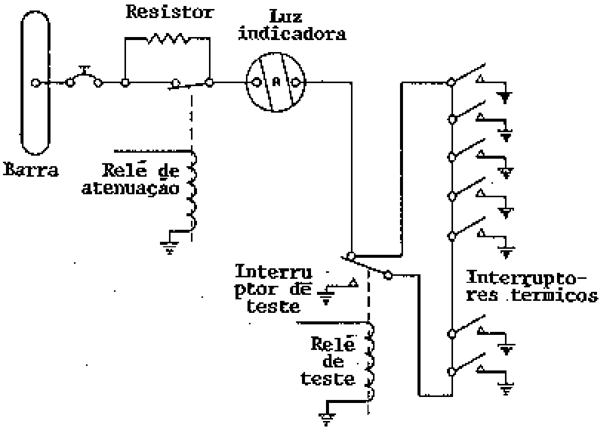


Figura 10-1 Circuitos de interruptores térmicos.

Não existe um número certo de interruptores térmicos em cada circuito. O número exato será determinado pelo fabricante. Em algumas instalações todos os detectores térmicos são conectados a uma única lâmpada; em outras podem ser encontrados um interruptor térmico para cada lâmpada indicadora.

Algumas luzes de alarme são do tipo "pressione-para-testar". A lâmpada será testada quando for apertada, através de um circuito-auxiliar de teste. O circuito na figura 10-1 inclui um relé de teste.

Com o contato do relé na posição mostrada, dois caminhos são possíveis para o fluxo da corrente dos interruptores para a lâmpada. Este é um dispositivo adicional de segurança. Energizando o relé de teste, um circuito em série é completado checando toda a fiação e o filamento de todas as lâmpadas.

Também incluído no circuito mostrado na figura 10 - 1 há um relé de controle de brilho. O circuito é alterado para incluir uma resistência em série com a lâmpada. Em algumas instalações vários circuitos são ligados através de relés de controle de brilho, e todas as luzes de emergência podem ser ofuscadas ao mesmo tempo.

O sistema de interruptor térmico usa um interruptor termostato bimetálico ou detector tipo "spot", semelhante ao mostrado na figura 10-2. Cada unidade detectora consiste de um interruptor térmico bimetálico. A maioria dos detectores spot são interruptores térmicos de terminal duplo.

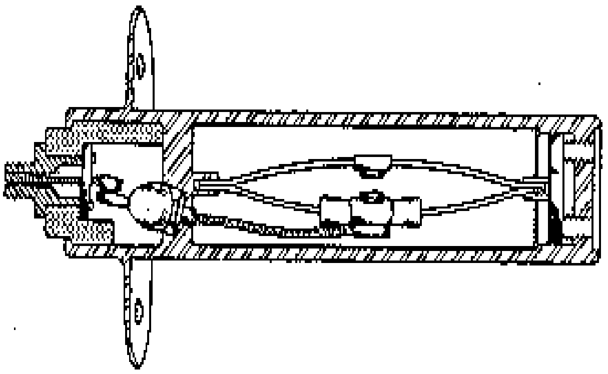


Figura 10-2 Detector “Fenwal” tipo “Spot”.

Detectores fenwal spot

Os detectores Fenwal Spot são ligados em paralelo entre dois circuitos completos da fiação, como é mostrado na figura 10-3. Assim, o sistema pode resistir a uma falha, que pode ser uma abertura no circuito elétrico ou um curto para a massa, sem indicar um falso alarme de fogo.

Uma dupla falha pode existir antes que um falso alarme de fogo possa ocorrer.

No caso de uma condição de fogo ou de superaquecimento, o interruptor do detector Spot fecha, completando o circuito para soar um alarme.

O sistema detector Fenwal Spot opera sem uma unidade de controle. Quando uma condição de superaquecimento ou de fogo causar o fechamento de um interruptor do detector, o alarme soará e uma lâmpada de aviso indicando a área afetada será acesa.

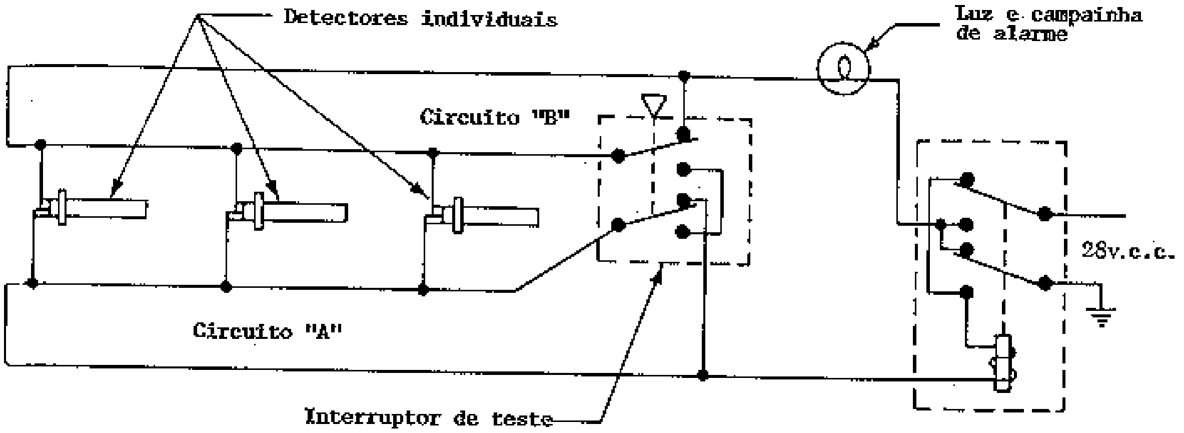


Figura 10-3 Circuito detector “Fenwal”.

Sistema de par térmico

O sistema de aviso de fogo, por par térmico, opera por um princípio completamente diferente do sistema de interruptores térmicos.

Um par térmico depende da razão de aumento da temperatura e não dará o alarme quando um motor superaquecer lentamente, ou quando ocorrer um curto-circuito.

O sistema consiste de uma caixa de relés, luzes de aviso e pares térmicos.

A fiação do sistema dessas unidades pode ser dividida entre os seguintes circuitos (figura 10-4): (1) circuito detector, (2) circuito de alarme e (3) circuito de teste.

A caixa de relés contém dois relés, o relé sensível e o relé escravo, e ainda a unidade de teste térmico. Essa caixa pode conter de um a oito circuitos idênticos, dependendo do número de zonas potenciais de fogo. Os relés controlam as luzes de alarme, e os pares térmicos controlam a operação dos relés. O circuito consiste de vários pares térmicos em série uns com os outros e com o relé sensível.

O par térmico é construído com dois metais diferentes que são o cromel e o constantam. O ponto de junção dos dois metais, que será exposto ao calor, é chamado de junção quente. Há também uma junção de referência incluída no espaço entre os dois blocos isolantes. Um invólucro de metal protege mecânicamente o par térmico, sem interferir no movimento livre do ar na junção quente. Se a temperatura subir rapidamente, o par térmico produzirá uma voltagem por causa da diferença de temperatura entre a junção de referência e a junção quente.

Se ambas as junções forem aquecidas ao mesmo tempo, nenhuma voltagem será produzida. Porém, se houver fogo, a junção quente aquecerá mais rapidamente do que a junção de referência.

A voltagem resultante causará um fluxo de corrente no circuito detector. Quando a corrente for maior do que quatro miliampères (0,004 ampères) o relé sensível fechará. Isto completará o circuito do sistema de força da aeronave para a bobina do relé escravo, o qual fechando, completará o circuito para a lâmpada de alarme de fogo.

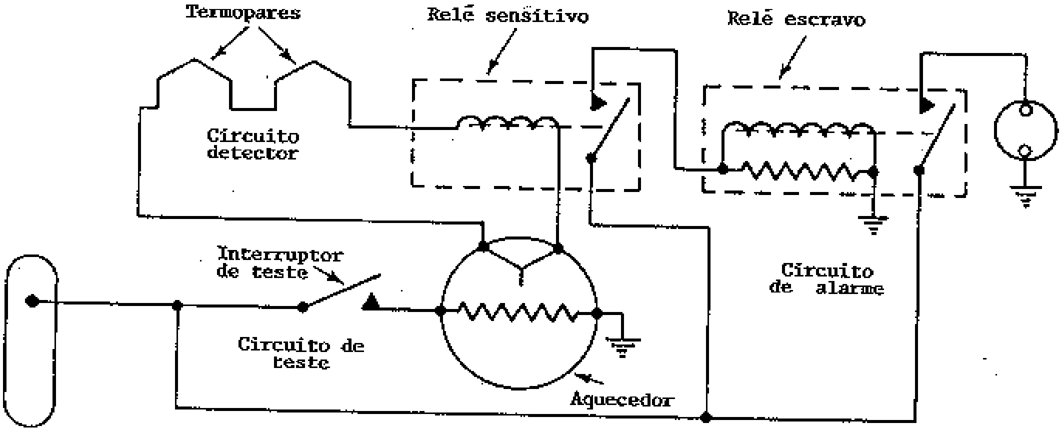


Figura 10-4 Circuito de aviso de fogo tipo “termopar’.

O número total de pares térmicos, usados em um circuito detector, depende das dimensões das zonas de fogo e da resistência total do circuito. A resistência total não deve exceder 5 ohms. Como mostra a figura 10-3, o circuito tem dois resistores. O resistor conectado através dos terminais do relé escravo absorve a voltagem auto-induzida da bobina, para evitar a formação de arco entre os pontos do relé sensível. Os contatos do relé sensível são tão frágeis que, se queimariam ou soldariam, se fosse permitida a formação de um arco.

Quando o relé sensível abre, o circuito para o relé escravo é interrompido, e o campo magnético em torno da sua bobina é encerrado. Quando isto acontece, a bobina recebe uma voltagem através da auto-indução, mas com o resistor através dos terminais da bobina é aberto um caminho para algum fluxo de corrente, como resultado desta voltagem. Então, o arco nos contactos do relé sensível é eliminado.

Sistema detector de circuito contínuo

Um sistema detector contínuo ou sistema sensor permite a cobertura mais eficiente de uma área de perigo de fogo, do que qualquer um dos detectores de temperatura do tipo spot.

Os sistemas contínuos são uma versão do sistema de interruptores térmicos; eles são sistemas de superaquecimento, unidades sensíveis ao calor, que completam o circuito elétrico a uma determinada temperatura. Os dois tipos de detectores usados nos sistemas sensores contínuos são os sistemas Kidde e o Fenwal.

No sistema contínuo Kidde (figura 10-5), dois fios são envolvidos com uma camada de cerâmica especial, formando o núcleo de um tubo de Inconel.

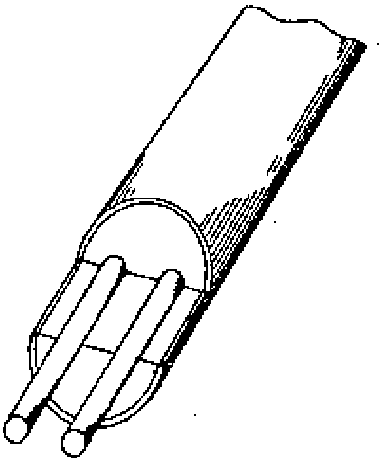


Figura 10-5 Elemento sensor “Kidde”.

Um dos dois fios no sistema sensor Kidde é soldado nos terminais do tubo envolvente, atuando como "massa" interna. O outro fio é um condutor (acima do potencial terrestre) que permite um sinal de corrente, quando a cobertura de cerâmica dos fios altera a sua resitência com a mudança da temperatura.

Outro sistema contínuo, o Fenwal (figura 10-6), usa um fio simples envolvido em uma camada de cerâmica, dentro de um tubo de Inconel.

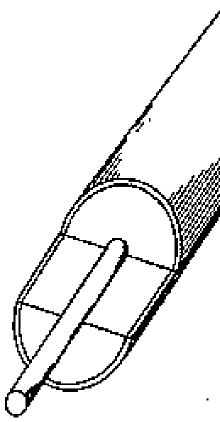


Figura 10-6 Elemento sensor “Fenwal”.

A camada de cerâmica do detector Fenwal está embebida com um sal eutético, o qual possui características de reduzir rápidamente sua resistência elétrica quando o elemento sensor atingir a sua temperatura de alarme.

Em ambos os sistemas, no Kidde e no Fenwal, a resistência da cerâmica ou do sal eutético evita o fluxo da corrente elétrica enquanto for normal a temperatura. No caso de uma condição de fogo ou superaquecimento, a resistência do núcleo diminui, e o fluxo da corrente flui entre o fio condutor do sinal e a "massa", energizando o sistema de alarme.

Os elemento sensores do sistema Kidde são conectados a um relé da unidade de controle. Essa unidade constantemente mede a resistência total de todo o sensor. O sistema sente a temperatura média, tão bem como qualquer ponto simples isolado.

O sistema Fenwal usa um amplificador magnético como unidade de controle. Esse sistema não é proporcional, mas soará um alarme quando qualquer porção do seu elemento sensor atingir a temperatura de alarme.

Ambos os sistemas continuamente monitoram as temperaturas nos compartimentos dos motores e, ambos, automaticamente, são rearmados após um alarme de fogo ou de superaquecimento, logo que a condição de superaquecimento for removida ou o fogo extingüido.

Sistema de elementos contínuos

O sistema Lindberg de detecção de fogo (figura 10-7) é um detector do tipo elemento contínuo, que consiste de um tubo de aço inoxidável contendo um elemento discreto. Esse elemento foi processado para absorver gás em proporção ao ponto selecionado da temperatura de operação.

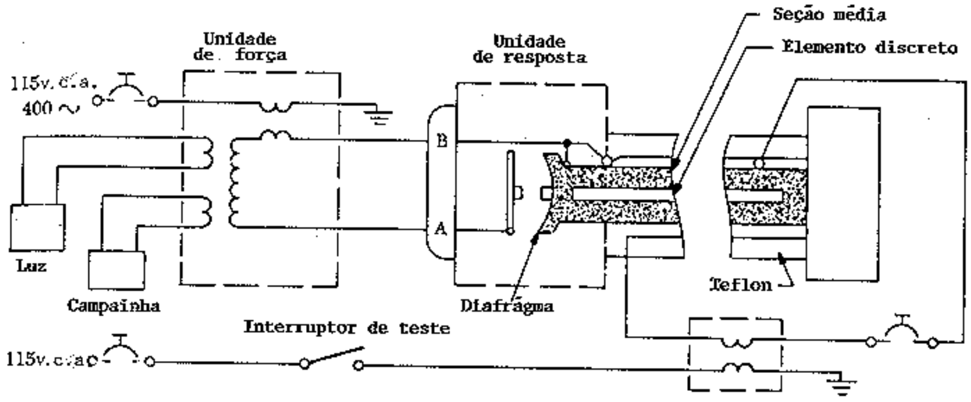


Figura 10-7 Sistema detector de fogo “Lindberg”.

Quando a temperatura aumenta (devido ao fogo ou superaquecimento) para o ponto selecionado de temperatura de operação, o calor gerado causa a liberação do gás do elemento. Essa liberação do gás causa o aumento da pressão no tubo de aço inoxidável, que por sinal, atua mecanicamente o interruptor do diafragma na unidade de resposta, ativando a luz de aviso e soando o alarme. Um interruptor de teste de fogo é usado para aquecer os sensores, expandindo o gás. A pressão gerada fecha o interruptor diafragma, ativando o sistema de alarme.

SISTEMAS DE AVISO DE SUPERAQUECIMENTO

Os sistemas de aviso de superaquecimento são usados em algumas aeronaves para indicar as áreas de alta temperatura, que podem ser focos de incêndios.

O número de sistemas de aviso de superaquecimento varia com o tipo de aeronave. Em algumas aeronaves, eles são previstos para cada motor à turbina e cada nacele de motor; em outras, são previstas para a área de alojamento das rodas e para a linha de pressão do sistema pneumático.

Quando uma condição de superaquecimento ocorrer na área de um detector, o sistema ocasiona o acendimento da luz de aviso no painel de controle de fogo.

Na maioria dos sistemas o detector é do tipo interruptor térmico. Cada detector é operado quando o calor atinge uma temperatura especificada. Essa temperatura depende do sistema e do tipo e modelo da aeronave. Os contatos do interruptor do detector estão suportados por molas, as quais fecham os contatos quando o calor expande a base de apoio. Um contato de cada detector está ligado à "massa" através da braçadeira de montagem. Os outros contatos de todos os detectores estão ligados em paralelo para fechar o circuito das lâmpadas de aviso. Sendo assim, o fechamento dos contatos de qualquer um dos detectores pode causar o acendimento da luz de aviso.

Quando os contatos do detector são fechados o circuito para a luz de aviso é completado. A corrente, então, é fornecida de uma barra do sistema elétrico através da lâmpada de aviso e de um lampejador para a massa. Devido ao lampejador no circuito, as luzes piscarão indicando uma condição de superaquecimento.

TIPOS DE FOGO

A Associação Nacional de Proteção Contra Fogo é classificada em três tipos básicos:

a. *Classe A* - é definida como um fogo em materiais combustíveis ordinários como madeira, pano, papel, estofados etc.

b. *Classe B* - é definida como fogo em produtos inflamáveis de petróleo ou líquidos combustíveis, graxas, solventes, tintas etc.

c. *Classe C* - é definida como fogo envolvendo equipamento elétrico energiza-do, onde a não-condutividade do meio de extinção não tem importância. Na maioria dos casos onde o equipamento elétrico está desenergizado, o extintor adequado para uso nos fogos de classe A ou B podem ser empregados efetivamente.

Fogo em aeronaves, em vôo ou no solo, podem ser extintos por qualquer um, ou por todos esses tipos de extintores. Portanto, sistemas de detecção, sistemas de extinção e agentes extintores, como aplicados para cada tipo de fogo, devem ser considerados.

Cada tipo de fogo tem características que requerem manuseios especiais. Agentes usados em fogo de classe A não são aceitáveis em fogo das classes B ou C. Agentes adequados ao fogo de classes B ou C terão o mesmo efeito em fogo da classe A, mas não são mais eficientes.

CLASSIFICAÇÃO DAS ZONAS DE FOGO

Os compartimentos dos motores são classificados em zonas, baseadas no fluxo de ar que passa através deles.

a. *Zona classe A* - São as zonas que têm uma grande quantidade de fluxo de ar passando entre arranjos com obstruções de formatos semelhantes. A seção de força de um motor convencional normalmente é deste tipo.

b. *Zona classe B* - São as zonas que têm uma grande quantidade de fluxo de ar passando aerodinamicamente sem obstruções.

Tubos do sistema de troca de calor e de escapamento dos gases são normalmente deste tipo são, também, zonas na parte interna de carenagens ou outro acabamento liso, livre de obstáculos, e adequadamente drenado para que os vazamentos de líquidos não formem poças. Os compartimentos de motores a turbina podem ser considerados nesta classe, se a superfície do motor estiver aerodinamicamente livre, e as nervuras estruturais da célula forem cobertas com uma camisa a prova de fogo.

c. *Zona classe C* - São as zonas que têm relativamente pouco fluxo de ar. Um compartimento de acessórios do motor, separado da seção de força, é um exemplo deste tipo de zona.

d. *Zona classe D* - São as zonas que têm pouco ou nenhum fluxo de ar. Estas incluem os compartimentos das asas e o alojamento das rodas onde existe pouca ventilação.

e. *Zona classe X* - São as zonas que têm uma grande quantidade de fluxo de ar passando através delas e são de construção complicada, criando grande dificuldade para uma uniforme distribuição do agente extintor de incêndios. As zonas que contenham profundas cavidades e obstáculos, entre grandes nervuras estruturais são deste tipo. Testes indicam que para este tipo de zona é necessário o dobro de agente extintor que é pedido para a classe A.

CARACTERÍSTICAS DOS AGENTES EXTINTORES

Os agentes extintores de fogo de aeronaves possuem algumas características comuns, que os tornam compatíveis com sistemas extintores de fogo de aeronaves.

Todos os agentes podem ser estocados por um longo período, sem efeitos adversos aos componentes do sistema ou qualidade do agente. Os agentes usados correntemente não congelam nas temperaturas atmosféricas, normalmente encontradas.

A natureza dos mecanismos dentro do compartimento de um motor solicita um tipo de agente que não seja apenas efetivo, em fogo causado por líquidos inflamáveis, mas também em fogo causado por equipamentos elétricos. As várias características dos agentes são descritas a seguir e depois apresentadas de forma sumária nas tabelas das figuras 10 - 8, 10 - 9 e 10 - 10.

Os agentes são classificados em duas categorias gerais, baseadas no mecanismo da ação de extinção: o hidrocarbono halogenado e o gás frio inerte.

A. Agente de hidrocarbono halogenado.

(1) Os agentes mais eficientes, são os compostos formados pela substituição de um ou mais átomos de hidrogênio, nos hidrocarbonos simples de metano e de etano por átomos halógenos.

(a) Os halógens usados para formar os compostos extintores são o fluorine, o clorine e o bromine. O iodine pode ser usado, mas é muito caro, não compensando a vantagem que oferece. Os compostos extintores são formados partindo do elemento carbono em todos os casos, juntamente com diferentes combinações de hidrogênio, fluorine, clorine e bromine. Agentes completamente halogenados não contém átomos de hidrogênio no composto, sendo, dessa forma, mais estáveis no calor associado ao fogo, e considerados seguros. Compostos halogenados de modo incompleto, aqueles com um ou mais átomos de hidrogênio, são classificados como agentes extintores de fogo, mas sob certas condições podem tornar-se inflamáveis.

(b) O provável mecanismo de extinção dos agentes halogenados é uma "interferência química" no processo de combustão entre o combustível e o oxidante. Uma evidência experimental indica que o método mais provável de transferência de energia no processo de combustão é pelos "fragmentos de moléculas", resultante da reação química dos elementos constituintes. Se estes fragmentos forem bloqueados na transferência de sua energia para as moléculas do combustível, não queimado o processo de combustão, pode ser reduzido ou cessado completamente (extinto). Acredita-se que os agentes halogenados reagem com os fragmentos moleculares, evitando a transferência de energia. Isto pode ser chamado de "resfriamento químico". Este mecanismo de extinção é muito mais eficiente do que a diluição e resfriamento do oxigênio.

(c) Uma vez que os agentes alogenados reagem com os fragmentos moleculares, novos compostos são formados, os quais, em alguns casos, apresentam perigo muito maior do que os agentes por si sós. O tetracloreto de carbono, por exemplo, pode formar gás fosgênio, usado em guerras como um gás venenoso. Porém, a maioria dos agentes geram ácidos halógenos relativamente inofensivos. Esta reação química causada pelo calor (pirólise) faz com que alguns destes agentes, bastante tóxicos, sejam retirados do uso, enquanto são empregados os essencialmente não-tóxicos sob condições ambientais normais. Para avaliar o perigo da relativa toxidade de cada agente, algumas considerações devem ser dadas para a eficiência do individual agente. O agente mais eficiente, a menor quantidade de agente necessária, e a rapidez da extinção com menor geração de produtos em decomposição.

(d) Estes agentes são classificados através de um sistema de "números Halon", os quais descrevem os diversos compostos químicos que formam esta família de agentes. O primeiro dígito representa o número de átomos de carbono na molécula do composto; o segundo, o número de átomos de fluorine; o terceiro, o número de átomos de clorine; o quarto, o número de atomos de bromine; e o quinto dígito, o número de átomos de iodine, se houver. Os zeros a direita são inexpressivos. Por exemplo, bromotrifluorometano ($CBrF_3$) é denominado Halon 1301.

(e) Em temperatura ambiente, alguns agentes são líquidos que serão vaporizados rapidamente, embora não instantaneamente, e são denominados agentes extintores "líquidos vaporizantes". Outros agentes são gasosos sob temperaturas normais, mas podem se tornar liqüefeitos por compressão e resfriamento, podendo ser estocados sob pressão como líquidos; estes são chamados de agentes extintores "gases liquefeitos". Ambos os tipos de agentes podem ser expelidos dos depósitos de estocagem do sistema extintor, usando gás de nitrogênio como um propelente.

(2) CARACTERÍSTÍCAS DE ALGUNS AGENTES HALOGENADOS:

(a) Bromotrifluorometano, $CBrF_3$, foi desenvolvido pelos laboratórios de pesquisas da E.I. DuPont de Nemours & Co., em um programa patrocinado pela U.S. Armed Forces para o desenvolvimento de um agente extintor de incêndios para aeronaves. Ele é muito eficiente como um extintor, é relativamente não tóxico, e não requer um agente pressurizador. Este agente, recentemente desenvolvido, está sendo muito usado devido as suas óbvias vantagens.

(b) Bromoclorodifluorometano, $CBrClF_2$; outro agente que tem sido extensivamente testado pela U.S. Air Force. Ele tem relativamente baixa toxidade, mas requer pressurização por nitrogênio para ser expelido do seu reservatório a uma satisfatória razão de extinção de fogo.

(c) Clorobromometano, CH_2BrCl, foi originalmente desenvolvido na Alemanha durante a segunda guerra mundial para aeronaves militares. Ele é um agente extintor mais eficiente do que o tetracloreto de carbono e é um pouco menos tóxico, ainda que esteja classificado no mesmo grupo de perigo.

(d) Brometo de metila, CH_3Br, foi muito usado em sistemas de extinção de aeronaves, nas instalações dos motores, durante muitos anos. O seu vapor natural é mais tóxico do que o tetracloreto de carbono, e suas características impedem o seu uso. O brometo de metila, quando um composto hologenado incompleto com três átomos de hidrogênio por molécula, é um material "marginal" que pode inflamar-se em elevadas temperaturas. Testes indicam, no entanto, que ele é completamente eficiente na sua capacidade de extinguir chama. Sob as condições existentes na nacele do motor, as características de reprimir explosão é dominante.

(e) Dibromodifluorometano, CBr_2F_2, é geralmente considerado mais eficiente do que o metilbromide, e no mínimo duas vezes mais eficiente do que o tetracloreto de carbono como um extintor de chama. No entanto, a sua relativa toxidade limita o seu uso quando houver a possibilidade de penetração em compartimentos habitados.

(f) Tetracloreto de carbono, CCl_4, é descrito neste manual, em primeiro lugar, devido ao seu interesse histórico e como termo de comparação com os outros agentes. O CCl_4 é raramente usado em sistemas de extinção em aeronaves.

Ele foi o primeiro agente geralmente aceito da família halogenada, e vem sendo usado comercialmente durante os últimos 60 anos, particularmente para incêndios de origem elétrica.

Recentemente, no entanto, o uso do CCl_4 tem declinado, devido, principalmente, ao desenvolvimento de agentes mais eficientes, e em parte para o aumento do conhecimento sobre a natureza dos vapores tóxicos do CCl_4, especialmente quando decomposto pelo calor.

AGENTE	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bromotrifluorametano CBr_3F "BT" Halon 1301	Excelente extintor, cerca de quatro vezes tão efetivo quanto o "CB". Não tóxico em temperaturas normais. Não corrosivo. Compatível com o sistema convencional, excelente com HRD.	Moderadamente alto custo. Requer estocagem em reservatórios pesados.
Bromoclorodifluorometano $C\ Br\ Cl\ F_3$ "BCF" Halon 1211	Extintor muito eficiente. Reservatórios leves para a estocagem.	Baixa toxidade relativa. Requer N_2 sob pressão para expelir.
Bromoclorometano $CH_2\ Br\ Cl$ "CB" Halon 1011	Extintor muito eficiente quando usado em sistemas convencionais. Não corrosivo para o aço e o latão. Reservatórios leves para a estocagem.	Relativamente tóxico em temperaturas normais. Muito tóxico quando aquecido
Metil bromide $CH_3\ Br$ "MB" Halon 1001	Mais eficiente do que o CO_2. Reservatórios leves para a estocagem. Encontrado facilmente. Baixo custo. Compatível com os sistemas convencionais e HRD.	Relativamente tóxico. Corrói rapidamente o alumínio, o zinco e o magnésio.
Tetracloreto de Carbono $C\ CL_4$ "CTC" Halon 104	Líquido a temperaturas normais. Encontrado facilmente. Baixo custo.	Relativamente tóxico. Severamente tóxico quando aquecido. Corrosivo para o ferro e outros metais. Requer carga para expelir.
Dibromodifluorometano $CBr_2\ F_2$ Halon 1202	Extintor muito eficiente. Não corrosivo para o alumínio, aço e latão. Reservatório leves para a estocagem. Sistema convencional ou HRD.	Relativamente tóxico a temperatura normais. Muito tóxico quando aquecido. Alto custo.
Dióxido de Carbono CO_2	Sistema convencional ou HRD. Relativamente não tóxico. Não corrosivo. Encontrado facilmente. Baixo custo. Sob temperaturas normais ele age como seu próprio propelente.	Pode causar sufocação de pessoas sob exposição demorada. Requer reservatórios pesados para estocagem. Requer N2 como reforço em climas frios.
Nitrogênio N_2	Extintor muito eficiente. Não corrosivo. Basicamente não tóxico. Os sistemas podem fornecer grandes quantidades de extintor. N_2 proporciona maior diluição do O_2.	Pode causar sufocação em uma exposição demorada. Requer condensador para manter líquido.

Figura 10-8 Comparação dos agentes extintores.

GRUPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
1	Gases ou vapores, os quais em concentração da ordem de 1/2 para 1% por volume para exposição, com duração da ordem de 5 minutos, são letais ou produzirão sérios danos.	Dióxido de enxofre
2	Gases ou vapores, os quais em concentração da ordem de 1/2 para 1% por volume para exposição, com duração da ordem de 1/2 horas, são letais ou produzirão sérios danos.	Amônia, Metil-bromide
3	Gases ou vapores, os quais em concentração da ordem de 2 a 2 1/2% por volume para exposição, com duração da ordem de 1 hora, são letais ou produzirão sérios danos.	Tetracloreto de carbono, clorofórmio
4	Gases ou vapores, os quais em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% por volume para exposição, com duração da ordem de 2 horas, são letais ou produzirão sérios danos.	Metil cloride, Etil bromide
5	Gases ou vapores menos tóxicos do que o Grupo 6	Metilene cloride, Dióxido de carbono, Etano, Propano, Butano
6	Gases ou vapores, os quais em concentrações até pelo menos 20% por volume para exposição, com duração da ordem de 2 horas, não produzirão danos.	Bromotrifluorometano

Figura 10-9 Comparação dos perigos de vida dos vários refrigerantes e outros líquidos vaporizantes e gases. (classificados pelo Underwriters Laboratories, Inc.).

B. Agentes de gás frio inerte

Tanto o dióxido de carbono (CO_2) como o nitrogênio (N_2) são eficientes agentes extintores - ambos são rapidamente encontrados nas formas líquida e gasosa; suas principais diferenças são nas temperaturas e pressão de estocagem em suas breves fases líquidas.

(1) O dióxido de carbono, CO_2, tem sido usado por muitos anos para extingüir incêndios em fluidos, inflamáveis e fogo envolvendo equipamento elétrico. Ele é incombustível e não reage com a maioria das substâncias. Ele fornece sua própria pressão de descarga do reservatório de estocagem, exceto em climas extremamente frios quando uma carga de nitrogênio como reforço pode ser adiconada para "climatizar"o sistema. Normalmente o CO_2 é um gás, mas ele é facilmente liqüefeito por compressão e resfriamento. Após a liqüefação, o CO_2 permanecerá em um reservatório fechado em ambas as condições, líquido e gás. Quando, então, o CO_2 for descarregado para a atmosfera, a maior parte do líquido se expande para gás. O calor absorvido pelo gas durante a vaporização resfria o líquido remanescente para 80º C (-110ºF) e ele se torna um dividido sólido branco, "neve" de gelo seco.

O CO_2 é 1 1/2 vezes mais pesado do que o ar, o que lhe permite substituir o ar sobre as superfícies que estão queimando e mantendo uma atmosfera sufocante.

O CO_2 é eficiente como um extintor primário, porque ele dilui o ar e reduz a quantidade de oxigênio para que o ar não possa sustentar a combustão. Sob certas condições, algum efeito de abaixamento da temperatura é também realizado.

O CO_2 é considerado somente meio tóxico, mas ele pode causar a inconsciência e a morte pela sufocação se a vítima respirar o CO_2 concentrado em extintor de incêndio por 20 a 30 minutos. O CO_2 não é eficaz como extintor em incêndios, envolvendo produtos químicos que contenham o seu próprio suprimento de oxigênio, como o nitrato de celulose (pintura de algumas aeronaves). Do mesmo modo, incêndios envolvendo magnésio e titânio (usado em estruturas e conjuntos de aeronaves) não podem ser extintos pelo CO_2.

(2) Nitrogênio, N_2, é um agente extintor ainda mais eficiente. O CO_2 é um gás inerte de baixa toxidade. O N_2 extingue pela diluição do oxigênio e pelo abafamento; ele é perigoso para o ser humano do mesmo modo que o CO_2. Porém, maior resfriamento é proporcionado pelo N_2 libra por libra, ele proporciona quase duas vezes o volume de gás inerte para o fogo do que o CO_2, resultando em maior diluição do oxigênio.

A principal desvantagem do N_2 é que ele deve ser estocado como um criogênio líquido, o qual requer um condensador e tubulações associadas para manter a 160º C (-320ºF) de temperatura o nitrogênio líquido (LN_2).

Algumas das grandes aeronaves da Força Aérea em serviço, utilizam o LN_2 em diversos usos. Os sistemas são utilizados, em primeiro lugar, para neutralizar a atmosfera no interior do tanque de combustível pela substituição da maior parte do ar por gases secos de nitrogênio e, por esse meio, diluindo o oxigênio existente.

Com a grande quantidade de LN_2 assim disponível, o N_2 é também usado para o controle do fogo de aeronaves, e é praticável como um agente extintor de fogo do motor.

Um sistema de descarga de LN_2 de longa duração pode proporcionar maior segurança do que os sistemas convencionais de pouca duração, pelo resfriamento do potencial das fontes de reignição do fogo, e reduzindo a razão de vaporização de algum remanescente fluido inflamável após a extinção fogo.

Os sistemas de nitrogênio líquido estão previstas para serem passados para o uso comercial em um futuro próximo.

SISTEMAS DE EXTINÇÃO DE FOGO

a. *Sistemas de Alta-Razão-de-Descarga*. Esse termo, abreviado para HRD (High-Rate-of-Discharge), é aplicado para os sistemas altamente eficientes mais correntemente em uso. Os sistemas HRD proporcionam uma alta razão de descarga através de alta pressurização, pequenas linhas de alimentação e grandes válvulas e saídas de descarga.

O agente extintor é usualmente um dos hidrocarbonos halogenados (halons) algumas vezes reforçados pela alta pressão do nitrogênio seco (N_2). Devido o agente e o gás de pressurização de um sistema HRD serem liberados dentro da zona de fogo em um segundo ou menos, a zona fica temporariamente pressurizada, e interrompe o fluxo de ar de ventilação.

Algumas aberturas de grande dimensão estão cuidadosamente localizadas para produzir efeitos de turbilhonamento de alta velocidade para melhor distribuição.

b. *Sistemas convencionais*. Esse termo é aplicado para aquelas primeiras instalações de extinção de incêndios usadas em aeronaves. Igualmente usados em algumas aeronaves antigas, os sistemas são satisfatórios para as suas intenções de uso, mas não são tão eficientes quanto os atualmente desenvolvidos. Tipicamente, esses sistemas utilizam um tubo em forma de anel perfurado, também chamado de bico distribuidor de descarga.

												PRESSÃO DO VAPOR	
AGENTE	SÍMBOLO	FÓRMULA QUÍMICA	TIPO DE AGENTE	NÚME-RO HALON	GRUPO “UL” DE TOXIDA-DE(3)	GRAVI-DADE A 68º F	PESO ESPECí-FICO Cl_3	PONTO DE EBULIÇÃO	PONTO DE CONGELA-MEN-TO ºF	CALOR DE VAPORIZAÇÃO	CONCENTRAÇÃO LETAL APROX. PAR-TES POR MINUTO	a 70ºF	a 160ºF
Dióxido de carbono	CO_2	CO_2	Gás líquido	_	5	1529(1)	0.1234(2)	-110	-110	112,5	658,000 658,000	750	_
Tetracloreto de carbono	CTC	CCI_4	Líquido	104	3	1.60	0.059	170	-8	83,5	28,000 300	1,9	12,5
Brometo de metila	MB	CH_3BR	Líquido	1001	2	1.73	0.0652	39	-139	108,2	5,900 9,600	27	120
Bromocloro-metano	CB BCM,CMB	CH_2BrCI	Líquido	1011	3	1.94	0,069/ 0,070	149	-124	99,8	65,000 4,000	2,7	17,0
Bromoclori-difluorome-tano	BCF	$CBrC1F_2$	Gás lique-feito	1211	5	1.83	0,0663	25	-257	57,6	324,000 7,650	35	135
Dibromodi-fluorometa-no		CBr_2F_2	Líquido	1202	4	2.28	0,0822	76	-112	52,4	54,000 1,850	13	58
Bromotri-fluo-rometano (Bromotri)	BT	$CBrF_3$	Gás lique-feito	1301	6	1.57	0,057	-72	-270,4	47,7	800,000 20,000	212	550
Nitrogênio	N_2	N_2	_	_	5	0.97 (1)	0,078(2)	-320		85			

(1) Gás seco comparado ao ar seco na mesma temperatura e pressão.

(2) Peso específico em lbs/pé^3; pressão de 1 atmosfera a 0ºC.

(3) Ver as definições na figura 10-9.

(4) O 1º valor representa o agente frio, o segundo valor representa o ,agente aquecido a 1475ºF.

Figura 10-10 Características dos agentes extintores.

Uma das aplicações de um anel perfurado está na seção de acessórios de um motor convencional, onde o fluxo de ar é fraco e as necessidades de distribuição não são tão severas. Os arranjos de bico distribuidor são usados na seção de força das instalações de motores convencionais, com os bicos colocados por trás de cada cilindro, e em outras áreas necessárias, para proporcionar uma distribuição adequada. Esse sistema normalmente usa dióxido de carbono (CO_2) como extintor, mas pode ser usado qualquer outro agente adequado.

SISTEMAS EXTINTORES DE FOGO, DE CO_2, DOS MOTORES CONVENCIONAIS

O CO_2 é um dos mais antigos tipos de sistemas extintores de fogo dos motores convencionais das aeronaves de transporte, e, é ainda, usado em muitas aeronaves antigas.

O sistema extintor de fogo é projetado em torno de uma garrafa de CO_2 (figura 10-11) e uma válvula de controle remoto operada da cabine.

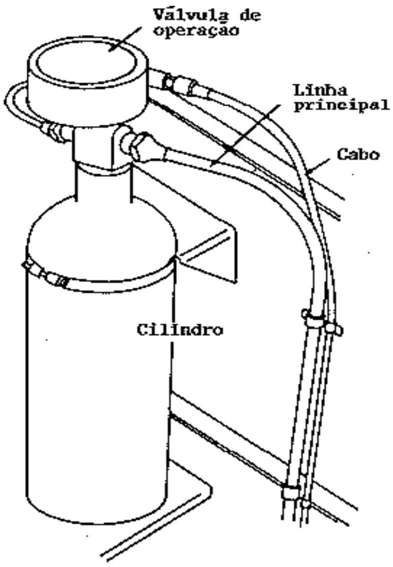


Figura 10-11 Instalação de garrafa de dióxido de carbono (CO_2).

A garrafa armazena o dióxido de carbono abafador de chama sob a pressão requerida, para distribuir o agente extintor para o motor. O gás é distribuído através de tubulações da válvula da garrafa de CO_2 para o conjunto de controle da válvula na cabine e, então, para os motores por tubulações instaladas na fuselagem e túneis da asa. A tubulação terminal, em forma de círculo, é toda perfurada, envolvendo os motores (figura 10-12).

Para operar o sistema de extinção de fogo de CO_2, a válvula seletora deve ser comandada para o motor que contenha fogo. Um puxão no punho em "T" de controle, localizado próximo a válvula seletora do motor, atua a haste de alívio da válvula da garrafa de CO_2.

O líquido comprimido na garrafa de CO_2 flui em uma rápida descarga para as saídas da linha de distribuição (figura 10-12) do motor afetado. O contato com o ar converte o líquido em gás e "neve", o que abafa a chama.

Um dos mais sofisticados tipos de sistema de proteção contra fogo de CO_2 é usado em muitas aeronaves de quatro motores. Esse sistema é capaz de liberar CO_2 duas vezes para cada um dos quatro motores.

Sistemas de aviso de fogo são instalados em todas as localizações perigosas da aeronave para fornecer um alarme em caso de fogo.

Os vários sistemas de alarme operam luzes de aviso no painel de controle de fogo na cabine, energizando, também, um alarme sonoro na cabine.

Um sistema típico de CO_2 consiste de seis garrafas, montada três de cada lado do alojamento da roda do nariz. Válvulas de enchimento são instaladas em cada garrafa de CO_2. As garrafas de cada fileira são interconectadas. As válvulas de duas garrafas traseiras, de cada conjunto de três, são projetadas para serem abertas mecanicamente por um cabo conectado ao punho de controle de descarga, no painel principal de controle de fogo na cabine.

Em caso de descarga pelos meios mecânicos, a válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo é operada pela pressão de CO_2, aliviada das duas garrafas traseiras através da linha de interconexão. A válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo contém um solenóide.

A válvula é projetada para ser operada eletricamente, quando o solenóide for energizado pela atuação de um botão no painel de controle.

No caso de uma descarga pelos meios elétricos, as válvulas das duas garrafas traseiras de cada grupo são operadas pela pressão de CO_2, aliviada da garrafa dianteira através da linha de interconexão. Cada grupo de garrafas de CO_2 tem um disco vermelho, indicador de descarga térmica de segurança que será rompido quando a pressão atingir ou ultrapassar 2.650 p.s.i.

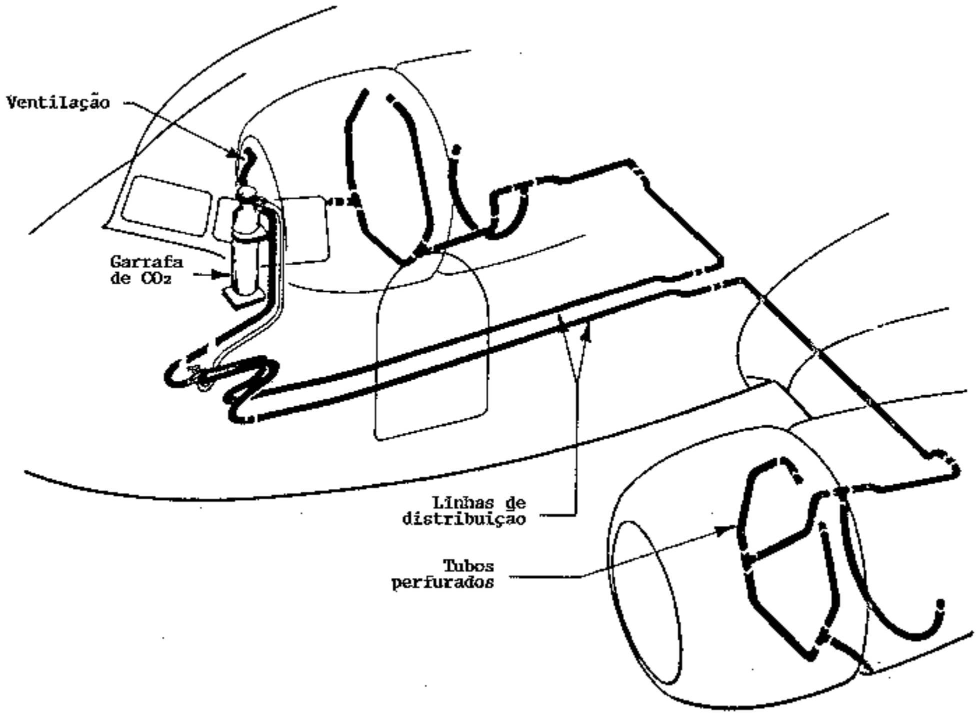


Figura 10-12 Sistema extintor de fogo de CO2 em uma aeronave bimotora de transporte.

A descarga ocorrerá também em temperaturas acima de 74º C.

Cada conjunto de garrafas também tem um disco amarelo indicador da descarga do sistema. Montado ao lado do disco vermelho, o disco amarelo indica qual grupo de garrafas foi esvaziado por uma descarga normal.

Esses tipos de sistemas de proteção contra fogo, de CO_2, incluem um sistema de alarme de fogo. Ele é um sensor contínuo, de baixa impedância, e do tipo de religação automática para o motor e área da nacele do motor.

Um único circuito detector de fogo é previsto para cada motor e área da nacele.

Cada circuito completo consiste de uma unidade de controle, elementos sensores, um relé de teste, uma luz e um relé do circuito de aviso de fogo.

Equipamentos associados, como conjunto de conectores flexíveis, fios, passadores de borracha, braçadeiras e presilhas de montagem, são usados em várias quantidades, dependendo das necessidades individuais da instalação.

Por exemplo, em uma aeronave de quatro motores, quatro conjuntos de luzes de alarme, sendo uma para cada motor e área da nacele, dão a correspondente indicação de aviso quando um alarme for iniciado pelo respectivo circuito de aviso de fogo do motor.

Conjuntos de luzes de alarme nos punhos de comando manual de CO_2 são conectados para todos os quatro circuitos detectores de fogo do motor, em conjunto com um alarme sonoro de fogo com os seus interruptores de corte protegidos e luzes de indicação.

O fio isolado do circuito detector é encaminhado da unidade de controle no compartimento de rádio para o relé de teste. O fio é então dirigido através da nacele e seções do motor, retornando para o relé de teste, onde ele será unido a sua outra extremidade formando um circuito contínuo. Cada unidade de controle contém transistores, transformadores, resistores, capacitores e um potenciômetro.

Ele também contém um circuito integrado, o qual introduz um retardo que tira a sensibilidade do sistema de aviso para um sinal transitório de curta duração, que, por outro lado, causam falsos alarmes momentâneos.

Quando uma condição de fogo ou superaquecimento existir em um motor ou área da nacele, a resistência do sensor diminuirá abaixo de um valor determinado pelo potenciômetro da unidade de controle, o qual está em um circuito de referência do circuito detector e amplificador da unidade de controle.

A saída desse circuito energiza o alarme sonoro e a luz de aviso de fogo.

SISTEMA DE PROTEÇÃO DE FOGO DE TURBOJATO

Um sistema de proteção de fogo para uma aeronave multimotora, equipada com turbojatos está descrito em detalhes nos parágrafos seguintes.

Esse sistema é típico da maioria das aeronaves de transporte turbojato, incluindo componentes e sistemas típicamente encontrados em todas as aeronaves semelhantes. O sistema de proteção de fogo, da maioria das grandes aeronaves com motor a turbina consiste de dois subsistemas: um sistema detector de fogo e um sistema e extinção de fogo.

Esses dois subsistemas proporcionam proteção contra fogo, não somente no motor e áreas da nacele, mas também em área como os compartimentos de bagagem e alojamento das rodas.

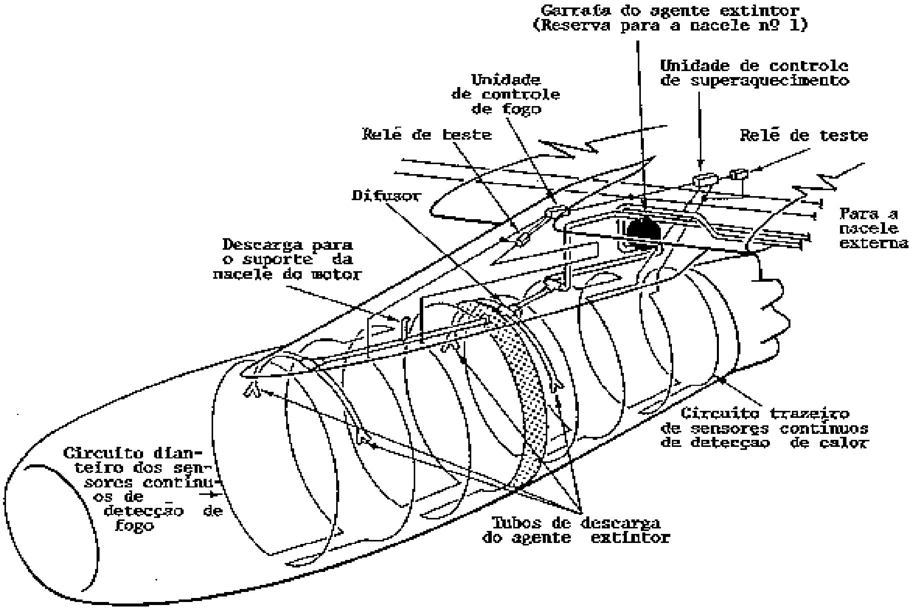

Garrafa do agente extintor
(Reserva para a nacele nº 1)
Unidade de controle de superaquecimento
Unidade de controle de fogo
Relé de teste
Relé de teste
Difusor
Para a nacele externa
Descarga para o suporte da nacele do motor
Circuito trazeiro de sensores contínuos de detecçao de calor
Circuito dianteiro dos sensores contínuos de detecção de fogo
Tubos de descarga do agente extintor

Figura 10-13 Instalação típica de proteção da nacele do motor e seu suporte ("Pylon").

Cada motor à turbina instalado em uma nacele suspensa contém um circuito de detecção de fogo, automático, sensível ao calor.

Esse circuito consiste de uma unidade sensível ao calor, uma unidade de controle, um relé e dispositivos de alarme. Normalmente os dispositivos de alarme incluem uma luz de aviso na cabine para cada circuito, e um alarme sonoro para todos os circuitos em conjunto.

A unidade sensora de calor de cada circuito possui um detector contínuo em torno das áreas a serem protegidas. Essas áreas são os queimadores e a área do escapamento.

Também incluídas, na maioria dos sistemas de extinção de fogo das aeronaves, estão a área do compressor e a área dos acessórios, as quais em algumas instalações podem ser protegidas por um circuito separado, de proteção de fogo. A figura 10-13 ilustra a rota típica de um detector contínuo de um circuito de detecção de fogo em um motor instalado em nacele suspensa. Um detector contínuo típico é formado por uma série de elementos unidos uns com os outros, por conectores a prova de umidade, os quais são fixados à estrutura da aeronave.

Na maioria das instalações, o detector contínuo é preso por dispositivos ou presilhas a cada 10 ou 12 polegadas de distância. Um espaço maior entre os suportes pode permitir vibração ou atrito da seção livre, e tornar-se uma fonte de falsos alarmes. Em um típico sistema detector de fogo de um motor a turbina, uma unidade de controle individual é prevista para cada circuito sensor. A unidade de controle contém um amplificador transistorizado ou magnético, o qual produz uma saída, quando um fluxo de corrente predeterminado de entrada for detectado pelo sensor contínuo. Cada unidade de controle também contém um relé de teste, que é usado para simular uma condição de fogo ou de superaquecimento para o circuito de teste. A saída do amplificador, da unidade de controle, é usada para energizar um relé de aviso, muitas vezes chamado de "relé de fogo". Normalmente localizado próximo às unidades de controle, esses relés de fogo, quando energizados, completam o circuito para o apropriado dispositivo de aviso. Os dispositivos de aviso para as condições e, fogo e superaquecimento do motor e nacele, estão localizados na cabine.Uma luz de aviso de fogo para cada motor, normalmente é localizada em um interrruptor especial de fogo na forma de um punho, localizado no painel de instrumentos ou no painel de controle de fogo.

Esses interruptores de fogo são, algumas vezes, chamados de "punhos de fogo", conforme está ilustrado na figura 10-14. O punho de fogo contém a luz de aviso de detecção de fogo.

Em alguns modelos desse punho interruptor de fogo, ao ser puxado, ele deixa exposto um interruptor, que anteriormente era inacessível, o qual comanda o agente extintor, e também atua microinterruptores que energizam as válvulas de corte em emergência e outras válvulas pertinentes.

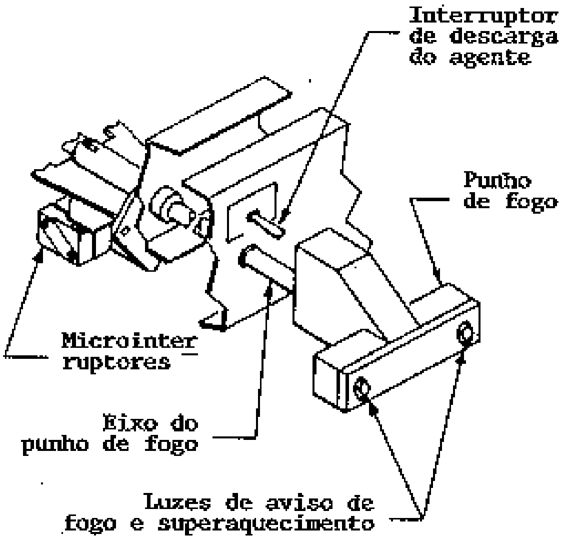

Interruptor de descarga do agente
Punho de fogo
Microinter ruptores
Eixo do punho de fogo
Luzes de aviso de fogo e superaquecimento

Figura 10-14 Interruptor e punho de fogo.

SISTEMA DE EXTINÇÃO DE FOGO DE MOTORES A TURBINA

A parte de extinção de fogo de um típico sistema de proteção de fogo completo, inclui uma garrafa ou reservatório de um agente extintor, para cada motor ou área da nacele. Um tipo de instalação prevê uma garrafa de agente para cada uma das naceles suspensas de uma aeronave multimotora. Esse tipo de sistema usa uma garrafa ou reservatório de agente extintor, semelhante ao tipo mostrado na figura 10-15.

Esse tipo de garrafa é equipado com duas válvulas de descarga que são operadas por cartuchos disparados eletricamente.

Essas duas válvulas são o controle principal e o reserva, que liberam e dirigem o agente para a nacele suspensa na qual a garrafa está localizada, ou para o outro motor da mesma asa.

Esse tipo de tiro duplo, configuração de alimentação cruzada, permite a liberação de uma segunda carga de agente extintor de fogo para o mesmo motor, se um outro foco de fogo ocorrer sem a condição de duas garrafas para cada área do motor.

Um outro tipo de instalação para quadrimotores usa dois sistemas independentes de extinção de fogo.

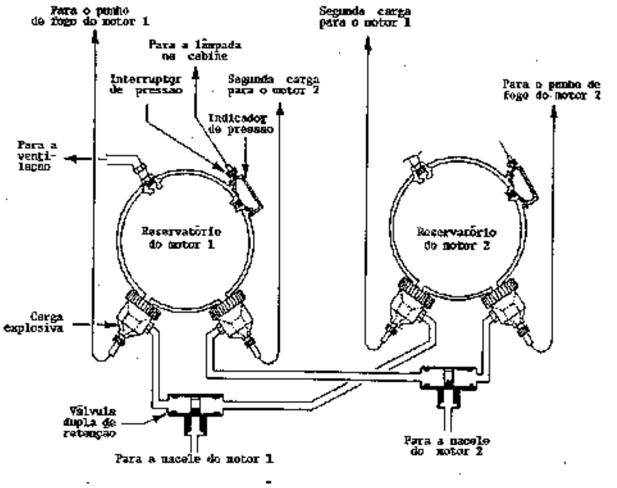

Para o punho de fogo do motor 1
Para a lâmpada na cabine
Interruptor de pressão
Segunda carga para o motor 2
Indicador de pressão
Segunda carga para o motor 1
Para o punho de fogo do motor 2
Para a ventilação
Reservatório do motor 1
Reservatório do motor 2
Carga explosiva
Válvula dupla de retenção
Para a nacele do motor 1
Para a nacele do motor 2

Figura 10-15 Sistema de extinção de fogo para uma aeronave multimotora.

Os dois motores do mesmo lado da aeronave são equipados com dois reservatórios de agente extintor (figura 10-16), mas eles estão localizados juntos na nacele suspensa interna. Um indicador da pressão, um plugue de descarga e uma conexão de segurança são previstas para cada reservatório.

O plugue de descarga é selado com um disco quebrável, combinado com uma carga explosiva que é eletricamente detonada para descarregar o conteúdo da garrafa.

A conexão de segurança é fixada na parte interna da estrutura com um indicativo disco vermelho.

Se a temperatura ultrapassar um predeterminado valor de segurança, o disco será rompido, extravazando o agente.

A conexão de alimentação dos dois reservatórios de uma instalação dupla (fugura 10-16) inclui uma válvula de retenção dupla e uma conexão em "T", da qual as tubulações são ligadas ao indicador de descarga.

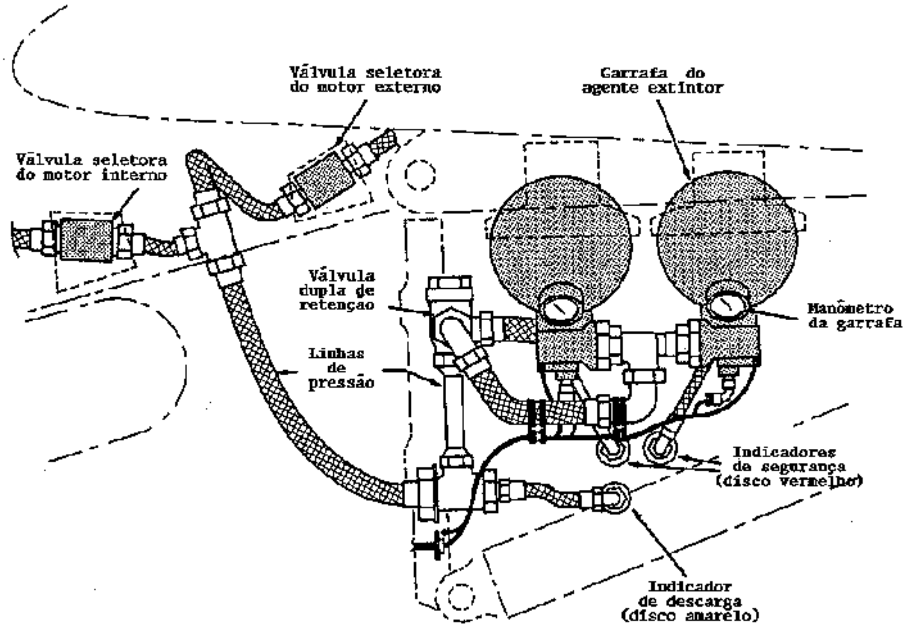

Válvula seletora do motor externo
Garrafa do agente extintor
Válvula seletora do motor interno
Válvula dupla de retenção
Manômetro da garrafa
Linhas de pressão
Indicadores de segurança (disco vermelho)
Indicador de descarga (disco amarelo)

Figura 10-16 Instalação das garrafas e conexões.

Esse indicador é fixado na parte interna da estrutura com um indicativo disco amarelo, o qual é rompido quando a linha de alimentação for pressurizada por qualquer uma das garrafas.

A linha de descarga tem dois ramais (figura 10-16), uma linha pequena para o motor interno e outra mais comprida, estendendo-se pelo bordo de ataque da asa para o motor externo. Ambos os ramais terminam numa conexão em "T", próxima a fixação dianteira do motor.

A forma do tubo de descarga pode variar com o tipo e o tamanho das instalações do motor. Na figura 10-17, um tubo de descarga semicircular, com uma terminação em "Y" envolve a área dianteira superior tanto do compartimento dianteiro como do traseiro do motor.

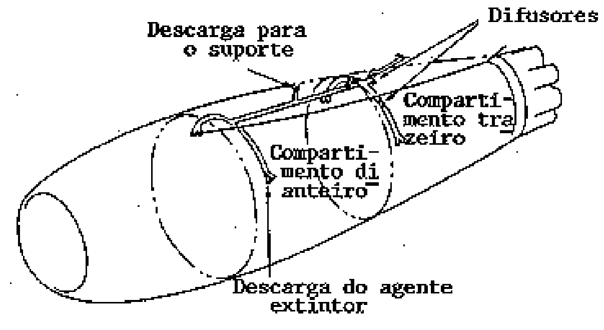

Descarga para o suporte
Difusores
Compartimento trazeiro
Compartimento dianteiro
Descarga do agente extintor

Figura 10-17 Tubos de descarga do agente extintor.

Orifícios de dispersão do agente extintor estão espaçados ao longo do tubo de descarga. Um tubo de descarga é incorporado na entrada da linha, para descarregar o agente extintor dentro da área do suporte da nacele suspensa.

Um outro tipo de instalação da descarga do agente extintor de fogo é mostrado na figura 10-18. A linha de descarga termina em um bico ejetor em "T", próximo ao suporte dianteiro do motor. A conexão "T" contém orifícios difusores que permitem que o agente extintor seja lançado ao longo da parte superior do motor e ao longo de ambos os lados do motor.

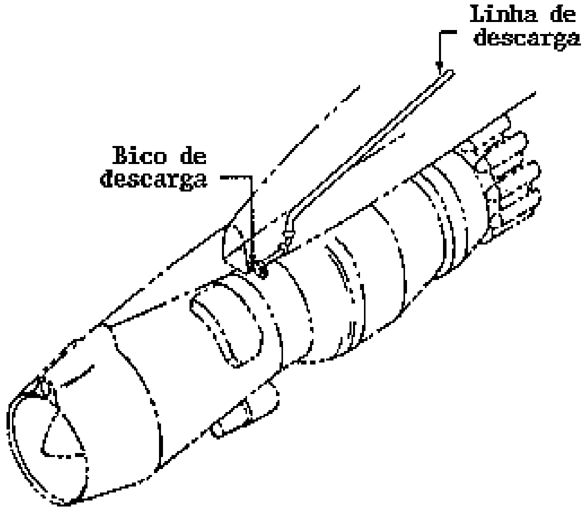

Linha de descarga
Bico de descarga

Figura 10-18 Localização dos bicos de descarga do agente extintor.

Quando qualquer parte do sensor contínuo estiver exposta a uma condição de fogo ou superaquecimento, a luz de aviso na cabine acenderá, e o alarme soará.

A luz de aviso pode estar localizada no punho de fogo, em algumas instalações o interruptor de fogo pode incorporar uma associada luz de aviso para um motor em particular sob uma cobertura de plástico translúcido, como é mostrado na figura 10-19. Nesse sistema um interruptor de transferência é instalado para o sistema de extinção de fogo esquerdo e direito.

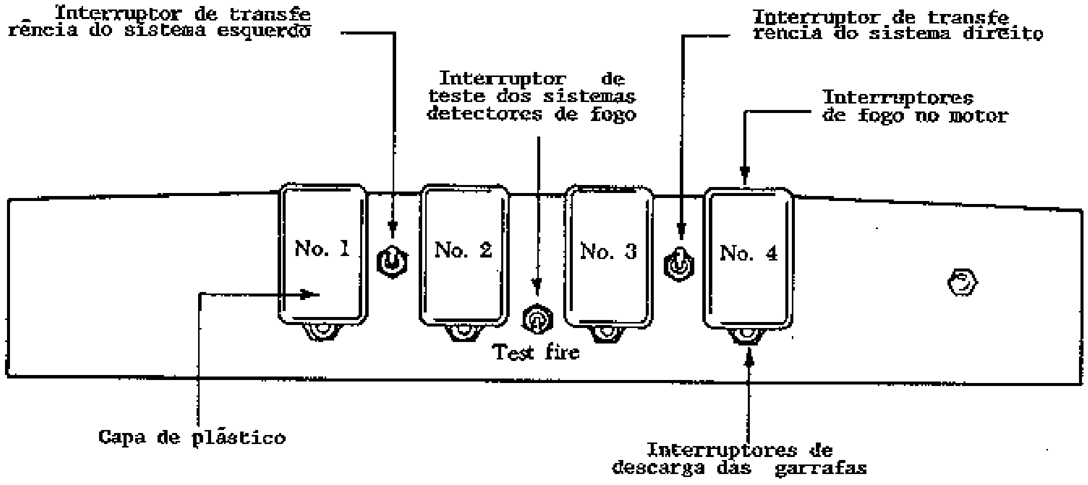

Interruptor de transfe rência do sistema esquerdo
Interruptor de teste dos sistemas detectores de fogo
Interruptor de transfe rência do sistema direito
Interruptores de fogo no motor
No. 1
No. 2
No. 3
No. 4
Test fire
Capa de plástico
Interruptores de descarga das garrafas

Figura 10-19 Interruptores do sistema de detecção e extinção de fogo.

Cada interruptor de transferência tem duas posições: "TRANS" e "NORMAL". Se ocorrer uma condição de fogo no motor número 4, a luz de aviso no interruptor de fogo número 4 acenderá; e com o interruptor de transferência na posição "NORMAL", o interruptor de fogo número 4 é puxado e o interruptor de descarga número 4, localizado diretamente sob o punho de fogo, ficará acessível. Ativando o interruptor de descarga, o agente extintor será enviado da garrafa para a área do motor número 4.

Se for necessária mais do que uma descarga do agente extintor, o interruptor de transferência deverá ser colocado na posição "TRANS" para que a segunda garrafa possa ser descarregada naquele mesmo motor.

Um controle do alarme sonoro permite que qualquer um dos circuitos de detecção de fogo dos motores, energize o alarme sonoro comum.

Após o alarme ter soado, ele poderá ser silenciado pelo acionamento do interruptor de corte do alarme (figura 10-19). O alarme sonoro pode também reagir a um sinal de fogo, vindo de qualquer um dos circuitos.

A maior parte dos sistemas de proteção para as aeronaves com motor à turbina inclui também um interruptor de teste e um circuito, que permite que o sistema de detecção seja testado inteiramente, ao mesmo tempo. O interruptor de teste está localizado no centro do painel mostrado na figura 10-19.

PROTEÇÃO DE FOGO NO SOLO DOS MOTORES A TURBINA

O problema de fogo no solo tem aumentado seriamente com o aumento do tamanho das aeronaves de motor a turbina. Por essa razão, são proporcionados meios de rápido acesso ao compressor, escapamento e/ou compartimento dos queimadores.

Assim, muitos sistemas de aeronaves estão equipados com portas de acesso sob ação de mola na superfície externa de vários compartimentos. Tais portas estão usualmente localizadas em áreas acessíveis, mas não em uma região onde a abertura da porta possa derramar líquidos em combustão sobre o operador do extintor.

O fogo na parte interna do escapamento dos motores, durante o corte ou falsa partida, pode ser eliminado pelos giros do motor com o motor de partida. Se o motor já estiver funcionando ele pode ser acelerado para atingir o mesmo resultado. Se o fogo persistir, um agente extintor de fogo pode ser dirigido ao interior do tubo de escapamento.

O que deve ser levado em conta, é que o uso excessivo de CO_2, ou outro agente que tenha o efeito de resfriamento, pode contrair o alojamento da turbina ou a própria turbina, causando danos ao motor.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO

Os elementos sensores de detecção de fogo estão localizados em muitas áreas de grande atividade em torno dos motores da aeronave. Sua localização, junto com sua pequena dimensão, aumentam a chance de danos aos elementos sensores durante a manutenção.

A instalação dos elementos sensores dentro dos painéis das naceles das aeronaves, proporciona algumas medidas de proteção não fornecidas aos elementos fixados diretamente ao motor. Por outro lado, a remoção e instalação dos painéis das naceles, podem facilmente causar atritos ou defeitos estruturais aos elementos sensores.

Um programa de inspeção e manutenção para todos os tipos de sistemas sensores contínuos, deverá incluir as checagens visuais apresentadas a seguir. Esses procedimentos são apenas exemplos, e não deverão ser usados em substituição às aplicáveis instruções do fabricante.

Os elementos sensores deverão ser inspecionados nos seguintes itens:

(1) Seções rachadas ou quebradas, causadas por choque ou aperto entre janelas de inspeção, painéis das naceles ou componentes do motor.

(2) Desgaste causado pelo atrito do elemento com o revestimento, acessórios, ou membros estruturais.

(3) Pedaços de arame de freno ou outras partículas de metal que possam formar um curto-circuito nos terminais do detector.

(4) Condições das juntas de borracha nas braçadeiras de montagem, que podem ter sofrido amolecimento pela exposição a óleos, ou endurecimento pelo calor excessivo.

(5) Mossas ou dobras nas seções dos elementos sensores. Os limites do diâmetro dos elementos, as mossas e as dobras aceitáveis, e o grau de suavidade dos contornos dos tubos, são especificados pelo fabricante. Nenhum esforço deve ser feito para endireitar qualquer mossa ou dobra aceitável, porque o esforço poderá causar uma falha na tubulação (veja na figura 10-20 um exemplo de falha na tubulação).

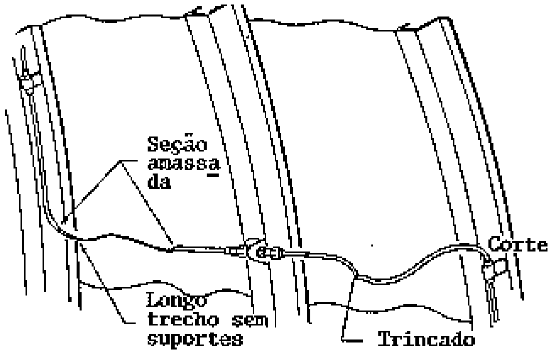


Figura 10-20 Defeitos do elemento sensor.

(6) Porcas frouxas ou arames de freno quebrados nos terminais dos elementos sensores (figura 10-21). As porcas frouxas deverão ser reapertadas para o valor de torque especificado pelo fabricante. Alguns tipos de juntas de conexão de elementos sensores requerem o uso de juntas de cobre contra atrito. Essas juntas deverão ser substituídas todas as vezes em que a conexão for desfeita.

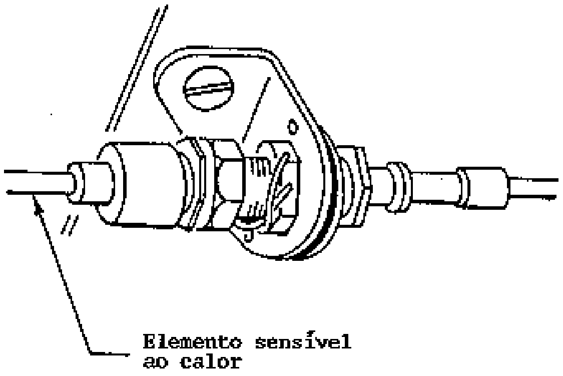


Figura 10-21 Junta conectora fixada à estrutura.

(7) Se forem usados cabos blindados flexíveis, eles deverão ser inspecionados quanto ao desgaste ou quebra da malha externa. A blindagem é feita de uma malha de finos fios de metal trançados dentro de uma cobertura, que envolve um fio isolado. Contínuas dobras do cabo ou um tratamento grosseiro poderão partir esses fios finos, especialmente aqueles próximos das conexões. A malha quebrada poderá também penetrar na junta de isolamento, provocando um curto com o eletrodo central.

(8) A rota adequada e a fixação dos elementos sensores devem ser inspecionados (figura 10-22). Seções muito longas entre suportes

podem permitir excessiva vibração, podendo causar a quebra. A distância entre as braçadeiras de fixação nos espaços retos, deve ser normalmente de 8 a 10 polegadas, conforme a especificação de cada fabricante. O primeiro suporte de fixação, após uma conexão, normalmente é colocado entre 4 e 6 polegadas da conexão de junção. Na maioria dos casos, uma reta de uma polegada é mantida antes e após todos os conectores, para então ser feita uma curva e um ótimo raio de curva de 3 polegadas.

(9) Interferência entre um tirante da nacele e o elemento sensor (figura 10-22). Essa interferência, combinada com a folga dos rebites de fixação dos suportes ao revestimento, podem causar desgaste e curto-circuito no elemento sensor.

(10) Correta instalação dos anéis isolantes. Os anéis isolantes são instalados nos elementos sensores para evitar atrito e consequente desgaste com a braçadeira. O final cortado do isolante deverá estar voltado para a parte curva da braçadeira. As braçadeiras e os anéis isolantes deverão fixar o elemento sensor sem danificá-lo (figura 10-23).

(11)

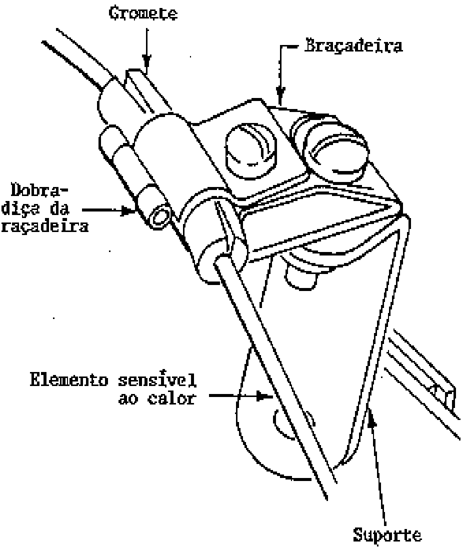


Figura 10-23 Braçadeira típica de fixação do elemento sensor.

(11) As braçadeiras de montagem do detector do sistema de par térmico devem ser reparadas ou substituídas quando rachadas, corroídas ou danificadas. Quando substituindo um detector de par térmico, é observado a correta conexão dos fios da unidade com defeito e conectado os fios da nova unidade nas mesmas posições.

(12) Testa-se o sistema de detecção de fogo quanto a operação correta, ligando o suprimento de força e colocando o interruptor de teste de detecção de fogo na posição "Test". A lâmpada vermelha de aviso deverá acender dentro do prazo estabelecido para o sistema. Em algumas aeronaves, um alarme sonoro também será ouvido. Adicionalmente, os circuitos detectores de fogo são checados quanto à resistência especificada e quanto a condições de continuidade ou fugas para a "massa". Os testes necessários, após reparos ou substituições de unidades em um sistema de detectação de fogo, ou quando o sistema estiver inoperante inclui: (1) Checagem da polaridade, ligação à massa, resistência e continuidade do sistema que utiliza unidades detectoras de par térmico; e (2) teste de resistência e de continuidade executado em sistemas com unidades detectoras a cabo ou elementos sensores. Em todas as situações, são seguidas as recomendações práticas e os procedimentos do fabricante do tipo do sistema, com o qual se está trabalhando.

PESQUISA DE PANES DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOGO

Os seguintes procedimentos de pesquisa de panes representam a maior parte das dificuldades comuns, encontradas nos sistemas de detecção de fogo.

(1) Alarmes intermitentes são, na maioria das vezes, causados por um curto-circuito intermitente na fiação do sistema detector. Tais curtos podem ser causados por um fio solto ou frouxo, que ocasionalmente toca em um terminal, um fio desgastado atritando em um membro da estrutura, ou ainda o elemento sensor atritando na estrutura o suficiente para desgastar o isolante. As falhas intermitentes muitas vezes podem ser localizadas pelo movimento dos fios para recriar o curto-circuito.

(2) Alarmes de fogo e luzes de aviso acesas podem ocorrer mesmo quando não houver fogo no motor ou condição de superaquecimento. Esses falsos alarmes podem ser mais facilmente localizados pela desconexão do sensor contínuo do motor da fiação da aeronave. Se o falso a-

larme continuar, pode estar havendo um curto entre as conexões do sensor e a unidade de controle. Se, no entanto, o alarme cessa quando o sensor é desconectado, a falha é no sensor que foi desconectado, o qual deverá ser examinado nas áreas que tenham a possibilidade de entrar em contato com as partes quentes do motor. Se em nenhuma destas áreas for encontrada, a seção em curto pode ser localizada isolando as conexões dos elementos consecutivos até o final do sensor contínuo.

(3) Curvas enrugadas ou agudas nos elementos sensores podem causar um curto intermitente entre o fio interno e o tubo externo. A falha pode ser localizada checando o elemento sensível com um megôhmetro, enquanto movimenta o elemento nas áreas suspeitas de produzir curto.

(4) Umidade no sistema de detecção raramente causa um falso alarme de fogo. Se, no entanto, a umidade causar um alarme, o aviso persistirá até que a contaminação seja removida ou desapareça com o calor, e a resistência do sensor retorne ao seu valor normal.

(5) Falha em obter um sinal de alarme quando o interruptor de teste é atuado, pode ser causada por um defeito no interruptor de teste ou na unidade de controle, deficiência de energia elétrica, lâmpada indicadora inoperante, uma interrupção no elemento sensor ou na conexão da fiação. Quando o interruptor de teste falha em proporcionar uma condição de alarme, a continuidade de um sensor contínuo de dupla fiação pode ser determinada pela abertura do sensor e medição da resistência. Em um sensor contínuo de fiação simples, o condutor central deverá ser ligado à massa.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA EXTINTOR DE FOGO

A manutenção regular dos sistemas típicos de extinção de fogo inclui itens como a inspeção e o recarregamento das garrafas de extintores de fogo (reservatórios), remoção e instalação dos cartuchos e válvulas de descarga, teste das tubulações de descarga quanto a vazamentos, e teste de continuidade da fiação elétrica. Os parágrafos seguintes contêm detalhes de alguns dos mais típicos procedimentos de manutenção, e são incluídos para proporcionar um entendimento das operações envolvidas .

Os procedimentos de manutenção dos sistemas extintores de fogo variam consideravelmente de acordo com o formato e a contrução da unidade em particular que está sendo operada. Os procedimentos detalhados, descritos pelo fabricante da aeronave ou do sistema, devem sempre ser seguidos quando executando serviços de manutenção.

Chacagem de Pressão das Garrafas

Uma checagem de pressão das garrafas ou reservatórios de extintores de fogo é feita periodicamente para determinar se a pressão está entre os limites mínimo e máximo, previstos pelo fabricante.

Mudanças da pressão podem acontecer, com as variações da pressão ambiente, para níveis inferiores aos limites previstos. O gráfico mostrado na figura 10-24 é típico da curva pressão-temperatura que fornece a máxima e a mínima leitura do instrumento. Se a pressão não cair dentro dos limites do gráfico, o reservatório deve ser substituído.

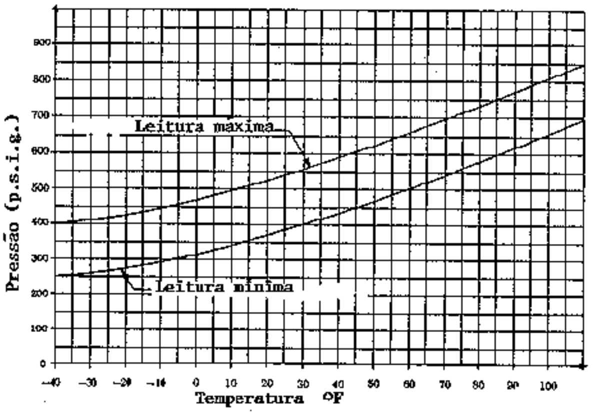


Figura 10-24 Curva de pressão/temperatura dos reservatórios de agente extintor de fogo.

Cartuchos de descarga do freon

O tempo de vida do cartucho de descarga do agente extintor de fogo é calculado pelo fabricante e estampada a data, na face do cartucho. O tempo de vida recomendado pelo fabricante é normalmente em termos de horas abaixo de uma predeterminada temperatura limite.

Muitos cartuchos são fornecidos com um tempo de vida de aproximadamente 5.000 horas.

Para determinar o tempo de validade não utilizado de um cartucho de descarga será necessário remover o cabo condutor de eletricidade e a linha de descarga do corpo do plugue, o qual pode ser removido do reservatório do agente extintor.

Muito cuidado deve ser tomado na substituição do cartucho e das válvulas de descarga. A maioria dos novos reservatórios de extintores são supridas com os seus cartuchos e válvulas de descarga desmontadas.

Antes da instalação na aeronave, o cartucho deve ser montado de maneira correta na válvula de descarga e a válvula conectada ao reservatório, por meio de uma porca serrilhada (do tipo conexão elétrica) que será apertada de encontro a um anel de vedação.

Se um cartucho for removido de uma válvula de descarga por qualquer motivo, ela não deverá ser usada em outra válvula de descarga, porque a distância do ponto de contato pode variar de uma unidade para outra.

Dessa forma, poderá não existir continuidade, se um plugue que foi usado com um ponto de contato muito longo for instalado em uma válvula de descarga com um ponto de contato menor.

Quando executando realmente os procedimentos de manutenção, os aplicáveis manuais de manutenção e outras publicações relativas àquela aeronave em particular, são consultados.

Reservatórios de freon

Os agentes extintores bromoclorometano e o freon são estocados em reservatórios esféricos de aço.

Atualmente, são usados em quatro tamanhos comuns, que vão de 224 polegadas cúbicas (menor) a 945 polegadas cúbicas (maior). O de tamanho maior pesa aproximadamente 33 libras.

A esfera menor tem duas aberturas, uma para o conjunto de descarga (algumas vezes chamado de cabeça de operação), e a outra para o plugue fusível de segurança (figura 10-25).

O reservatório maior é usado equipado com dois plugues de fiação e uma válvula de retenção dupla, como mostra a figura 10-26.

Os reservatórios são carregados com nitrogênio seco além do peso especificado do agente extintor. A carga de nitrogênio fornece suficiente pressão para a completa descarga do agente.

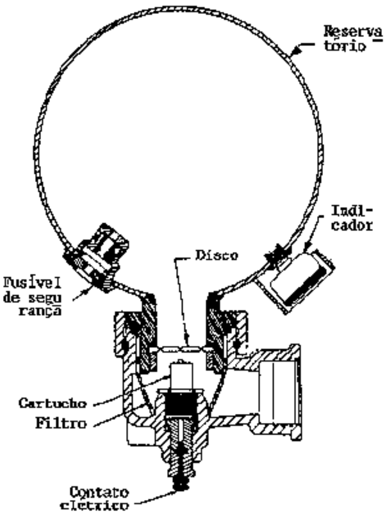


Figura 10-25 Conjunto de plugue simples de reservatório de esfera.

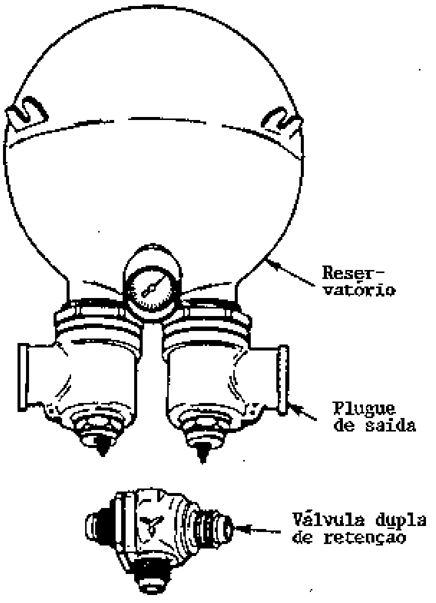


Figura 10-26 Conjunto de plugue duplo de extintor de fogo.

O conjunto do plugue contém um cartucho que é atuado eletricamente para quebrar o disco, permitindo que o agente extintor seja forçado para fora da esfera pela carga de nitrogênio.

Uma esfera com um conjunto de plugue simples está ilustrada na figura 10-25. A função das partes mostradas, além das que foram descritas nos parágrafos anteriores são as seguintes: (1) o filtro evita que peças que entrem no sistema quebrem o disco; (2) o plugue fusível de segurança se derrete e solta o líquido quando a temperatura está entre 100° C (208° F) e 103° C (220° F); e (3) o indicador mostra a pressão dentro do reservatório. Neste tipo de extintor não é necessário tubo sifão.

Em algumas instalações, o plugue de segurança é conectado a um indicador de descarga montado no revestimento da fuselagem, enquanto outros, simplesmente descarregam o fluido dentro do reservatório do extintor de fogo no compartimento de estocagem.

O instrumento no reservatório deverá ser checado quanto a indicação da pressão especificada de acordo com o manual de manutenção aplicável à aeronave. Além disso, o vidro do indicador não deve estar rachado ou quebrado, e o reservatório seguramente fixado.

Alguns tipos de agentes extintores rapidamente corroem a liga de alumínio, e outros metais, especialmente sob condições de umidade. Quando um sistema que usa um agente corrosivo tiver sido descarregado, o sistema deverá ser purgado minuciosamente com ar comprimido seco e limpo, tão cedo quanto for possível.

Quase todos os tipos de reservatórios de agentes extintores de fogo requerem uma repesagem a intervalos frequentes para determinar a condição da carga. Além dessa checagem de peso, os reservatórios devem ser hidrostaticamente checados, normalmente em intervalos de 5 anos.

A fiação do circuito de todos os reservatórios eletricamente descarregáveis deverão ser inspecionados visualmente quanto as suas condições. A continuidade completa do circuito deverá ser checada, seguindo-se os procedimentos do manual de manutenção aplicável.

Em geral, isto consiste em checar a fiação e o cartucho pelo uso de um resistor no circuito de teste, que limita a corrente do circuito para menos de 35 miliampères, para evitar a detonação do cartucho.

Garrafas de dióxido de carbono

Estes cilindros feitos em vários tamanhos, são feitos de aço inoxidável e são envolvidos com arame de aço para torna-los à prova de estilhaçamento.

A pressão normal de estocagem do gas é de 700 a 1.000 libras por polegada quadrada. No entanto, o estado da carga da garrafa é determinado pelo peso do CO_2 no estado líquido. Quando o CO_2 é liberado, ele se expande cerca de 500 vezes para se converte em gás.

A garrafa não tem uma proteção contra a baixa temperatura, porque o ponto de congelamento do dióxido de carbono é de 110º F negativos. No entanto, ela pode descarregar-se prematuramente em altas temperaturas. Para evitar isso, o fabricante coloca uma carga de nitrogênio seco a uma pressão de 200 p.s.i. antes de encher a garrafa com o dióxido de carbono.

Quando tratado desta maneira, a maioria das garrafas de CO_2 são protegidas contra descarga prematura acima de 70º C (160º F). Com o aumento da temperatura, a pressão do nitrogênio não aumenta tanto quanto a do CO_2 por causa da sua estabilidade com relação às trocas de temperatura. O nitrogênio também proporciona pressão adicional durante a liberação normal do CO_2 a baixas temperaturas durante um tempo frio.

As garrafas de dióxido de carbono são equipadas com um dos três tipos de tubos sifão, como mostram as figuras 10-27 e 10-28.

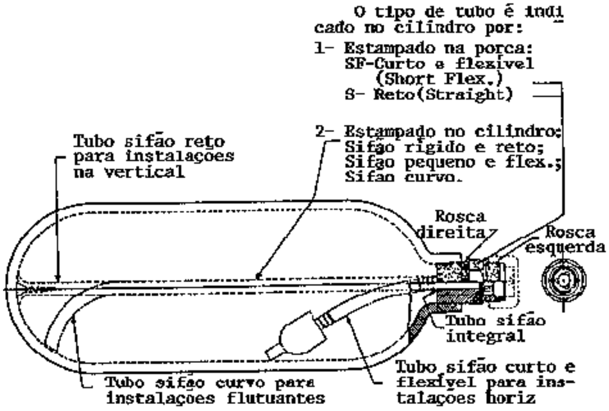

O tipo de tubo é indicado no cilindro por:
1- Estampado na porca:
SF-Curto e flexível (Short Flex.)
S- Reto(Straight)
2- Estampado no cilindro:
Sifão rigido e reto;
Sifão pequeno e flex.;
Sifão curvo.
Tubo sifão reto para instalações na vertical
Rosca direita
Rosca esquerda
Tubo sifão integral
Tubo sifão curvo para instalações flutuantes
Tubo sifão curto e flexível para instalações horiz

Figura 10-27 Construção da garrafa de CO_2.

Os extintores de fogo das aeronaves têm instalado, ou um tubo sifão reto e rígido, ou um curto e flexível. O tubo é usado para fazer com que o CO_2 seja transportado para o bico de descarga no estado líquido.

As garrafas contendo, tanto o tubo sifão reto e rígido ou o curto flexível, deverão ser montadas como mostra a figura 10-28.

Observa-se que o tubo sifão reto e rígido tem uma tolerância de inclinação de 60º, enquanto a tolerância do curto e flexível é de 30º.

As garrafas de CO_2 são equipadas com discos de metal de segurança, destinados a romperem-se de 2.200 a 2.800 p.s.i.. Os discos são fixados ao corpo da válvula de descarga por meio de um plugue rosqueado.

Uma linha conduz o agente extintor da conexão do corpo da válvula para um indicador de descarga instalado no revestimento da fuselagem.

A ruptura do disco vermelho é o meio que o plugue de segurança da garrafa tem de indicar a descarga da garrafa devido a uma condição de superaquecimento.

Um disco amarelo está também instalado no revestimento da fuselagem.

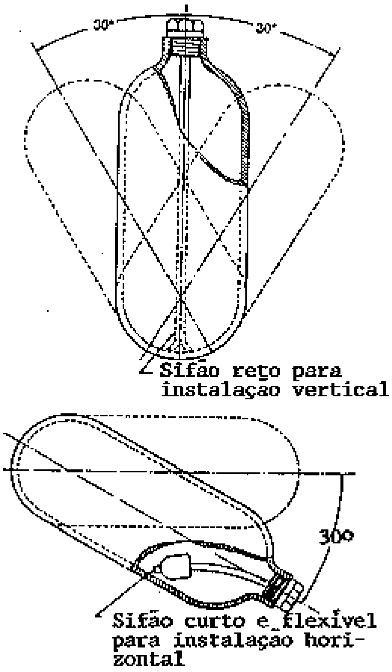

30°
30°
Sifão reto para instalação vertical
30°
Sifão curto e flexível para instalação horizontal

Figura 10-28 Posições de montagem das garrafas de CO_2.

O rompimento deste disco indica que o sistema foi descarregado normalmente.

PROTEÇÃO E PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Vazamentos de combustível e de fluidos hidráulicos, de degelo ou lubrificantes, podem ser fontes de incêndios em aeronaves. Essa condição deverá ser notada, e a ação corretiva tomada, quando inspecionando os sistemas da aeronave. Pequenos vazamentos de pressão desses fluidos são particularmente perigosos por produzirem rapidamente uma condição ambiente de explosão.

Inspeciona-se cuidadosamente as instalações dos tanques quanto a sinais de vazamentos externos. Nos tanques integrais de combustível, a evidência de vazamento externo pode ocorrer distante do local onde o combustível efetivamente está vazando.

Muitos fluidos hidráulicos são inflamáveis, e não deverá ser permitido um acúmulo deles na estrutura. Materiais isolantes de som e de estofamentos podem ser altamente inflamáveis se embebidos em alguma espécie de óleo.

Algum vazamento ou derramamento de fluido inflamável nas vizinhanças de aquecedores por combustão é um sério risco de fogo, particularmente se algum vapor estiver penetrando no aquecedor e passando sobre o calor da câmara de combustão.

O equipamento do sistema de oxigênio deve ser mantido absolutamente livre de vestígios de óleo ou graxa, em virtude dessas substâncias se inflamarem espontaneamente em contato com o oxigênio sob pressão.

Os cilindros abastecedores de oxigênio deverão ser marcados de modo bem claro para que não sejam confundidos com cilindros que contenham ar ou nitrogênio, porque este erro já resultou em explosões durante as operações de manutenção.

Prevenção contra incêndio é muito mais recompensador do que extintores de incêndio.

INTERIORES DA CABINE

Todos os tecidos de lã, algodão e sintéticos, usados como ornamentos, são tratados para que se tornem resistentes ao fogo. Testes têm mostrado que espuma ou esponja de borracha são altamente inflamáveis. No entanto, se eles forem envolvidos com tecidos resistentes à chama, os quais não suportariam a combustão, ficariam pouco perigosos de se inflamarem, como resultado de uma ignição produzida pelo contato acidental de um cigarro acesso ou um papel queimando.

A proteção contra incêndios para o interior da aeronave é normalmente, feita com extintores portáteis. Quatro tipos de agentes extintores de fogo são previstos para a extinção de incêndios no interior das aeronaves: (1) água; (2) dióxido de carbono; (3) produto químico seco; e (4) hicrocarbonetos halogenados.

Tipos de extintores

(1) Extintores de fogo com água são usados primariamente em fogo de origem não elétrica, como os de tecido queimando sem chama, ci-

garros, ou cestas de lixo. Extintores com água não deverão ser usados em fogo de origem elétrica por causa do perigo de eletrocução. Girando o punho de um extintor com água no sentido dos ponteiros do relógio, punciona-se o selo de um cartucho de CO_2 o qual pressuriza a garrafa. O jato de água, do bico de descarga, é controlado por um gatilho na parte superior do punho.

(2) Extintores de fogo com dióxido de carbono são destinados a extinção de fogo de origem elétrica. Um tubo longo, com um bico de descarga não metálico e com o formato cônico de um megafone permite a saída do gás de CO_2 próximo à fonte do fogo para abaf'á-lo. O tipo de gatilho de alívio é frenado com arame, que pode ser quebrado pelo comando do próprio gatilho.

(3) Um extintor de fogo com produto químico seco pode ser usado para extinguir qualquer tipo de incêndio. No entanto, o extintor com produto químico seco não deverá ser usado na cabine de comando, devido a possibilidade de interferência com a visibilidade e o acúmulo de pó não condutor, nos contatos elétricos e nos equipamentos ao redor. O extintor é equipado com um bico ejetor fixo, o qual é dirigido para a fonte de fogo para abafá-lo. O gatilho é também frenado com arame, que pode ser quebrado pelo aperto do gatilho.

(4) O desenvolvimento dos hidrocarbonetos halogenados (freons) como agentes extintores de fogo com baixa toxidade para sistemas de extinção de fogo a bordo, com atenção logicamente dirigida para o seu uso em extintores de fogo do tipo portátil.

O bromotrifluorometano (Halon 1301) tendo uma razão de 6 na escala de toxidade é o lógico sucessor para o CO_2, como um agente extintor de fogo do tipo manual. Ele é eficiente em incêndios de baixa concentração. O Halon 1301 pode extinguir um fogo com uma concentração de 2% por volume. Isto, comparado com cerca de 40% de concentração por volume necessários ao CO_2 para extinguir o mesmo fogo.

Esta qualidade permite que o Halon 1301 seja usado em locais ocupados por pessoas, sem privá-las do oxigênio que necessitam. Outra vantagem, é que nenhum resíduo ou depósito permanecerá após o uso. O Halon 1301 é agente ideal para o uso em extintores de incêndios portáteis a bordo de aeronaves, devido a: (1) sua baixa concentração é bastante eficiente; (2) ele pode ser utilizado em compartimentos ocupados por pessoal; (3) ele é eficiente em todos os três tipos de fogo; e (4) nenhum resíduo permanecerá após o seu uso.

Extintores impróprios como de cabine

Os extintores do tipo lata de aerossol comum são definitivamente inaceitáveis como extintores do tipo portátil para o uso a bordo de aeronaves. Como um exemplo, um extintor do tipo espuma em aerossol, localizado em uma bolsa, atrás da cadeira do piloto, explodiu destroçando o estofamento do assento. O interior da aeronave foi danificado pela espuma.

Isto ocorreu quando a aeronave estava no solo, e a temperatura do ar exterior era de 32º C (90º F). Além do perigo de explosão, o tamanho do extintor é inadequado para o combate até mesmo dos menores incêndios.

Um extintor de pó químico foi instalado próximo a um aquecedor de ar do piso. Por uma razão desconhecida, a posição da unidade foi revertida. Isto colocou o extintor diretamente na frente do aquecedor de ar.

Durante o vôo, com o aquecedor em operação, o extintor superaqueceu e explodiu, enchendo o compartimento com o pó químico. A proximidade dos aquecedores de ar deverá ser considerada, quando selecionando a localização de um extintor manual.

Informações adicionais relativas a extintores de incêndio de bordo do tipo manual, poderão ser obtidas do Escritório Distrital do FAA e da Associação Nacional de Proteção de Fogo, 470 Atlantic Ave, Boston MA 02210.

SISTEMAS DETECTORES DE FUMAÇA

Um sistema de detecção de fumaça monitora os compartimentos de carga e de bagagem quanto a presença de fumaça, a qual é uma indicação de uma condição de fogo.

Os instrumentos de detecção de fumaça, os quais coletam o ar por amostragem, estão montados nos compartimentos em locais estratégicos.

Um sistema de detecção de fumaça é usado onde for esperado um tipo de incêndio gerador de uma substancial quantidade de fumaça, antes que a mudança de temperatura seja suficiente para atuar o sistema detector de calor.

Os instrumentos de detecção de fumaça são classificados pelo método de detecção, como demonstrado a seguir: tipo I - Medição do gás de monóxido de carbono (detectores de CO), Tipo II - Medição da capacidade de transmissão da luz pelo ar (mecanismos fotoelétricos), Tipo III - Detecção visual da presença de fumaça pela simples visão direta (mecanismos visuais).

Para ser digno de confiança, os detectores de fumaça devem ser mantidos, de modo que a fumaça em um compartimento seja indicada logo que ela comece a acumular. As venezianas, suspiros e tubos dos detectores de fumaça não devem ser obstruídos.

Detectores de monóxido de carbono

Os detectores de CO, os quais detectam as concentrações do gás monóxido de carbono, raramente são utilizados para monitorar os compartimentos de carga ou de bagagem. No entanto, eles têm o uso difundido em conduzir testes para detectar a presença do gás monóxido de carbono nas cabines das aeronaves.

O monóxido de carbono é incolor inodoro, não tem gosto, nem é um gás irritante. Ele é o subproduto da combustão incompleta, e é encontrado em uma variedade de níveis em todos os tipos de fumaça da combustão de substâncias carbonáceas.

Mesmo quantidades excessivamente pequenas de gás são perigosas. Uma concentração de 0,02% (2 partes em 10.000) podem produzir dores de cabeça, sonolência e vertigem, dentro de poucas horas.

Existem diversos tipos de testes portáteis (cheiradores) em uso. Um tipo possui um tubo indicador substituível, o qual contém "silicagel" amarelo impregnado com um composto "silicomolybdate" e é catalizado usando sulfato de paládio.

Quando em uso, uma amostra do ar é sugada através do tubo detector. Quando a amostra do ar contém monóxido de carbono, o silica gel amarelo muda para um tom de verde. A intensidade da cor verde é proporcional à concentração do monóxido de carbono da amostra de ar, na hora e na localização do teste.

Um outro tipo de indicador pode ser usado como um distintivo ou instalado no painel de instrumentos, ou ainda na parede da cabine. Ele é um distintivo usando um tablete que muda da cor bronzeada para uma outra progressivamente mais escura ou de cinza para preto.

O tempo de transição necessário é relativo à concentração do CO. Em uma concentração de 50 ppm de CO (0,005%), a indicação será visível dentro de 15 a 30 minutos. Uma concentração de 100ppm de CO (0,01%) mudará a cor do tablete de bronzeado para cinza de 2 a 5 minutos, e de bronzeado para cinza escuro de 15 a 20 minutos.

Detectores de fumaça fotoelétricos

Este tipo de detector consiste de uma célula fotoelétrica, uma lâmpada sinalizadora, uma lâmpada de teste, e um interceptor de luz ("light trap"), todos montados em um labirinto. Uma acumulação de 10% de fumaça no ar faz com que a célula fotoelétrica conduza corrente elétrica.

A figura 10-29 mostra os detalhes de um detector, e indica como as partículas de fumaça refratam a luz para a célula fotoelétrica.

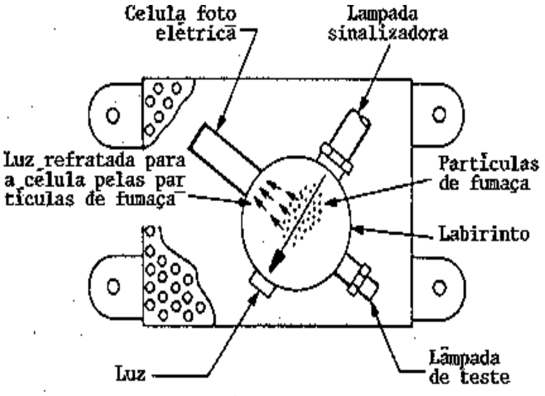


Figura 10-29 Detector de fumaça fotoelétrico.

Quando ativado pela fumaça, o detector supre um sinal para o amplificador. O sinal amplificado ativa uma luz de aviso e um alarme sonoro.

Um interruptor de teste (figura 10-30) permite checar a operação do detector de fumaça. Ligando o interruptor, 28 volts D.C. são enviados ao relé de teste.

Quando o relé é energizado, a voltagem é aplicada através e da lâmpada sinalizadora e lâmpada de teste, em série, para a massa. Uma indicação de fogo será observada somente se, as lâmpadas de teste e a sinalizadora, a célula fotoelétrica, o amplificador do detector de fumaça e os circuitos associados estiverem em operação.

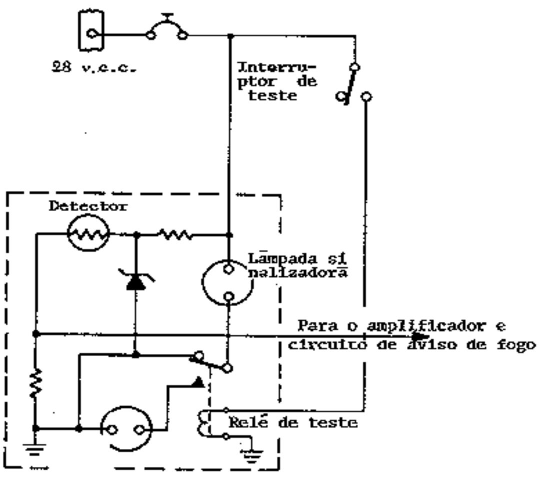


Figura 10-30 Circuito de teste do detector de fumaça.

Uma checagem funcional do detector deverá ser feito após a instalação e em frequentes intervalos subsequentes.

Detectores visuais de fumaça

Em um pequeno número de aeronaves, os detectores visuais de fumaça são o único meio de detecção.

A indicação é fornecida pela passagem da fumaça através de uma linha para dentro do indicador, usando, ou uma adequada fonte de sucção, ou a pressurização da cabine.

Quando a fumaça está presente, uma lâmpada dentro do indicador é iluminada automaticamente pelo detector de fumaça.

A luz é espalhada para que a fumaça se torne visível na apropriada janela do indicador.

Se não existir fumaça, a lâmpada não será iluminada.

Um interruptor está previsto para iluminar a lâmpada para a finalidade de teste. Um mecanismo também está instalado no indicador, para mostrar que o necessário fluxo de ar está passando através do indicador.

A eficiência de qualquer sistema de detecção depende do posicionamento e do condicionamento de todos os componentes do sistema.

A informação precedente tem a intenção de fornecer a familiarização com os vários sistemas. Para maiores detalhes de uma particular instalação, os adequados manuais da aeronave são consultados.

A concentração máxima permitida sob as Leis Federais, para contínua exposição, é de 50 ppm (partes por milhão) que é igual a 0.005% de

A concentração máxima permissível sob as Leis Federais para contínua exposição é de 50 ppm (partes por milhão) que é igual a 0.005% de monóxido de carbono

PARTES POR MILHÃO	PERCENTAGEM	REAÇÃO
50	0.005%	Concentração máxima permissível sob Lei Federal.
100	0.01%	Cansaço, vetigem.
200	0.02%	Dor de cabeça, cansaço, vertigem, náuseas após 2 ou 3 horas.
800	0.08%	Inconsciência em 1 hora ou morte em 2 ou 3 horas.
2.000	0.20%	Morte após 1 hora.
3.000	0.30%	Morte dentro de 30 minutos.
10.000	1.00%	Morte instantânea.

Figura 10-31 Reações humanas ao envenenamento com monóxido de carbono

CAPÍTULO 11

SISTEMAS ELÉTRICOS DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

O desempenho satisfatório de qualquer avião moderno depende, em grande parte, da confiança contínua nos sistemas e subsistemas elétricos. A instalação ou manutenção incorreta ou descuidada da fiação pode ser fonte de perigo imediato e potencial.

O funcionamento adequado e contínuo dos sistemas elétricos depende do conhecimento e da técnica do mecânico que instala, inspeciona e mantém os fios e cabos do sistema elétrico.
Os procedimentos e práticas apresentadas neste manual são recomendações gerais, e não pretendem substituir as instruções e práticas aprovadas pelo fabricante.

FIO CONDUTOR

Para efeito deste manual, um fio é apresentado como um condutor singelo e rígido ou como um condutor retorcido, ambos revestidos com um material isolante. A figura 11-1 ilustra estas duas definições de um fio.

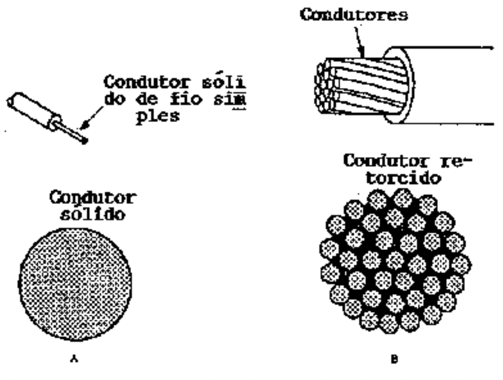


Figura 11-1 Dois tipos de fio de avião.

O termo cabo, como é usado nas instalações elétricas da Aeronave inclui:

1) Dois ou mais condutores isolados separadamente e no mesmo invólucro (cabo multicondutor).
2) Dois ou mais condutores isolados separadamente e torcidos juntos (par torcido).
3) Um ou mais condutores isolados, revestidos com uma blindagem trançada metálica (cabo blindado).
4) Um condutor central singelo isolado, com um condutor externo de revestimento metálico (cabo de radiofreqüência). A concentricidade do condutor central e do condutor externo é cuidadosamente controlada durante a fabricação para assegurar que eles sejam coaxiais (cabo coaxial).

Bitola de fio

O fio é fabricado em bitola de acordo com o modelo padrão especificado pelo AWG (American Wire Gage).

Como apresentado na figura 11-2, os diâmetros do fio tornam-se menores à medida que os números do calibre tornam-se maiores. A maior bitola do fio mostrado na figura 11-2 é o número 0000, e a menor é o número 40. As bitolas maiores e menores são fabricadas, mas não são comumente usadas.

		Secção em corte		Ohms / 1.000 pés	
Bitola	Diâmetro	Mils Circular	Pol^2	25°C (77°F)	65°C (149°F)
0000	460.0	212,000.0	0.166	0.0500	0.0577
000	410.0	168,000.0	.132	.0630	.0727
00	365.0	133,000.0	.105	.0795	.0917
0	325.0	106,000.0	.0829	.100	.116
1	289.0	83,700.0	.0657	.126	.146
2	258.0	66,400.0	.0521	.159	.184
3	229.0	52,600.0	.0413	.201	.232
4	204.0	41,700.0	.0328	.253	.292
5	182.0	33,100.0	.0260	.319	.369
6	162.0	26,300.0	.0206	.403	.465
7	144.0	20,800.0	.0164	.508	.586
8	128.0	16.500.0	.0130	.641	.739
9	114.0	13,100.0	.0103	.808	.932
10	102.0	10,400.0	.00815	1.02	1.18
11	91.0	8,230.0	.00647	1.28	1.48
12	81.0	6,530.0	.00513	1.62	1.87
13	72.0	5,180.0	.00407	2.04	2.36
14	64.0	4,110.0	.00323	2.58	2.97
15	57.0	3,260.0	.00256	3.25	3.75
16	51.0	2,580.0	.00203	4.09	4.73
17	45.0	2.050.0	.00161	5.16	5.96
18	40.0	1,620.0	.00128	6.51	7.51
19	36.0	1,290.0	.00101	8.21	9.46
20	32.0	1,020.0	.000802	10.4	11.9
21	28.5	810.0	.000636	13.1	15.1
22	25.3	642.0	.000505	16.5	19.0
23	22.6	509.0	.000400	20.8	24.0
24	20.1	404.0	.000317	26.2	30.2
25	17.9	320.0	.000252	33.0	38.1
26	15.9	254.0	.000200	41.6	48.0
27	14.2	202.0	.000158	52.5	60.6
28	12.6	160.0	.000126	66.2	76.4
29	11.3	127.0	.0000995	83.4	96.3
30	10.0	101.0	.0000789	105.0	121.0
31	8.9	79.7	.0000626	133.0	153.0
32	8.0	63.2	.0000496	167.0	193.0
33	7.1	50.1	.0000394	211.0	243.0
34	6.3	39.8	.0000312	266.0	307.0
35	5.6	31.5	.0000248	335.0	387.0
36	5.0	25.0	.0000196	423.0	488.0
37	4.5	19.8	.0000156	533.0	616.0
38	4.0	15.7	.0000123	673.0	776.0
39	3.5	12.5	.0000098	848.0	979.0
40	3.1	9.9	.0000078	1,070.0	1,230.0

Figura 11-2 Tabela da bitola awg para fio rígido padrão de cobre recozido

Um calibre de fio é apresentado na figura 11-3. Este tipo de calibre medirá os fios variando em bitola do 0 até o número 36. O fio a ser medido é colocado na fenda menor, que só medirá o fio desencapado. O número do calibre correspondente à fenda indica a bitola do fio.

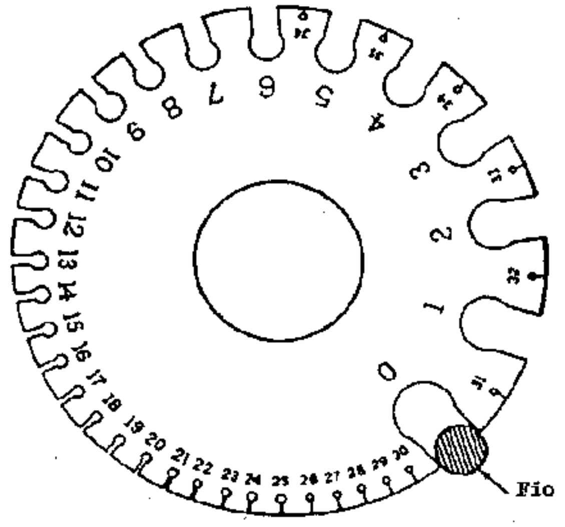


Figura 11-3 Calibre para fio.

A fenda possui lados paralelos e não deve ser confundida com a abertura semicircular na extremidade interna. A abertura simplesmente permite o movimento livre do fio em direção, e através da fenda. Os números do calibre são úteis na comparação da bitola dos fios, mas nem todos os tipos de fio ou cabo podem ser medidos precisamente com um calibre.

Os fios maiores são geralmente trançados para aumentar sua flexibilidade. Em tais casos, a área total pode ser determinada, multiplicando-se a área de um fio trançado (geralmente computado em milipolegadas circulares quando o diâmetro ou número da bitola é conhecido) pelo número de fios no cabo trançado.

Fatores que afetam a seleção da bitola do fio

Diversos fatores devem ser considerados na seleção da bitola do fio para transmissão e distribuição de força elétrica.O primeiro fator é a perda da energia permitida (perda I^2R) na linha. Esta perda representa a energia elétrica transformada em calor. O uso de condutores maiores reduz a resistência e, portanto, a perda de I^2R. Entretanto, os condutores maiores, em princípio, são mais caros do que os menores; eles são mais pesados e necessitam de suportes mais substanciais.

Um segundo fator é a queda de voltagem permitida (queda IR) na linha. Se a fonte mantiver uma voltagem constante na entrada para as linhas, qualquer variação na carga da linha provocará uma variação na corrente e, conseqüentemente, uma variação da queda IR na linha.

Uma variação extensa da queda IR na linha provoca uma regulagem deficiente de voltagem na carga. A solução óbvia é reduzir a corrente ou a resistência. Uma redução na corrente de carga diminui a potência de saída da energia que está sendo transmitida, enquanto que, uma redução na resistência da linha aumenta o tamanho e o peso dos condutores necessários.

Geralmente é alcançado um ponto de equilíbrio, por meio do qual a variação de voltagem na carga permanece dentro dos limites toleráveis, e o peso dos condutores na linha não é excessivo.

Um terceiro fator é a capacidade do condutor para conduzir corrente. Quando a corrente passa através do condutor há produção de calor. A temperatura do fio aumentará até que o calor irradiado, ou dissipado, seja igual ao calor gerado pela passagem de corrente através da linha. Se o condutor for isolado, o calor gerado no condutor não será logo removido. Dessa forma, para proteger o isolante de calor excessivo, a corrente através do condutor deve ser mantida abaixo de um certo valor.

Quando os condutores elétricos achamse instalados em locais onde a temperatura ambiente é relativamente alta, o calor gerado pelas fontes externas constituem uma parte apreciável do aquecimento total do condutor. Uma compensação pela influência do aquecimento externo sobre a corrente permitida no condutor deve ser feita, e cada caso possui suas próprias limitações específicas.

A temperatura máxima de operação permitida nos condutores isolados varia com o tipo de isolante que está sendo utilizado. Existem tabelas que relacionam os valores de segurança de corrente para as várias bitolas e tipos de condutores, revestidos com diversos tipos de isolantes.

A figura 11-5 mostra a capacidade dos condutores singelos de cobre em conduzir corrente em ampères, numa temperatura ambiente abaixo de 30 °C.

Este exemplo fornece medidas somente para uma relação limitada de bitolas de fios.

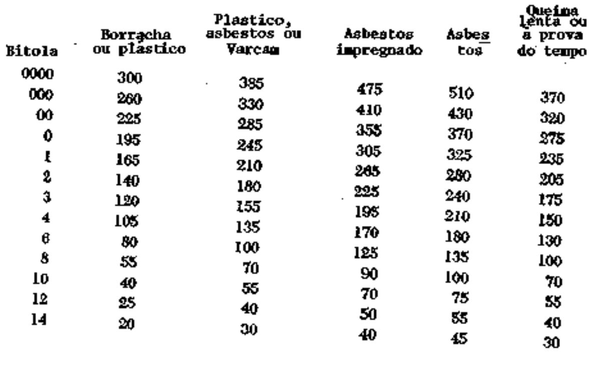
Fatores que influenciam na seleção do material condutor

Embora a prata seja o melhor condutor, seu custo limita o uso a circuitos especiais, onde é necessário um material com alta condutibilidade. Os dois condutores mais comumente usados são o cobre e o alumínio. Cada um possui características próprias que tornam seu uso vantajoso sob certas circunstâncias. Possuem também suas desvantagens. O cobre possui maior condutibilidade; ele é mais dúctil (pode ser estirado), possui relativamente alta resistência à tração e pode ser facilmente soldado. Ele é mais caro e pesado do que o alumínio.

Embora o alumínio possua apenas cerca de 60% da condutibilidade do cobre, ele é usado extensivamente. Sua leveza torna possível vãos extensos e, seu diâmetro, relativamente grande para uma dada condutibilidade, reduz a corona (a descarga de eletricidade do fio quando ele possui um alto potencial). A descarga é maior quando é usado um fio de diâmetro menor ao invés de um fio de diâmetro maior. Algumas barras de ligação são feitas de alumínio ao invés de cobre onde existe uma superfície de radiação maior para a mesma condutância. As características do cobre e do alumínio são comparadas na figura 11-4.

CARACTERÍSTICAS	COBRE	ALUMINÍO
Resistência a tensão	55.000	25.000
Resistência a tensão para a mesma condutividade (lb)	55.000	40.000
Peso para a mesma condutividade (lb)	100	48
Secção para a mesma condutividade (C.M)	100	160
Resitência especifica (Ω/mil ft.)	10,6	17

Figura 11-4 Características do cobre e do alumínio.



Bitola	Borracha ou plastico	Plastico, asbestos ou Varcam	Asbestos impregnado	Asbestos	Queima lenta ou a prova do tempo
0000	300	385	475	510	370
000	260	330	410	430	320
00	225	285	355	370	275
0	195	245	305	325	235
1	165	210	265	280	205
2	140	180	225	240	175
3	120	155	195	210	150
4	105	135	170	180	130
6	80	100	125	135	100
8	55	70	90	100	70
10	40	55	70	75	55
12	25	40	50	55	40
14	20	30	40	45	30

Figura 11-5 Capacidade do fio em conduzir corrente.

Queda de voltagem nos fios e nos cabos de um avião

É recomendado que a queda de voltagem dos cabos principais da fonte de força de geração do avião ou da bateria para a barra não deve exceder 2% da voltagem regulada, quando o gerador estiver conduzindo uma corrente nominal ou a bateria estiver sendo descarregada na razão de 5 minutos.

A tabela da figura 11-6 mostra a queda de voltagem máxima recomendada em circuitos em carga entre a barra e o equipamento de utilização.

	QUEDA DE VOLTAGEM PERMISSÍVEL	
VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	OPERAÇÃO CONTINUA	OPERAÇÃO INTERMITENTE
14	0,5	1
28	1	-----
115	4	8
200	7	14

Figura 11-6 Queda de voltagem máxima recomendada nos circuitos de carga.

A resistência do circuito de retorno de corrente à massa, através da estrutura da Aeronave, é sempre considerada desprezível.

Entretanto, isto se baseia na suposição de que tenham sido proporcionadas adequadas ligações à estrutura ou ao circuito especial de retorno da corrente elétrica à massa, e que sejam capazes de conduzir a corrente elétrica necessária com uma queda mínima de voltagem.

A medida de resistência de 0,005 ohm de um ponto massa do gerador ou da bateria, até o terminal massa de qualquer componente elétrico, é considerado satisfatório.

Outro método satisfatório de determinar a resistência do circuito é o de verificar a queda de voltagem através do circuito.

Se a queda de voltagem não exceder os limites estabelecidos pelo fabricante do componente ou do avião, o valor da resistência para o circuito será considerado satisfatório.

Quando se usa o método de queda de voltagem para verificar um circuito, a voltagem de entrada deve ser mantida num valor constante.

Instruções para usar o gráfico de fios elétricos

Os gráficos das figuras 11-7 e 11-8 aplicam-se a condutores de cobre conduzindo corrente contínua. As curvas 1, 2 e 3 são traçadas para mostrar a máxima amperagem nominal para o condutor, especificado sob as condições apresentadas. Para selecionar a bitola correta do condutor, dois requisitos principais devem ser obedecidos: 1) A bitola do fio deve ser suficiente para evitar queda de voltagem excessiva, enquanto estiver conduzindo a corrente devida na distância necessária; 2) A bitola deve ser suficiente para evitar superaquecimento do cabo durante o transporte da corrente devida. Os gráficos das figuras 11-7 e 11-8 podem simplificar essas determinações. Para usar estes gráficos, a fim de selecionar a bitola apropriada do condutor, deve-se conhecer o seguinte:

1) O comprimento do condutor em pés.
2) O n° de ampères da corrente a ser conduzida.
3) O valor da queda de voltagem permitida.
4) Se a corrente a ser conduzida é intermitente ou contínua e, se contínua, se o condutor é singelo ao ar livre em conduíte ou em chicote.

Suponha-se que seja desejado instalar um condutor a 50 pés da barra do avião para o equipamento, num sistema de 28 volts. Para essa distância, uma queda de 1 volt é permitida para operação contínua.

Consultando-se o gráfico da figura 11-7, pode-se determinar o número máximo de pés que um condutor pode possuir, conduzindo uma corrente específica com uma queda de 1 volt. Neste exemplo, é escolhido o número 50.

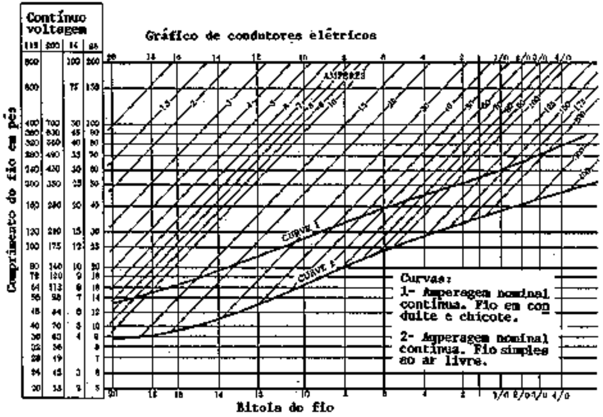


Figura 11-7 Gráfico de condutor fluxo contínuo (aplicável aos condutores de cobre).

Suponha-se que a corrente requerida pelo equipamento seja de 20 ampères. A linha que indica o valor de 20 ampères deve ser selecionada pelas linhas diagonais.

Leva-se a linha diagonal para baixo até que ela intercepte a linha horizontal de n° 50. Deste ponto, passa-se direto para baixo do gráfico, para achar que um condutor entre as bitolas 8 e 10 seja necessário, e evite uma queda maior do que 1 volt. Estando o valor indicado entre dois números, o de maior bitola, o n° 8, deve ser selecionado. Esse é o condutor de menor bitola, que pode ser usado para evitar uma queda de voltagem excessiva.

Determinar que bitola do condutor é suficiente para evitar superaquecimento, basta desprezar ambos os n°s, ao longo do lado esquerdo do gráfico e das linhas horizontais. Suponha-se que o condutor seja um fio singelo exposto ao ar livre que conduz corrente contínua.

Localiza-se um ponto no alto do gráfico na linha diagonal numerada de 20 ampéres. Segue-se esta linha até interceptar a linha diagonal marcada "curva 2". É preciso descer deste ponto diretamente até o fundo do gráfico; este ponto está entre os números 16 e 18.

A bitola maior de n° 16 deve ser a selecionada.

Este é o condutor de menor bitola, aceitável para conduzir uma corrente de 20 ampères num fio singelo ao ar livre, sem superaquecimento.

Se a instalação se aplicar ao equipamento tendo apenas uma necessidade intermitente (máximo de 2 minutos) de energia, o gráfico da figura 11-8 será usado da mesma maneira.

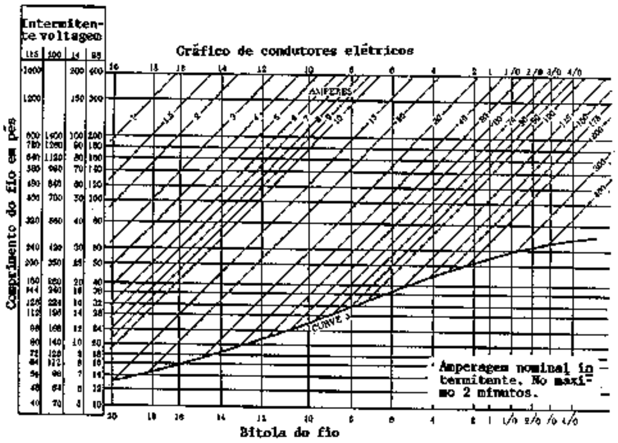


Figura 11-8 Gráfico de condutor fluxo intermitente.

Isolamento do condutor

As duas propriedades fundamentais dos materiais isolantes (borracha, vidro, amianto ou plástico, etc.) são: a resistência do isolamento e; a força dielétrica. Essas são propriedades inteiramente diferentes e distintas.

A resistência do isolamento é a resistência da passagem de corrente, através e ao longo da superfície dos materiais isolantes. A resistência do isolamento pode ser medida com um MEGGER (medidor) sem danificar o isolamento, de modo que a informação obtida sirva como guia para determinar as condições gerais.

Entretanto, a informação, obtida desta maneira, não será um retrato fiel da condição do isolamento. Isolamento limpo e seco contendo fendas ou defeitos pode mostrar um alto valor de resistência de isolamento, mas não é adequado para uso.

A força dielétrica é a propriedade que o isolante possui de suportar a diferença de potencial e, é, geralmente, expressa em termos de voltagem, na qual o isolamento não funciona devido à tensão eletrostática. A força dielétrica máxima pode ser medida, aumentando-se a voltagem de uma amostra de teste até que o isolamento seja rompido.

Devido ao custo do isolamento e seu efeito de endurecimento junto a grande variedade de condições físicas e elétricas, sob as quais os condutores são operados, somente o isolamento mínimo necessário é aplicado para qualquer tipo específico de cabo destinado a desempenhar uma determinada tarefa.

O tipo de material de isolamento do condutor varia com o tipo de instalação. Tais tipos de isolantes como a borracha, seda e papel não são mais usados nos sistemas do avião. Os mais comuns hoje em dia são: o vinil, o algodão, o náilon, o teflon e o amianto mineral.

Identificação de fios e cabos

A fiação e os cabos do sistema elétrico do avião podem ser estampados com uma combinação de letras e números para identificar o fio, o circuito a que ele pertence, o número da bitola, e outra informação necessária para relacionar o fio ou cabo com um diagrama elétrico. Essas marcas são denominadas código de identificação.

Não há nenhum procedimento padronizado para estampar e identificar a fiação; cada fabricante normalmente desenvolve seu próprio código de identificação.

Um sistema de identificação (figura 11-9) mostra o espaçamento usual na marcação de um fio. O número 22 no código refere-se ao sistema no qual o fio acha-se instalado, isto é, o sistema de vôo automático. O próximo conjunto de números, 013 é o número do fio, e o 18 indica a bitola do fio (AWG).

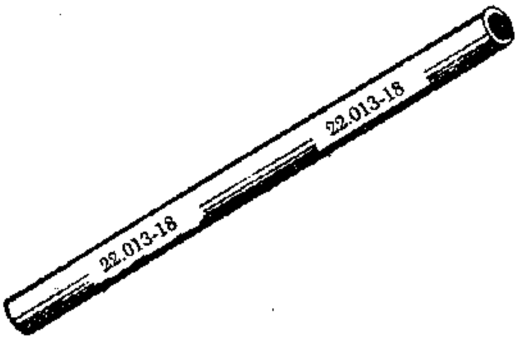


Figura 11-9 Código de identificação de fio.

Alguns componentes do sistema, especialmente os PLUGS e as tomadas, são identificados por uma letra ou grupo de letras e números adicionados ao número básico de identificação. Essas letras e números podem indicar a localização do componente no sistema. Os cabos interconectados são também marcados em alguns sistemas para indicar a localização, a terminação correta e a utilização.

Em qualquer sistema, a marca deve ser legível e a cor da estampagem deve contrastar com a cor do isolante do fio. Por exemplo, a estampagem preta deve ser usada com um fundo de cor clara, e a branca com um fundo de cor escura.

Os fios são geralmente estampados com intervalos de até 15 polegadas de extensão, e dentro de 3 polegadas de cada junção ou ponto terminal. A figura 11-10 mostra a identificação de fios numa barra de ligação de terminais.

Cabo coaxial e fios nas barras de ligação de terminais e caixas de junção são geralmente identificados pela estampagem de uma luva nos fios. Para a fiação, de um modo geral, é geralmente usada uma luva flexível de vinil, que pode ser clara ou branca opaca.

Para aplicações em alta temperatura é recomendada a luva de borracha de silicone ou de fibra de vidro de silicone. Onde a resistência a fluidos hidráulicos sintéticos ou solventes for necessária, a luva de náilon clara ou branca opaca pode ser usada.

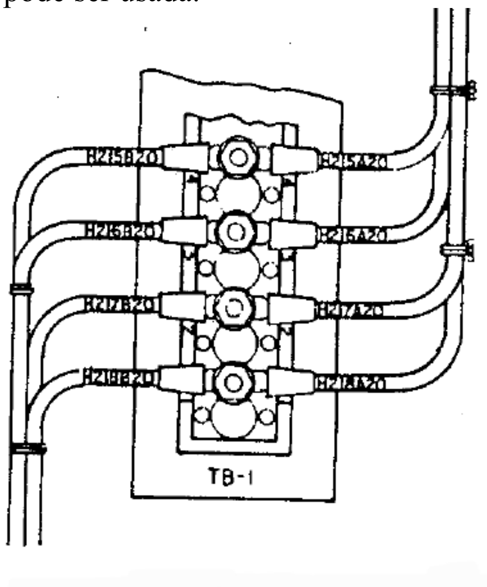


Figura 11-10 Identificação de fios numa barra de terminais.

Embora o método preferido seja estampar a marca de identificação diretamente sobre o fio ou sobre a luva, outros métodos são freqüentemente empregados. A figura 11-11 mostra dois métodos alternativos: um utiliza uma luva estampada amarrada no lugar; o outro, uma fita de pressão.

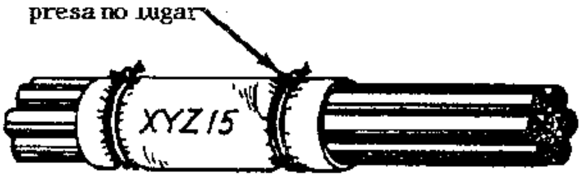


Figura 11-11 Métodos alternativos para identificar chicotes.

INSTALAÇÃO DE FIAÇÃO ELÉTRICA

Os seguintes procedimentos recomendados para a instalação da fiação elétrica nos aviões são típicos daqueles usados na maioria. Para melhor finalidade desta descrição, as seguintes definições são aplicáveis:

1) Fiação descoberta - qualquer fio, grupo de fios ou chicote não envolvido por conduíte.

2) Grupo de fios - dois ou mais fios indo para o mesmo local amarrados juntos para reter a identidade do grupo.

3) Chicote - dois ou mais grupos de fios amarrados juntos, porque eles estão indo na mesmo direção para um ponto onde a amarração está localizada.

4) Fiação protegida eletricamente - fios que incluem (no circuito) proteção contra sobrecarga tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos de limitação.

5) Fiação sem proteção elétrica - fios (geralmente dos geradores até os pontos de distribuição da barra principal) que não possuem proteção tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos limitadores de corrente.

Grupos de fios e chicotes

Deve-se evitar a formação de chicote ou grupos com certos fios, tais como fiação de força elétrica e fiação para duplicação de equipamento vital quando eletricamente desprotegidas.

Os chicotes geralmente devem ser constituídos em menos de 75 fios, ou ter de 1½ a 2 polegadas de diâmetro, onde possível.

Quando diversos fios estiverem agrupados em caixas de junção, barras de terminais, painéis, etc., a identidade do grupo de fios no chicote (figura 11-12) pode ser mantida.

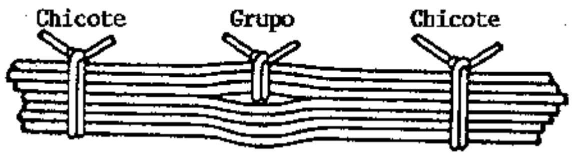


Figura 11-12 Amarrações de grupo de fios e chicotes.

Fios trançados

Quando especificados em desenhos de engenharia, ou quando realizados como uma prática local, os fios paralelos devem, às vezes, ser trançados. Os exemplos que se seguem são os mais comuns:

1) Fiação nas vizinhanças de bússola magnética ou da válvula de fluxo.

2) Fiação de distribuição trifásica.

3) Certos fios (geralmente na fiação para o sistema rádio) como especificado nos desenhos de engenharia.

Trança-se os fios de modo que eles se acomodem entre si, formando aproximadamente o número de voltas por pés como mostra a figura 11-13. Verifica-se sempre se o isolamento dos fios ficou danificado depois de trançados. Se o isolamento estiver rompido ou com desgaste, o fio é substituído.

	BITOLA DO FIO									
	#22	#20	#18	#16	#14	#12	#10	#8	#6	#4
2 FIOS	10	10	9	8	7 ½	7	6 ½	6	5	4
3 FIOS	10	10	8 ½	7	6 ½	6	5 ½	5	4	3

Figura 11-13 Número de torcidas recomendadas por pé.

Emendas nos chicotes

As emendas em grupos de fios ou chicotes devem ser localizadas de modo que elas possam ser inspecionadas facilmente.

As emendas devem ser afastadas uma das outras (figura 11-14), de modo que o chicote não se torne excessivamente grosso. Todas as emendas não isoladas devem ser revestidas com plástico e presas firmemente nas duas extremidades.

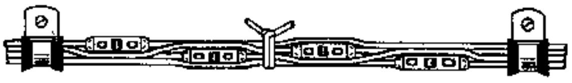


Figura 11-14 Emendas afastadas em um chicote.

Frouxidão nos chicotes

Os fios singelos ou chicotes não devem ser instalados com frouxidão excessiva. A frouxidão entre os suportes não deve, normalmente, exceder uma deflexão máxima de ½ polegada com pressão manual (figura 11-15). Entretanto, ela pode ser excedida se o chicote for fino e as braçadeiras estiverem muito separadas.

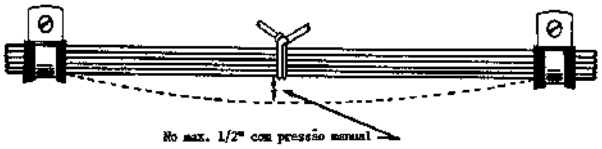


Figura 11-15 Frouxidão no chicote, entre os suportes.

Para que o chicote possa roçar contra qualquer superfície, a frouxidão não precisa ser muito grande. Uma quantidade suficiente de frouxidão deve ser permitida próximo a cada extremidade de um chicote para:

1) Permitir fácil manutenção.

2) Permitir a substituição dos terminais.

3) Evitar a fadiga mecânica nos fios, junções dos fios e suportes.

4) Permitir livre movimento do equipamento montado contra choque e vibração.

5) Permitir a remoção do equipamento para fins de manutenção.

Raio de curvatura

As curvaturas nos grupos de fios ou chicotes não devem ser inferiores a 10 vezes o diâmetro externo dos grupos. Entretanto, nas barras de terminais, onde o fio está adequadamente suportado em cada extremidade da curvatura, o diâmetro externo do grupo de fios ou do chicote, igual a 3 vezes o diâmetro externo é normalmente aceitável.

Existem, é claro, exceções a essas orientações. É o caso de certos tipos de cabo, como por exemplo, o cabo coaxial que nunca pode ser curvado num raio inferior a 10 vezes o diâmetro externo.

Instalação e encaminhamento

Toda fiação deve ser instalada de modo que ela seja firme e de boa aparência.

Sempre que possível, os fios e os chicotes devem correr paralelos ou em ângulos retos com as nervuras ou longarinas da área envolvida.

Como exceção desta regra temos o cabo coaxial, que é orientado tão diretamente quanto possível. A fiação deve ser fixada adequadamente em toda sua extensão.

Um número suficiente de suportes deve ser instalado para evitar vibração indevida dos trechos sem sustentações.

Todos os fios e grupos de fios devem ser relacionados e instalados para protegê-los de:

1) Fricção ou roçamento.

2) Alta temperatura.

3) Ser usado como alças ou como suporte de pertences pessoais e equipamento.

4) Danos pela movimentação de pessoal no interior do avião.

5) Danos por armazenamento ou movimentação da carga.

6) Danos por vapores, borrifos ou salpicos de ácido da bateria.

7) Danos por solventes ou fluidos.

Proteção contra fricção

Os fios e os grupos de fios devem ser protegidos contra fricção ou roçamento nos locais onde o contato com superfícies pontiagudas, ou outros fios, danificariam o isolamento. Os danos ao isolamento podem provocar curto-circuito, mau funcionamento ou operação indevida do equipamento.

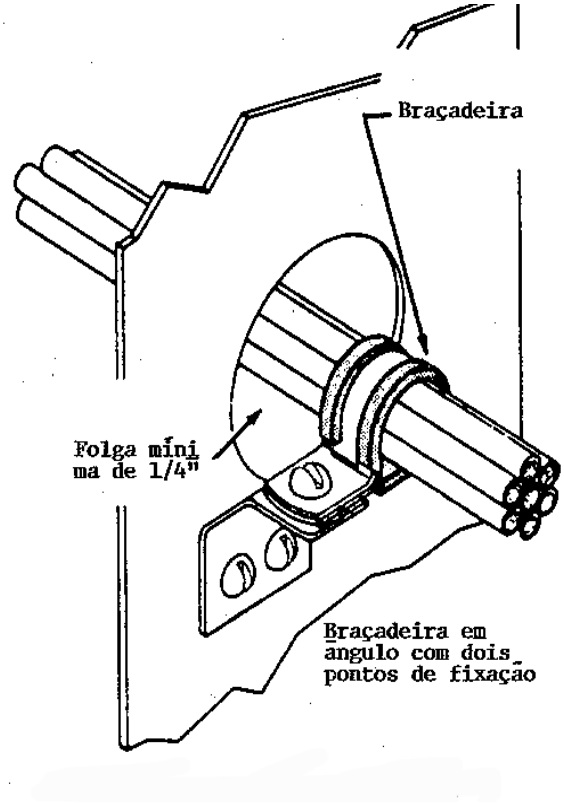


Figura 11-16 Braçadeira de cabo no orifício da antepara.

As braçadeiras de cabo devem ser usadas para sustentar os chicotes em cada orifício através de um anteparo (figura 11-16). Se os fios se aproximarem mais de ¼ de polegada da borda do orifício, usa-se um gromete adequado como mostra a figura 11-17.

Às vezes é necessário cortar o gromete de náilon, ou borracha, para facilitar a instalação. Nestas circunstâncias, depois de colocado, o gromete pode ser mantido no lugar com cola de uso geral. O corte deverá ser na parte superior do orifício, e feito num ângulo de 45° com o eixo do orifício do chicote.

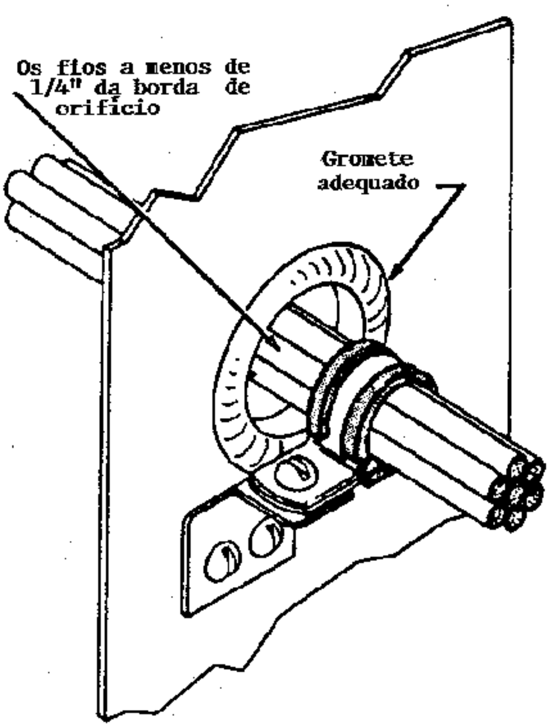


Figura 11-17 Braçadeira de cabos e ilhós no orifício.

Proteção contra alta temperatura

Para evitar deterioração do isolamento, os fios devem ser mantidos afastados de equipamentos de alta temperatura, tais como resistores, tubos de descarga ou dutos de aquecimento. A distância de separação é normalmente especificada pelos desenhos de engenharia. Alguns fios devem invariavelmente passar através de áreas quentes.

Esses fios devem ser isolados com material de alta temperatura tal como amianto, fibra de vidro ou teflon. Uma proteção adicional é, também, freqüentemente necessária sob a forma de conduítes.

Um fio com isolamento de baixa temperatura não deve nunca ser usado para substituir um fio com isolamento de alta temperatura.

Muitos cabos coaxiais possuem isolamento de plástico mole tal como polietileno, o qual está especialmente sujeito a deformações e deterioração a temperaturas elevadas. Todas as áreas de temperatura elevada devem ser evitadas ao se instalar esses cabos isolados com plástico ou polietileno.

Uma proteção adicional contra fricção deve ser fornecida aos fios de amianto incluídos no conduíte. Pode ser usado um conduíte com revestimento de borracha de alta temperatura ou os fios de amianto podem ser envolvidos, individualmente, em tubos plásticos de alta temperatura, antes de serem instalados no conduíte.

Proteção contra solventes e fluidos

Os fios não devem ser instalados em áreas onde fiquem sujeitos a estragos por fluidos, a menos de 4 polegadas da parte mais baixa da fuselagem do avião, com exceção daqueles que devem atingir aquela área.

Se houver possibilidade do fio ser molhado com fluidos, deverá ser usada uma tubulação plástica para protegê-lo. Essa tubulação deve estender-se através da área em ambos os sentidos, e deve ser amarrada em cada extremidade.

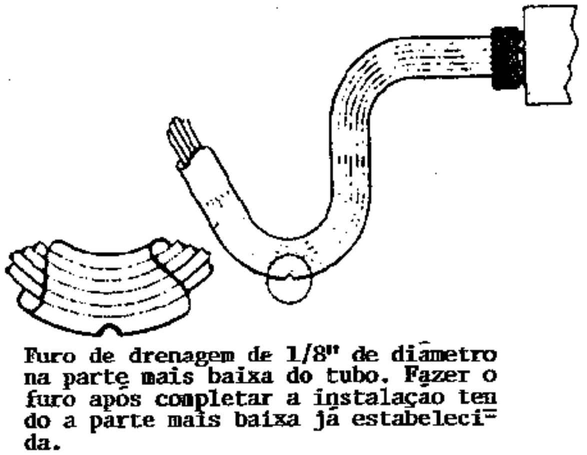

Furo de drenagem de 1/8" de diâmetro na parte mais baixa do tubo. Fazer o furo após completar a instalação tendo a parte mais baixa já estabelecida.

Figura 11-18 Orifício de dreno no ponto baixo da tubulação.

Se o fio possuir um ponto baixo entre as extremidades da tubulação, é feito um orifício de dreno de 1/8 de polegada, como mostra a figura 11-18. Esse orifício deve ser perfurado na tubulação após completar a instalação e o ponto baixo, definitivamente estabelecido, pelo uso do perfurador para cortar um meio círculo.

Toma-se o cuidado para não danificar qualquer um dos fios no interior da tubulação quando se usar o perfurador.

O fio nunca deve passar por baixo da bateria do avião. Todos os fios nas proximidades da bateria devem ser inspecionados freqüentemente, e os fios descoloridos pelos gases prejudiciais da bateria devem ser subtituídos.

Proteção dos fios na área do alojamento das rodas

Os fios localizados nos alojamentos das rodas estão sujeitos a diversos problemas adicionais em serviço, tais como: exposição a fluidos, apertos e acentuada flexibilidade.

Todos os chicotes devem ser protegidos por luvas de tubulação flexível, presas firmemente em cada extremidade; e não deve existir nenhum movimento relativo nos pontos onde a tubulação flexível estiver segura. Esses fios e a tubulação isolante devem ser inspecionados cuidadosamente a intervalos freqüentes, e tanto os fios ou a tubulação devem ser substituídos ao primeiro sinal de desgaste.

Não deve haver nenhum esforço nas fixações quando as partes estiverem completamente estendidas, mas a frouxidão não deverá ser excessiva.

Precauções na instalação

Quando a fiação tiver que ser instalada paralelamente a linhas de fluidos combustíveis ou de oxigênio em curtas distâncias, a separação fixa deverá ser mantida tanto quanto possível. Os fios devem estar nivelados com ou acima das tubulações.

As braçadeiras devem ser espaçadas, de modo que, se um fio for quebrado em uma braçadeira ele não entrará em contato com a linha. Onde não for possível uma separação de 6 polegadas, o chicote e a tubulação podem ser fixados na mesma estrutura para impedir qualquer movimento relativo. Se a separação for menor do que 2 polegadas, porém maior do que ½ polegada, uma luva de polietileno pode ser usada sobre o chicote para proporcionar maior proteção. Além disso, duas braçadeiras de cabo, costas com costas, como mostrado na figura 11-19, podem ser usadas somente para manter uma separação rígida, e não para suportar o chicote.

Nenhum fio pode ser direcionado de modo que fique localizado mais próximo do que ½ polegada de uma tubulação. Nem mesmo um fio ou um chicote pode ser sustentado por tubulação que conduza fluidos inflamáveis ou oxigênio.

A fiação deve ser instalada para manter uma folga mínima de pelo menos 3 polegadas dos cabos de controle. Se isso não puder ser observado, guardas mecânicas deverão ser instaladas para evitar o contato entre a fiação e os cabos de controle.

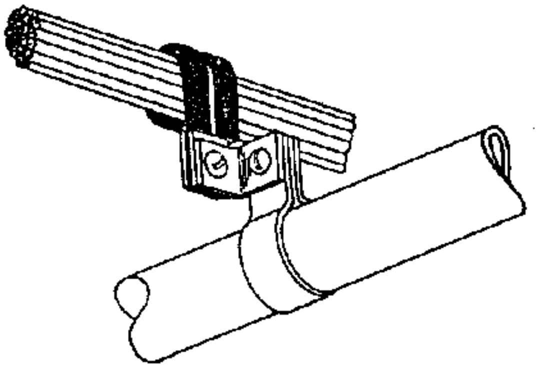


Figura 11-19 Separação entre a fiação e a tubulação.

Instalação das braçadeiras de cabos

As braçadeiras de cabo devem ser instaladas considerando-se o ângulo adequado, como mostrado na figura 11-20. O parafuso de montagem deve estar acima do chicote.

É também conveniente que a parte traseira da braçadeira de cabo se apóie contra um membro estrutural, onde e quando for prático.

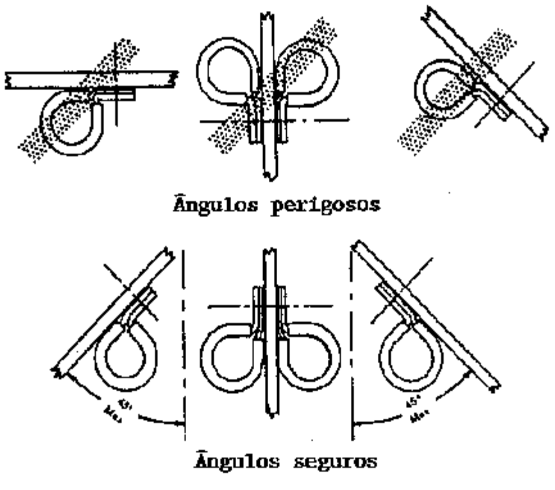

Ângulos perigosos
45° Max
45° Max
Ângulos seguros

Figura 11-20 Ângulos de montagem adequados para braçadeiras de cabo.

A figura 11-21 mostra algumas ferragens típicas de montagens usadas na instalação das braçadeiras de cabo.

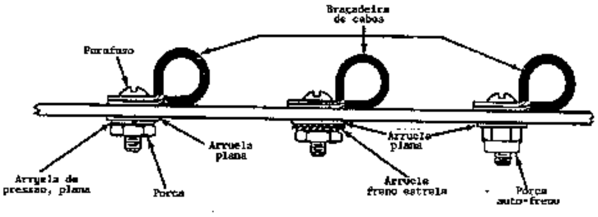

Braçadeira de cabos
Parafuso
Arruela plana
Arruela plana
Arruela de pressao, plana
Porca
Arruela freno estrela
Porca auto-freno

Figura 11-21 Ferragens típicas de montagem para braçadeiras de cabo.

Deve-se ter atenção para que os fios não fiquem comprimidos nas braçadeiras de cabo. Onde possível, instala-se os cabos diretamente nos membros estruturais, como mostra a figura 11-22.

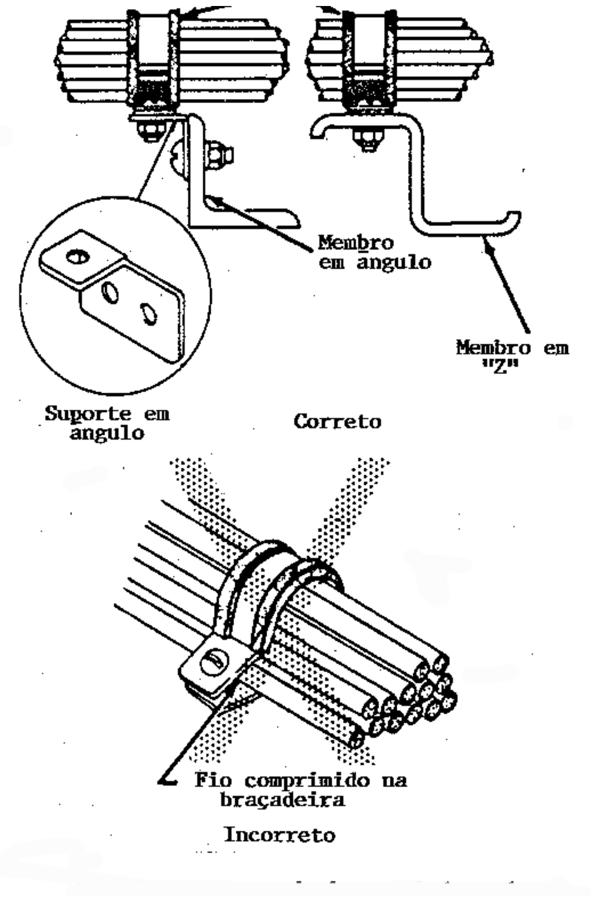

Membro em angulo
Membro em "Z"
Suporte em angulo
Correto
Fio comprimido na braçadeira
Incorreto

Figura 11-22 Montagem da braçadeira de cabo na estrutura.

As braçadeiras podem ser usadas instaladas sobre proteção de borracha para se prenderem às estruturas tubulares, como apresentado na figura 11-23. Essas braçadeiras devem adaptar-se firmemente, mas não devem ser deformadas quando fixadas no lugar.

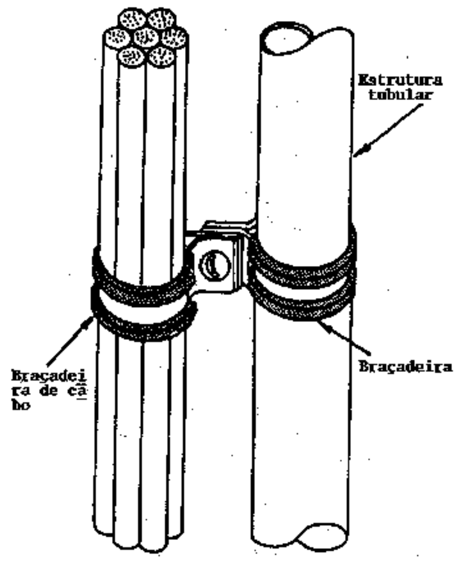

Estrutura tubular
Braçadeira de cabo
Braçadeira

Figura 11-23 Instalação da braçadeira de cabo na estrutura tubular.

AMARRAÇÃO E ENLACE DOS CHICOTES

Os grupos de fios e chicotes são amarrados ou enlaçados com cordão para tornar mais fácil a instalação, manutenção e inspeção.

Essa seção descreve e ilustra os procedimentos recomendados para amarrar e enlaçar os fios, com nós que se manterão firmemente sob todas as condições. A finalidade desta apresentação é definir os seguintes termos:

1) Enlaçamento é prender junto um grupo de fios ou um chicote, através de pedaços individuais de cordão, amarrados em volta daqueles em intervalos regulares.

2) Amarração é prender junto um grupo de fios ou um chicote por um pedaço contínuo de cordão, formando laços em intervalos regulares em volta daqueles.

3) Um grupo de fios é constituído de dois ou mais fios amarrados ou laçados juntos para identificar um sistema individual.

4) Um chicote é constituído de dois ou mais grupos de fios amarrados ou laçados juntos para facilitar a manutenção.

O material usado para laçar ou amarrar é um cordão de náilon ou de algodão. O cordão de náilon é resistente a umidade e fungos, mas o cordão de algodão deve ser encerado antes de ser usado para que adquira as características necessárias de proteção.

Amarração com cordão inteiriço

A figura 11-24 mostra o processo gradual de amarração do chicote com um cordão inteiriço. A amarração é iniciada na extremidade espessa do grupo de fios ou chicote com nó denominado "nó de porco" com um laço extra. A amarração é, então, continuada com meias laçadas em intervalos regulares ao longo do chicote, e a cada ponto onde um fio ou um grupo de fios se ramificam.

As meias-laçadas devem ser espaçadas, de modo que o chicote apresente bom aspecto e segurança. A amarração termina com um "nó de porco" e um laço extra. Após o aperto do nó, as extremidades livres do cordão devem ser aparadas em aproximadamente 3/8 de polegada.

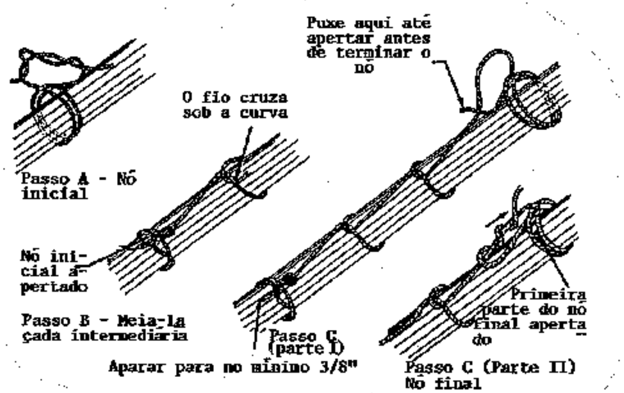

Puxe aqui até apertar antes de terminar o nó
O fio cruza sob a curva
Passo A - Nó inicial
Nó inicial apertado
Passo B - Meia-laçada intermediária
Passo C (parte I)
Aparar para no mínimo 3/8"
Primeira parte do nó final apertado
Passo C (Parte II) Nó final

Figura 11-24 Amarração com cordão inteiriço.

Amarração com cordão duplo

A figura 11-25 ilustra o processo de amarração com cordão duplo. A amarração é iniciada na extremidade mais espessa do chicote, com um nó tipo "laçada" ("A" da figura 11-25).

Em intervalos regulares ao longo do chicote, e em cada ponto onde um fio se ramifica, a amarração continua usando meias-laçadas, com ambos os cordões firmemente juntos.

As meias-voltas devem ser espaçadas de modo que o chicote apresente bom aspecto e segurança.

A amarração termina com um nó de meia-volta, continuando um dos cordões no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, e amarra-se as extremidades com um nó quadrado. As extremidades livres dos cordões de amarração devem ser aparadas em aproximadamente 3/8 de polegada.

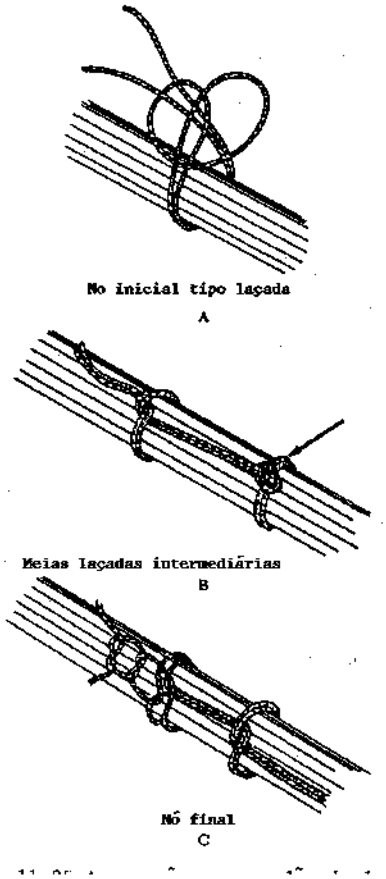

Nó inicial tipo laçada
A
Meias laçadas intermediárias
B
Nó final
C

Figura 11-25 Amarração com cordão duplo.

Amarração de ramificações

A figura 11-26 ilustra um procedimento recomendado para amarrar um grupo de fios que se ramifica do chicote principal. A amarração do grupo de fios começa com um nó localizado no chicote, logo após o ponto de ramificação.

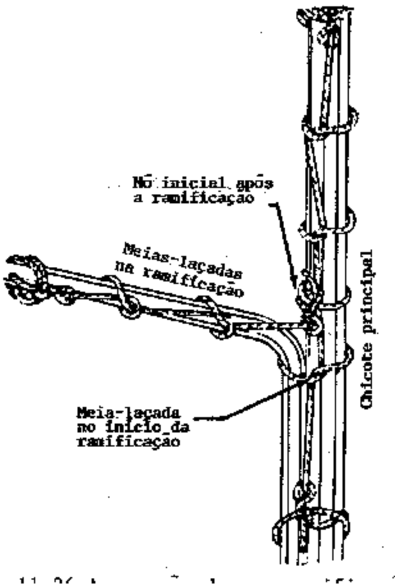

Nó inicial após a ramificação
Meias-laçadas na ramificação
Chicote principal
Meia-laçada no início da ramificação

Figura 11-26 Amarração de uma ramificação.

Continua-se a amarração ao longo do grupo de fios ramificado, usando meias-voltas regularmente espaçadas. Se for usado o cordão duplo, ambos os cordões devem ser mantidos apertados juntos. As meias-voltas devem ser espaçadas para amarrar o grupo de fios com bom aspecto e segurança.

A amarração é terminada com o nó final regular usado na amarração de cordão inteiriço ou duplo. As extremidades livres do cordão devem ser aparadas corretamente.

Enlace

Todos os grupos de fios ou chicotes devem ser enlaçados onde os suportes estiverem com mais de 12 polegadas de distância.

A figura 11-27 ilustra um procedimento recomendado para enlaçar um chicote.

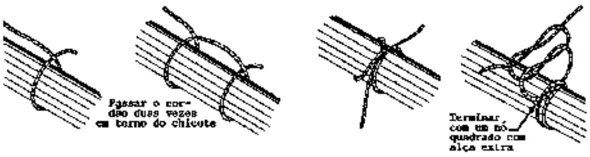

Passar o cordão duas vezes em torno do chicote
Terminar com um nó quadrado com alça extra

Figura 11-27 Enlaçando um chicote.

O laço é iniciado passando-se o cordão em volta do chicote, fazendo um "nó de porco". Depois de um nó quadrado com uma alça extra, é amarrado; e as extremidades livres do cordão são aparadas. Laços temporários são, às vezes, usados para formar e instalar grupos de fios e chicotes. O cordão colorido é normalmente usado para fazer laços temporários, visto que eles serão retirados assim que a instalação estiver completa.

Sejam enlaçados ou amarrados, os chicotes devem estar seguros para evitar deslizamento, mas não muito forte a fim de que o cordão chegue a cortar ou deformar o isolamento. Isto se aplica especialmente ao cabo coaxial que possui um isolamento dielétrico mole entre o condutor interno e o externo.

A parte de um chicote localizada no interior de um conduíte não é amarrada ou enlaçada, mas os grupos de fios ou chicotes dentro de partes fechadas, tais como caixas de junção, devem ser apenas enlaçados.

CORTE DE FIOS E CABOS

Para tornar mais fácil a instalação, manutenção e o conserto, os cabos e fios instalados num avião são interrompidos em num avião são interrompidos em locais específicos por junções tais como conectores, blocos terminais ou barras.

Antes de serem instalados nestas junções, os fios e cabos devem ser cortados no comprimento adequado.

Todos os fios e cabos devem ser cortados na extensão especificada nos desenhos ou nos diagramas elétricos. O corte deve ser feito cuidadosamente, e o fio ou o cabo não deve ser deformado. Se necessário, um fio de bitola grande deve ser retocado depois do corte.

Bons cortes podem ser feitos somente se as lâminas das ferramentas de corte estiverem afiadas e sem dentes. Uma lâmina cega (sem corte) deformará e deslocará as extremidades do fio.

Desencapamento de fios e cabos

Antes que o fio possa ser instalado nos conectores, terminais, emendas, etc., o isolamento deve ser desencapado nas extremidades de conexão para expor o fio nu.

O fio de cobre pode ser desencapado de várias maneiras, dependendo da bitola e do isolamento. A figura 11-28 apresenta alguns tipos de ferramentas desencapadoras recomendadas para várias bitolas de fios e tipos de isolamento.

DESENCAPADOR	BITOLA	ISOLANTE
Térmico	#26---#4	TODOS MENOS AMIANTO
Elétrico	#26---#4	TODOS
De bancada	#20---#6	TODOS
Manual	#26---#8	TODOS
Tipo faca	#2---#0000	TODOS

Figura 11-28 Desencapadores para fios de cobre.

O fio de alumínio deve ser desencapado muito cuidadosamente, visto que as pernas quebrar-se-ão facilmente após terem sido apertadas.

As seguintes precauções são recomendadas quando qualquer tipo de fio é desencapado:

1) Ao usar qualquer tipo de desencapador de fio, segurar o fio de modo que ele fique perpendicular às lâminas de corte.

2) Ajustar as ferramentas desencapadoras automáticas cuidadosamente: seguir as instruções do fabricante para evitar incisões, cortes ou, de algum modo, danificar as pernas dos fios. Isto é muito importante para os fios de alumínio e para os fios de cobre de bitola menor do que a n° 10. Examinar os fios desencapados quanto a avarias. Cortar e desencapar novamente (se a extensão for suficiente), ou rejeitar e substituir qualquer fio tendo mais do que o número permitido de incisões ou pernas quebradas, mencionado na lista de instruções do fabricante.

3) Ter certeza de que o isolamento possui um corte definido sem bordas esgarçadas ou ásperas. Aparar se necessário.

4) Ter certeza de que todo o isolamento foi retirado da área desencapada. Alguns tipos de fio são fornecidos com uma camada transparente de isolante entre o condutor e o isolamento primário. Se este estiver presente, retirá-lo.

5) Quando usar alicates desencapadores para retirar extensões de isolamento maiores do que ¾ de polegada, é mais fácil executá-lo em duas ou mais operações.

6) Retorcer as pernas de cobre manualmente ou com um alicate, se necessário, para restaurar a camada natural e a rigidez das pernas.

A figura 11-29 mostra um alicate desencapador de fio. Essa ferramenta é usada geralmente para desencapar a maior parte dos tipos de fio.

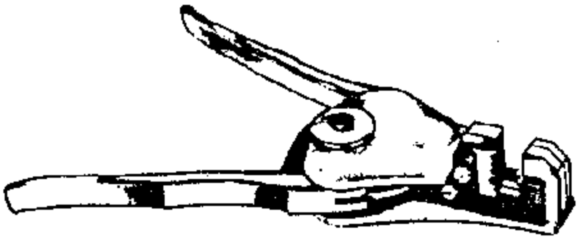


Figura 11-29 Desencapador manual de fios.

Os itens seguintes descrevem os procedimentos para desencapar o fio com um alicate (ver a figura 11-30).

1) Colocar o fio no meio exato da fenda cortante, correspondente a bitola do fio a ser desencapado. Cada fenda está marcada com a bitola do fio.
2) Apertar os punhos tanto quanto possível.
3) Soltar os punhos, permitindo que o prendedor do fio retorne à posição aberta.
4) Retirar o fio desencapado.

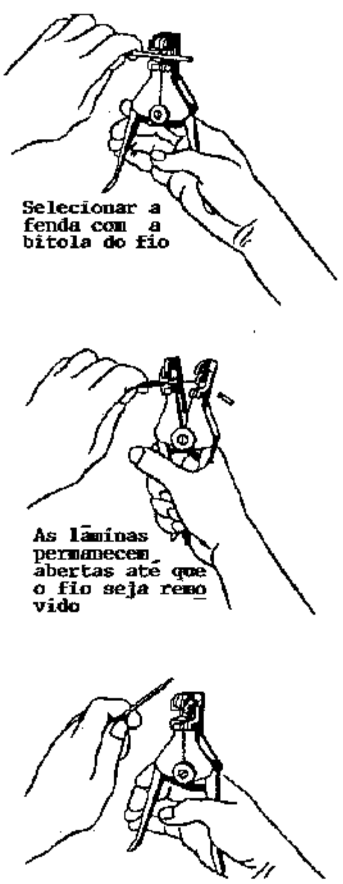

Selecionar a fenda com a bitola do fio
As lâminas permanecem abertas até que o fio seja removido

Figura 11-30 Desencapando o fio com o desencapador manual.

Terminais e emendas sem solda

A emenda do cabo elétrico deve ser mantida num mínimo, e totalmente evitada em locais sujeitos às vibrações externas.

Os fios individuais num grupo de fios ou em um chicote podem ser geralmente emendados, desde que toda a emenda seja localizada de modo que ela possa ser inspecionada periodicamente. As emendas devem ser espaçadas para que o grupo de fios não se torne excessivamente grosso.

Diversos tipos de conectores de emenda são utilizados para a emenda de fios individuais. Os conectores de emenda auto-isolante geralmente são os mais preferidos; entretanto, um conector de emenda não isolado pode ser usado se a emenda for revestida com luva plástica presa nas duas extremidades. As emendas de solda podem ser usadas, mas elas são geralmente inseguras e não recomendáveis.

Os fios elétricos possuem um acabamento com alça de terminal sem solda para permitir uma conexão fácil e eficiente, e para a desconexão dos blocos terminais, barras de ligação, ou outro equipamento elétrico.

As emendas sem solda ligam os fios elétricos para formar um circuito contínuo permanente. As alças de terminal sem solda, e as emendas, são feitas de cobre e alumínio e são pré-isoladas ou não isoladas, dependendo da aplicação desejada.

As alças de terminal são geralmente encontradas em três tipos para usar em condições de locais diferentes. Essas alças são do tipo bandeirola, reta e em ângulo reto. Os terminais são estampados com os fios por meio de alicates de estampagem manual ou máquinas de estampagem.

A explanação seguinte descreve os métodos recomendados para acabamentos de fios de cobre ou alumínio, utilizando terminais sem solda. Ela ainda descreve o método de emenda dos fios de cobre usando emendas sem solda.

Terminais de fio de cobre

Os fios de cobre possuem um acabamento com terminais de cobre reto pré-isolados sem solda. O isolamento é parte do terminal, e se estende ao longo do seu cilindro, de modo tal que ele revestirá uma parte do isolamento do fio, tornando desnecessário o uso de uma luva isolante (Figura 11-31).

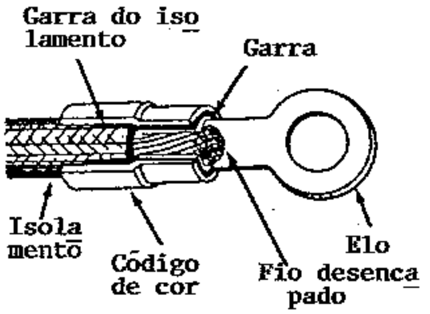


Figura 11-31 Terminal pré-isolado.

Os terminais pré-isolados possuem uma garra (uma luva de reforço metálico) embaixo do isolamento, para reforço de aperto extra sobre o isolamento do fio.

Os terminais pré-isolados adaptam-se a mais de uma bitola de fio: o isolamento geralmente possui um código colorido, cuja finalidade é identificar as bitolas dos fios, os acabamentos podem ser executados com cada terminal.

Ferramentas de estampagem

Existem ferramentas portáteis manuais e elétricas, bem como máquinas elétricas de bancada para estampagem dos terminais. Essas ferramentas prendem o cilindro do terminal ao condutor e, simultaneamente, prendem a garra isolante ao isolante do fio.Todas as ferramentas de estampagem manual possuem uma catraca autofrenante que evita a abertura da ferramenta até que a estampagem esteja pronta. Algumas ferramentas de estampagem manual são equipadas com um jogo de diversas estampas para adaptar os tamanhos diferentes de terminais. Outras, são usadas com um tamanho único de terminal. Todos os tipos de ferramentas de estampagem manual são verificadas pelos calibradores para ajuste adequado nas mandíbulas de aperto.

A figura 11-32 mostra um terminal sendo introduzido numa ferramenta manual. Os itens abaixo descrevem o procedimento durante a estampagem:

1) Desencapar o fio na extensão adequada;

2) Introduzir o terminal, começando pela alça, nas mandíbulas de aperto da ferramenta, até que a alça do terminal encoste no batente da ferramenta;

3) Instalar o fio desencapado no cilindro do terminal até que o isolamento do fio encoste na extremidade do cilindro;

4) Apertar os punhos da ferramenta até que a catraca seja liberada;

5) Retirar o conjunto completo, e examiná-lo quanto à estampagem adequada.

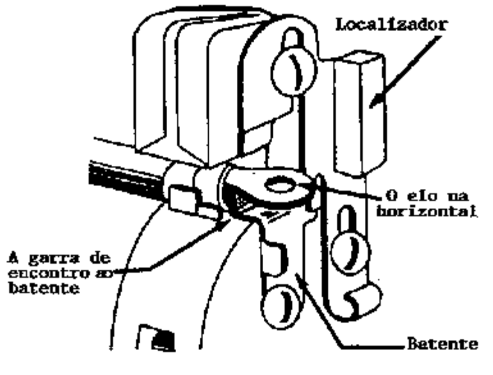


Figura 11-32 Enfiando o terminal na ferramenta manual.

Alguns tipos de terminais não-isolados são isolados após a instalação num fio, por meio de tubos flexíveis transparentes, denominados luvas. A luva proporciona proteção elétrica e mecânica à conexão. Quando o tamanho da luva usada for de tal forma que ela se ajuste firmemente sobre o cilindro do terminal, a luva não precisa de aperto; caso contrário, ela deve ser laçada com um cordão de enlace, como ilustrado na figura 11-33.

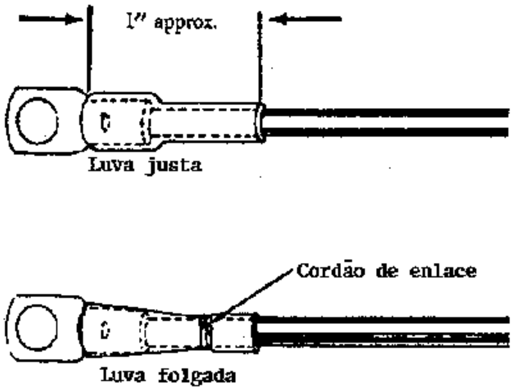


Figura 11-33 Luva isolante.

Terminais de fio de alumínio

O uso do fio de alumínio no sistema de avião está aumentando devido a vantagem de seu peso sobre o cobre.

Entretanto, a dobradura freqüente do alumínio provocará fadiga do metal tornando-o quebradiço. Isso resulta em falha ou rompimento das pernas dos fios, mais cedo do que num caso semelhante com fio de cobre.

O alumínio também forma uma película de óxido altamente resistente assim que exposto ao ar.

Para compensar essas desvantagens, é importante que sejam usados os mais seguros procedimentos de instalação.

Somente as alças de terminal de alumínio são usadas para acabamento dos fios de alumínio. Elas são geralmente encontradas em 3 (três) tipos: (1) Retos; (2) Ângulo Reto e (3) Bandeira. Todos os terminais de alumínio possuem um furo de inspeção (figura 11-34) que permite verificar a profundidade da inserção do fio.

O cilindro do terminal de alumínio contém um composto de pó de petrolato de zinco.

Esse composto retira a camada muito fina de óxido de alumínio através do processo de abrasão durante a operação de estampagem.

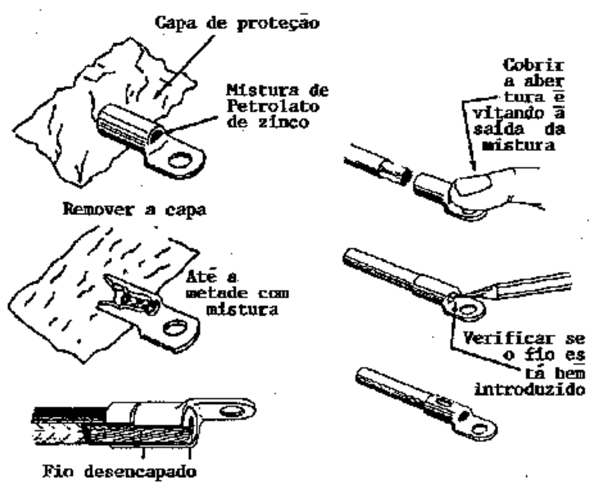

Capa de proteção
Mistura de Petrolato de zinco
Remover a capa
Até a metade com mistura
Fio desencapado
Cobrir a aber tura ē vitando ā saída da mistura
Verificar se o fio es tá bem introduzido

Figura 11-34 Introdução de fio de alumínio em terminal de alumínio.

O composto também diminuirá mais tarde a oxidação da conexão, pela eliminação da umidade e do ar. O composto é retido na parte interna do cilindro do terminal por um plástico ou um selante de alumínio na sua extremidade.

Emenda de fios de cobre usando emendas pré-isoladas

As emendas de cobre permanente pré-isoladas unem fios pequenos de bitola 22 até 10.

Cada tamanho de emenda pode ser usado para mais de uma bitola de fio. As emendas são isoladas com plástico branco, elas também são usadas para reduzir as bitolas dos fios (figura 11-35).

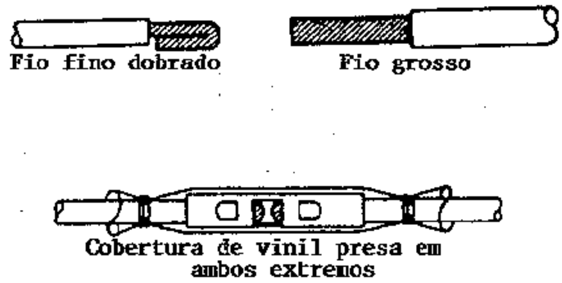

Fio fino dobrado
Fio grosso
Cobertura de vinil presa em ambos extremos

Figura 11-35 Redução da bitola do fio com uma emenda permanente.

As ferramentas de estampagem são usadas para realizar esse tipo de emenda. Os procedimentos de estampagem são semelhantes aos usados para os terminais, excetuando-se que o aperto deve ser feito duas vezes, uma para cada extremidade da emenda.

EMENDAS DE EMERGÊNCIA

Os fios quebrados podem ser consertados através de emendas de estampagem, usando-se um terminal do qual a alça foi cortada, ou soldando-se juntas as pernas quebradas, e aplicando-se o composto condutor anti-oxidante. Esses consertos são aplicáveis ao fio de cobre.

O fio de alumínio danificado não deve ser emendado temporariamente. Esses consertos são para uso somente de emergência temporária e devem ser substituídos, logo que seja possível, por consertos permanentes.

Visto que alguns fabricantes proíbem a emenda, as instruções fornecidas pelo fabricante devem ser consultadas permanentemente.

Emenda com solda e composto condutor/anti-oxidante

Quando não houver disponibilidade de nenhuma emenda permanente ou nenhum terminal, um fio quebrado pode ser emendado da seguinte maneira (figura 11-36):

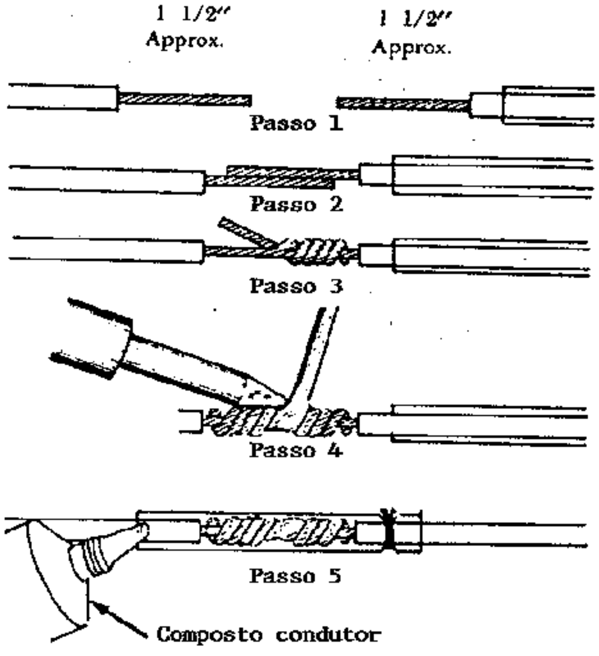

1 1/2″ Approx.
1 1/2″ Approx.
Passo 1
Passo 2
Passo 3
Passo 4
Passo 5
Composto condutor

Figura 11-36 Soldando um fio quebrado.

1) Instalar um pedaço de luva plástica com 3 polegadas de comprimento, e de diâmetro apropriado, para adaptar-se frouxamente sobre o isolamento num dos lados do fio quebrado.

2) Desencapar aproximadamente 1 ½ polegada de cada extremidade do fio quebrado.

3) Colocar as extremidades desencapadas lado a lado, e enrolar um fio ao redor do outro com aproximadamente quatro voltas.

4) Enrolar a extremidade livre do segundo fio ao redor do primeiro com aproximadamente 4 voltas. As voltas de fio são soldadas juntas, usando uma solda de 60/40 estanho chumbo com núcleo de resina.

5) Quando a solda estiver fria, puxar a luva sobre os fios soldados, e amarrá-la numa das extremidades. Se o composto condutor anti-oxidante estiver disponível, encher a luva com este material, e amarrar firmemente a outra extremidade.

6) Permitir que o composto permaneça sem ser tocado durante 4 horas. A cura completa e as características elétricas são atingidas em 24 horas.

CONEXÃO DE TERMINAIS A BLOCOS TERMINAIS

Os terminais devem ser instalados sobre os blocos terminais de modo que eles sejam presos contra o movimento no sentido de afrouxamento (figura 11-37).

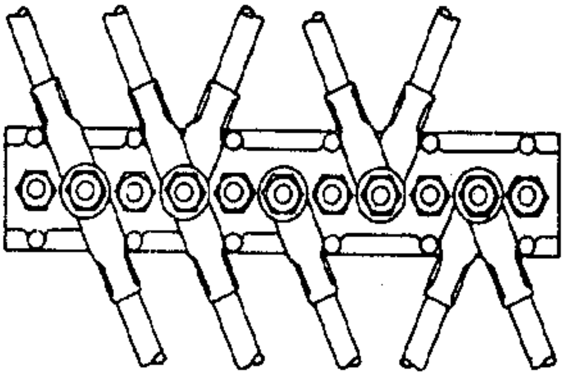


Figura 11-37 Conexão de terminais a bloco de terminais.

Os blocos terminais são geralmente equipados com estojos retidos por uma arruela lisa, uma arruela-freno e uma porca.

Ao se conectar os terminais, a prática recomendada é colocar a alça dos terminais de cobre diretamente sobre a porca, seguida por uma arruela lisa e uma porca autofrenante, ou uma arruela lisa, arruela-freno de aço e uma porca comum.

Os terminais de alumínio devem ser instalados sobre arruelas lisas com banho de latão, seguida por outra arruela igual, uma arruela-freno de aço e uma porca comum ou autofrenante. A arruela lisa deve possuir um diâmetro igual a largura da alça do terminal de alumínio. Consulta-se as instruções fornecidas pelo fabricante concernentes às dimensões destas arruelas. Não se instala nenhuma arruela entre os dois terminais de alumínio ou entre dois terminais de cobre. Além disso, não se instala uma arruela-freno junto a um terminal de alumínio.

Para unir um terminal de cobre a um terminal de alumínio coloca-se uma arruela lisa com banho de latão sobre a porca que mantém o estojo no lugar, depois o terminal de alumínio, seguido por uma arruela lisa com banho de latão, o terminal de cobre, uma arruela lisa, uma arruela-freno de aço e uma porca comum ou autofrenante.

Como regra geral, usa-se uma chave dinamométrica para apertar as porcas, a fim de assegurar pressão de contato suficiente. As instruções do fabricante fornecem torques de instalação para todos os tipos de terminais.

LIGAÇÃO À MASSA

Ligação à massa é a ligação elétrica de um objeto condutor com a estrutura primária completando o caminho de retorno da corrente. As estruturas primárias são a fuselagem e as asas do avião, comumente denominadas como massa ou terra.

A ligação à massa é encontrada nos sistemas elétricos do avião para:

1) Proteger o avião e o pessoal contra descarga de raio.

2) Proporcionar caminhos de retorno da corrente.

3) Evitar o desenvolvimento de potenciais de radiofreqüência.

4) Proteger o pessoal contra choques.

5) Proporcionar estabilidade de transmissão e recepção do rádio.

6) Evitar a acumulação de carga estática.

Procedimentos gerais para ligação à massa

Os procedimentos gerais e, as precauções seguintes, são recomendadas quando forem feitas ligações à massa:

1) Ligar as partes à massa através de estrutura primária do avião, onde for mais adequado.

2) Fazer as conexões de massa de modo que nenhuma parte da estrutura do avião seja enfraquecida.

3) Ligar as partes à massa individualmente, se possível.

4) Instalar as ligações à massa sobre superfícies lisas e limpas.

5) Instalar as ligações à massa, de modo que a vibração, expansão ou contração, ou o movimento relativo, em operação normal, não quebre ou afrouxe a conexão.

6) Instalar as conexões à massa em áreas protegidas sempre que for possível.

As ligações à massa devem ser mantidas tão pequenas quanto possível. A ligação não deve interferir na operação dos elementos móveis do avião tais como superfícies de controle; o movimento normal destes elementos não deve resultar em avaria na ligação à massa.

A ação eletrolítica pode corroer rapidamente uma ligação à estrutura, se não forem observadas as precauções adequadas. As ligações de liga de alumínio são recomendadas para a maioria dos casos; entretanto, as ligações de cobre podem ser usadas para unir as partes feitas de aço inoxidável, aço com banho de cádmio, cobre latão ou bronze. Onde o contato entre os diferentes metais não possa ser evitado, a escolha da ligação e das ferragens deve ser tal que a corrosão seja reduzida, e a parte que mais provavelmente sofrerá corrosão será a ligação ou a ferragem associada.

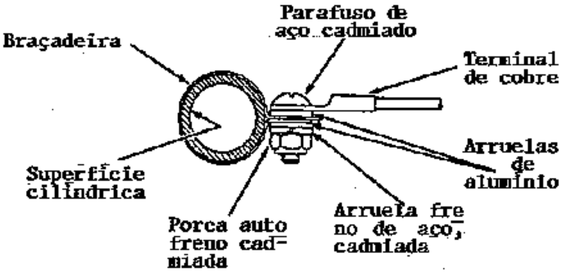
A figura 11-38 mostra algumas combinações para fazer as conexões de ligação à estrutura.

Em locais onde o acabamento é removido, uma camada protetora deve ser aplicada à conexão completa para evitar corrosão.

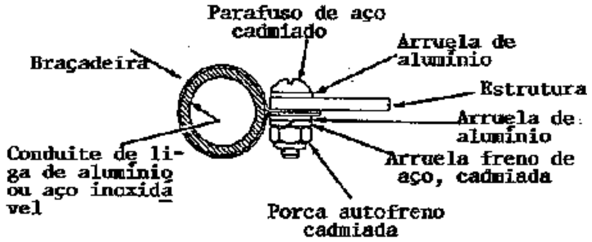
O uso de solda para fixar as conexões deve ser evitado. Os membros tubulares devem ser ligados por meio de braçadeiras às quais a conexão está fixada. A escolha correta do material de braçadeira diminui a probabilidade de corrosão. Quando as ligações à estrutura conduzirem uma corrente de retorno de intensidade substancial, a capacidade de corrente da conexão deve ser adequada, e deverá ser determinado que seja produzida uma queda de voltagem negligenciável.

As ligações à massa são geralmente feitas em superfícies planas, furadas por meio de parafusos onde existe fácil acesso para instalação. Outros tipos gerais de conexões aparafusadas são as seguintes:

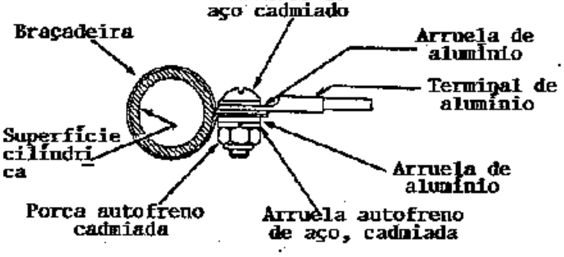
1) Na confecção de uma conexão estojo (figura 11-39), um parafuso é preso firmemente à estrutura, tornando-se assim um estojo. As ligações à massa podem ser retiradas ou acrescentadas à espiga sem retirar o estojo da estrutura.


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Terminal de cobre
Arruelas de alumínio
Superfície cilíndrica
Porca auto freno cadmiada
Arruela freno de aço, cadmiada

A - Terminal de cobre conectado à estrutura tubular


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Arruela de alumínio
Estrutura
Arruela de alumínio
Conduite de liga de alumínio ou aço inoxidável
Arruela freno de aço, cadmiada
Porca autofreno cadmiada

B - Fixando um conduite na estrutura


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Arruela de alumínio
Terminal de alumínio
Superfície cilíndrica
Arruela de alumínio
Porca autofreno cadmiada
Arruela autofreno de aço, cadmiada

C - Terminal de alumínio conectado à estrutura tubular

Figura 11-38 Combinações de ferragens para fazer conexões à estrutura.

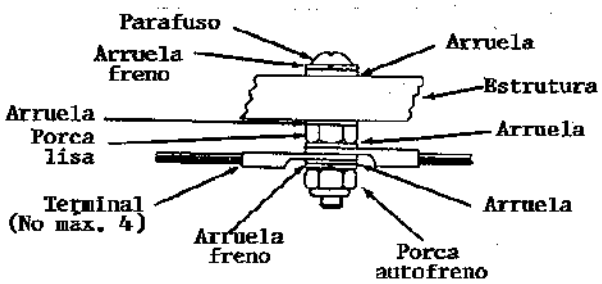

Parafuso
Arruela freno
Arruela
Estrutura
Arruela
Porca lisa
Arruela
Terminal (No max. 4)
Arruela
Arruela freno
Porca autofreno

Figura 11-39 Ligação à massa com estojo numa superfície plana.

2) As porcas de âncora são usadas onde o acesso às porcas para conserto é difícil. As porcas de âncora são rebitadas ou soldadas numa área limpa da estrutura (figura 11-40).

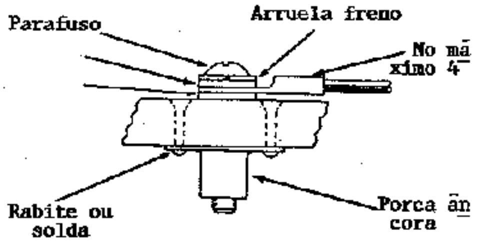

Parafuso
Arruela freno
No máximo 4
Rabite ou solda
Porca ân cora

Figura 11-40 Ligação à massa com porca de âncora numa superfície plana.

As ligações à massa são feitas também numa chapa rebitada na estrutura. Em tais casos é importante limpar a superfície da ligação à massa, e fazer a ligação como se a conexão estivesse sendo feita na estrutura.

Se for necessário remover a chapa por qualquer motivo, os rebites devem ser substituídos por rebites de um número imediatamente superior, e as superfícies conjugadas da estrutura e da chapa devem estar limpas e livres de película anódica.

As ligações à massa podem ser feitas às ligas de alumínio, magnésio ou estrutura tubular de aço resistente à corrosão, conforme apresentado na figura 11-41, que mostra o arranjo das ferragens para conexão com terminal de alumínio. Devido a facilidade com que o alumínio é deformado, é necessário distribuir a pressão do parafuso e da porca por meio de arruelas lisas.

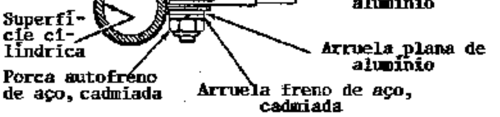

Parafuso de aço
Braçadeira
Arruela plana de alumínio
Terminal de alumínio
Superfície cilíndrica
Arruela plana de alumínio
Porca autofreno de aço, cadmiada
Arruela freno de aço, cadmiada

Figura 11-41 Ligação à massa numa superfície cilíndrica.

As ferragens usadas para fazer as ligações à massa devem ser selecionadas com base na resistência mecânica, na corrente a ser conduzida e na facilidade de instalação. Se a conexão for feita por terminal de alumínio ou de cobre, na estrutura de um material diferente, uma arruela de material adequado deverá ser instalada entre os metais diferentes, de modo que qualquer corrosão ocorrerá na arruela, a qual poderá ser descartada.

O material e o acabamento da ferragem devem ser selecionados baseando-se no material da estrutura, à qual a fixação é feita e no material da ligação, e do terminal especificado para ligação à massa.

Pode ser usado qualquer tipo de parafuso do tamanho adequado para o terminal da conexão especificada. Quando se conserta ou substitui as ligações de massa existentes, deve ser mantido o mesmo tipo de ferragem usado na conexão original.

Teste de ligações à massa

A resistência de todas as conexões de ligações à massa deve ser checada depois que as conexões forem feitas, e antes do reacabamento. A resistência de cada conexão não deve, normalmente, exceder 0,003 ohm. As medidas da resistência tem que ser de natureza limitada, somente para a verificação da existência de uma ligação, mas não devem ser consideradas como a única prova da conexão satisfatória.

A extensão das ligações, métodos e materiais usados, e a possibilidade de afrouxar as conexões em operação, também devem ser considerados.

CONECTORES

Os conectores (PLUGS e receptáculos) facilitam a manutenção quando for necessária uma desconexão freqüente. Visto que o cabo está soldado aos pinos inseridos no conector, as ligações devem ser instaladas individualmente, e o chicote firmemente suportado para evitar danos devido a vibração.

No passado, os conectores foram particularmente vulneráveis à corrosão devido a condensação dentro do invólucro. Conectores especiais com características à prova de água têm sido desenvolvidos para que possam substituir

tuir PLUGS que não são à prova d'água nas áreas onde a umidade constitui um problema. Um conector do mesmo tipo básico e modelo deve ser usado quando substituir outro.

Os conectores suscetíveis à corrosão podem ser tratados com uma gelatina à prova d'água quimicamente inerte. Quando substituir os conjuntos de conector, o tampão do tipo soquete deve ser usado na metade que está "viva" ou "quente", depois da desconexão do conector, para evitar uma ligação à massa não intencional.

Tipos de conectores

Os conectores são identificados pelos números AN, e são divididos em classes com variações do fabricante para cada classe. As variações do fabricante são diferentes em aparência e em método, para se seguir uma especificação.

Alguns conectores mais usados encontram-se na figura 11-42. Há 5 (cinco) classes básicas de conectores AN usados na maioria dos aviões. Cada classe de conector se diferencia ligeiramente da outra em sua característica de construção. As classes A, B, C e D são feitas de alumínio, e a classe K é feita de aço.

1 - CLASSE A - Conector sólido, de invólucro traseiro inteiriço com finalidade geral.

2 - CLASSE B - O invólucro traseiro do conector separa-se em duas partes longitudinalmente. Usado, principalmente, onde for importante que os conectores soldados sejam prontamente acessíveis. O revestimento traseiro é mantido junto por um anel roscado ou por parafusos.

3 - CLASSE C - Um conector pressurizado com pinos inseridos não removíveis. Semelhante ao conector classe A na aparência; mas a disposição do selante interno é, às vezes, diferente. Ele é usado nas anteparas do equipamento pressurizado.

4 - CLASSE D - Conector resistente à vibração e à umidade, que possui um ilhós selante de borracha no invólucro traseiro. Os fios são passados através dos orifícios apertados de borracha selante no ilhós e, dessa forma selados contra a umidade.

5 - CLASSE K - Um conector à prova de fogo usado em áreas onde é vital que a corrente elétrica não seja interrompida, mesmo quando o conector estiver exposto a uma chama aberta contínua. Os fios são estampados aos pinos ou contatos do soquete, e os invólucros são feitos de aço. Essa classe de conector é geralmente maior do que as outras.

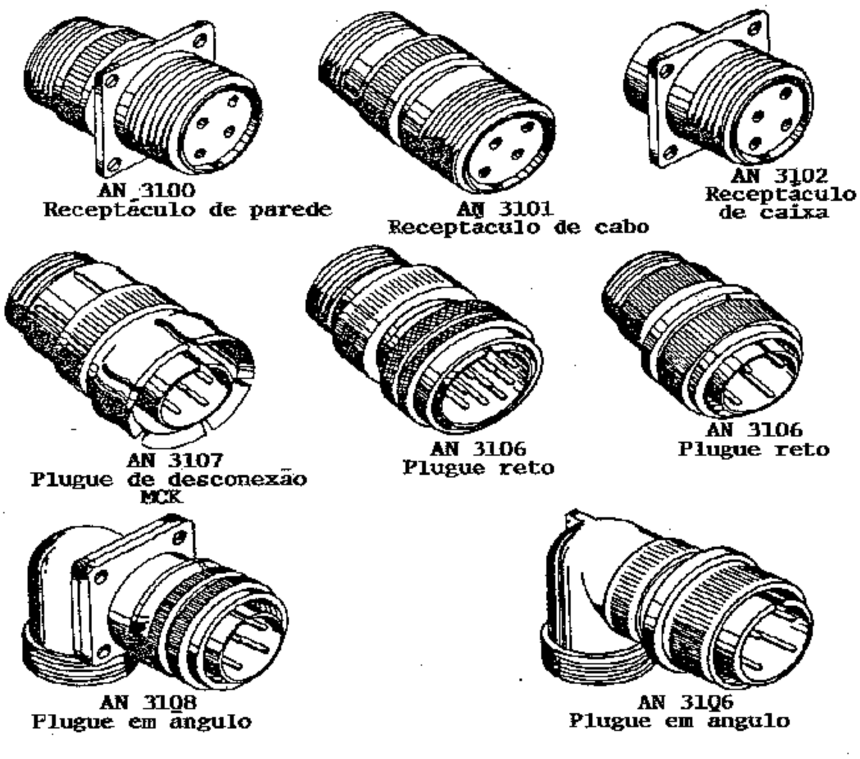


Figura 11-42 Conectores AN.

Identificação de conectores

As letras e os números do código são marcados no anel de acoplamento ou no invólucro para identificar o conector. O código (figura 11-43) proporciona toda informação necessária para se obter uma substituição correta da peça defeituosa ou avariada.

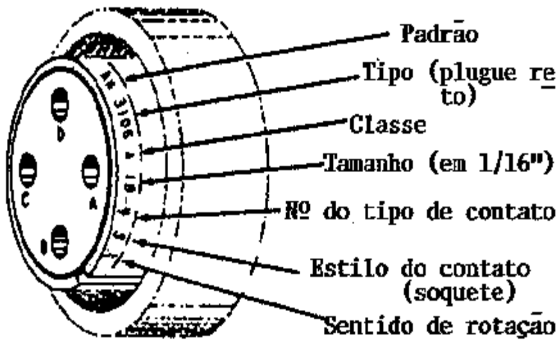


Figura 11-43 Codificação do conector AN.

Muitos conectores com finalidades especiais têm sido construídos para o uso em aeronaves. Esses incluem conectores de invólucro subminiatura e retangulares, e conectores com invólucro de corpo pequeno ou de construção de invólucro bipartido.

Instalação de conectores

Os procedimentos seguintes descrevem um método recomendado de instalação dos conectores com os receptáculos:

1) Localizar a posição adequada do PLUG em relação ao receptáculo, alinhando a chaveta de uma peça com a ranhura da outra peça.

2) Colocar o PLUG no receptáculo com uma leve pressão para frente, e encaixar as roscas do anel de acoplamento e do receptáculo.

3) Alternadamente, empurrar o PLUG para dentro, e apertar o anel de acoplamento até que o PLUG esteja completamente assentado.

4) Se o espaço ao redor do conector for muito pequeno para segurar firmemente o conector, usar alicates de conectores para apertar os anéis de acomplamento 1/16 até 1/8 de volta além do aperto manual.

5) Nunca usar força para unir os conectores aos receptáculos. Não usar martelo para introduzir um PLUG em seu receptáculo, e nunca usar uma chave de torque ou alicate para frenar os anéis de acoplamento.

Um PLUG é geralmente desmontado de um receptáculo da seguinte maneira:

1) Usar alicates de conectores para afrouxar os anéis de acomplamento que estejam apertados demais para serem afrouxados manualmente.

2) Alternadamente, puxar o PLUG e desapertar o anel de acoplamento até que o PLUG esteja solto.

3) Proteger os PLUGS e os receptáculos desconectados com tampões ou sacos plásticos, para evitar a entrada de materiais estranhos que possam acarretar falhas.

4) Não usar força excessiva, e não puxar os fios instalados.

CONDUÍTE

O conduíte é usado nas instalações do avião para a proteção mecânica dos fios dos chicotes. Ele é encontrado em materiais metálicos e não metálicos, nas formas rígida e flexível.

Quando é selecionado um diâmetro do conduíte para a aplicação em um chicote (é prática comum para facilitar a manutenção, no caso de uma possível expansão futura) especifica-se o diâmetro interno do conduíte em torno de 25% maior do que o diâmetro máximo do chicote.

O diâmetro nominal de um conduíte metálico rígido é o diâmetro externo. Portanto, para se obter o diâmetro interno, subtraimos duas vezes a espessura da parede do tubo.

Do ponto de vista da abrasão, o condutor é vulnerável nas extremidades do conduíte. Adaptações apropriadas são afixadas às extremidades do conduíte, de maneira que uma superfície lisa entre em contato com o condutor dentro do conduíte.

Quando as conexões não forem usadas, a extremidade do conduíte deve ser flangeada para evitar estragos no isolamento do fio.

O conduíte é sustentado por braçadeiras ao longo de seu percurso.

Muitos dos problemas comuns de instalação de conduíte podem ser evitados, prestando-se atenção aos seguintes detalhes:

1) Não instalar o conduíte onde ele possa ser usado como apoio das mãos ou dos pés.

2) Instalar orifícios de dreno nos pontos mais baixos ao longo do conduíte. As rebarbas devem ser cuidadosamente retiradas dos orifícios de dreno.

3) Apoiar o conduíte para evitar atrito na estrutura, e ainda evitar esforço nas adaptações em suas extremidades.

As partes danificadas do conduíte devem ser consertadas para evitar danos aos fios ou aos chicotes.

O raio de curvatura mínimo permitido para um conduíte rígido, deve ser o descrito nas instruções do fabricante. As curvaturas torcidas ou enrugadas num conduíte rígido não são aceitáveis.

O conduíte de alumínio flexível é encontrado comumente em dois tipos: (1) conduíte flexível desencapado; e (2) revestido com borracha.

O conduíte de latão flexível é normalmente usado no lugar do conduíte de alumínio flexível, onde for necessário para minimizar a interferência no rádio.

O conduíte flexível pode ser usado onde for impossível usar o conduíte rígido, tal como áreas que possuam movimento entre as extremidades do conduíte, ou forem necessárias curvaturas complexas.

A fita adesiva transparente é recomendada quando se corta a tubulação flexível com uma serra, para minimizar a desfiadura da trança.

INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELÉTRICO

Esta parte fornece os procedimentos gerais e medidas de segurança para instalação de componentes e equipamentos elétricos, comumente usados.

Os limites de carga elétrica, meios aceitáveis de controle ou monitoramento e dispositivos de proteção do circuito, são assuntos com os quais os mecânicos devem se familiarizar, para instalar adequadamente, e manter os sistemas elétricos do avião.

Limites de carga elétrica

Quando se instala equipamento elétrico adicional que consome força elétrica num avião, a carga elétrica total deverá ser seguramente controlada ou remanejada, dentro dos limites dos componentes afetados no sistema de alimentação do avião.

Antes que qualquer carga elétrica de avião seja aumentada, os fios associados, cabos e dispositivos de proteção de circuito (fusíveis ou disjuntores) deverão ser verificados para determinar se a nova carga elétrica (carga elétrica anterior mais a carga acrescentada) não excede aos limites estabelecidos dos fios existentes, cabos ou dispositivos de proteção.

Os valores de saída do gerador ou do alternador determinados pelo fabricante devem ser comparados às cargas elétricas, que podem ser impostas ao gerador ou alternador afetado pelo equipamento instalado.

Quando a comparação mostrar que a carga elétrica total provável conectada excede os limites de carga de saída dos geradores ou dos alternadores, a carga deverá ser reduzida para que não ocorra sobrecarga. Quando uma bateria fizer parte do sistema de força elétrica, devemos nos certificar de que ela está sendo continuamente carregada em vôo, exceto quando pequenas cargas intermitentes estiverem ligadas, tais como um transmissor de rádio, um motor de trem de pouso, ou outros aparelhos semelhantes, que podem solicitar cargas da bateria em curtos intervalos de tempo.

Controle ou monitoramento da carga elétrica

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo da bateria, e o sistema regulador limita a corrente máxima que o gerador ou o alternador pode distribuir, um voltímetro pode ser instalado na barra do sistema. Enquanto o amperímetro não indicar "descarga" (exceto para pequenas cargas intermitentes, tais como as que operam trens de pouso e flapes), e o voltímetro permanecer indicando "voltagem do sistema" , o gerador ou alternador não estará sobrecarregado.

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo do gerador ou do alternador, e o regulador do sistema não limita a corrente máxima que o gerador ou o alternador pode fornecer, o amperímetro pode ser tracejado de vermelho em 100% da capacidade do gerador ou do alternador. Se a leitura do amperímetro nunca exceder a linha vermelha, exceto para pequenas cargas intermitentes, o gerador ou o alternador não serão sobrecarregados.

Quando dois ou mais geradores funcionarem em paralelo, e a carga total do sistema puder exceder a capacidade de saída de um gerador deverão ser providenciados meios para corrigir rapidamente as sobrecargas súbitas que possam ser causadas por falha do gerador ou do motor. Poderá ser empregado um sistema de redução rápida de carga, ou um procedimento especificado, onde a carga total possa ser reduzida a um valor que esteja dentro da capacidade do gerador em operação.

As cargas elétricas devem ser conectadas aos inversores, alternadores ou fontes de força elétrica semelhantes, de maneira que os limites de capacidade da fonte de força não sejam excedidos, a menos que algum tipo de monitoramento efetivo seja fornecido para manter a carga dentro de limites prescritos.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE CIRCUITOS

Os condutores devem ser protegidos com disjuntores ou fusíveis, localizados tão próximos quanto possível da barra da fonte de força elétrica. Geralmente, o fabricante do equipamento elétrico especifica o fusível ou disjuntor a ser usado, ao instalar o equipamento.

O disjuntor ou fusível deve abrir o circuito antes do condutor emitir fumaça. Para isto, a característica corrente/tempo do dispositivo de proteção deve cair abaixo da do condutor associado.

As características do protetor do circuito devem ser igualadas para obter a utilização máxima do equipamento conectado.

A figura 11-44 mostra um exemplo da tabela usada na seleção do disjuntor e do fusível de proteção para condutores de cobre.

Essa tabela limitada é aplicável a um conjunto específico de temperaturas ambientes, e bitolas dos fios dos chicotes; e, é apresentada somente como um exemplo típico.

Bitola do fio AN de cobre	Amperagem	
	Disjuntor	Fusível
22	5	5
20	7.5	5
18	10	10
16	15	10
14	20	15
12	30	20
10	40	30
8	50	50
6	80	70
4	100	70
2	125	100
1		150
0		150

Figura 11-44 Tabela do fio e protetor do circuito.

É importante se consultar tais tabelas antes que um condutor para uma finalidade específica seja selecionado. Por exemplo, um fio único ao ar livre pode ser protegido pelo disjuntor do próximo valor mais alto àquele mostrado na tabela.

Todos os disjuntores religáveis devem abrir o circuito no qual eles estão instalados, independentemente da posição do controle de operação quando ocorrer sobrecarga ou falha do circuito. Tais disjuntores são chamados de "desarme-livre".

Os disjuntores religáveis não devem ser usados como dispositivos de proteção nos circuitos no avião.

Interruptores

Um interruptor projetado especificamente deve ser usado em todos os circuitos, onde um mau funcionamento de um interruptor seria perigoso.

Tais interruptores são de construção robusta e possuem capacidade de contato suficiente para interromper, fechar e conduzir continuamente a carga da corrente conectada; o do tipo de ação de mola é geralmente preferido para se obter abertura e fechamento rápidos, sem considerar a velocidade de operação da alavanca, o que, conseqüentemente, diminui o centelhamento dos contatos.

O valor da corrente nominal do interruptor convencional do avião está geralmente estampado no seu alojamento. Este representa o valor da corrente de trabalho com os contatos fechados. Os interruptores devem ter reduzida a capacidade nominal de corrente para os seguintes tipos de circuitos:

1) Circuitos de Alta-Intensidade Inicial - Os circuitos que possuem lâmpadas incandescentes podem puxar uma corrente inicial que seja 15 vezes maior do que a corrente de trabalho. A queima ou fusão do contato pode ocorrer quando o interruptor for fechado.

2) Circuitos Indutivos - A energia magnética armazenada nas bobinas dos solenóides ou dos relés é liberada, e aparece sob forma de arco quando o interruptor for aberto.

3) Motores - Os motores de corrente contínua puxarão diversas vezes sua corrente nominal de trabalho durante a partida, e a energia magnética armazenada no seu rotor e nas bobinas de campo será liberada quando o interruptor de controle for aberto.

A tabela da figura 11-45 é similar às encontradas para seleção do valor nominal apropriado do interruptor, quando a corrente da carga de trabalho for conhecida.

Essa seleção é essencialmente uma redução da capacidade normal de carga para se obter uma razoável vida útil, e eficiência do interruptor.

Os erros prejudiciais na operação do interruptor podem ser evitados por uma instalação consistente e lógica.

VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	TIPO DE CARGA	FATOR “DERATING”
24V. C.C	Lâmpada	8
24V. C.C	Indutiva (Relé ou Solenoide)	4
24V. C.C	Resistiva (Aquecedor)	2
24V. C.C	Motor	3
12V. C.C	Lâmpada	5
12V. C.C	Indutiva (Relé ou Solenoide)	2
12V. C.C	Resistiva (Aquecedor)	1
12V. C.C	Motor	2

Figura 11-45 Fatores de redução da carga dos interruptores.

Os interruptores de duas posições, "liga-desliga", devem ser instalados de modo que a posição "liga" seja alcançada movimentando-se a alavanca para cima ou para frente. Quando o interruptor controlar partes móveis do avião, tais como trem de pouso ou flapes, a alavanca deve mover-se no mesmo sentido que o movimento desejado. A operação acidental de um interruptor pode ser evitada instalando-se uma guarda adequada sobre o mesmo.

Relés

Os relés são usados como interruptores, onde se possa obter redução de peso ou simplificação dos controles elétricos. Um relé é um interruptor operado eletricamente e, está, portanto, sujeito a falha sob condições de baixa voltagem no sistema. A apresentação anterior sobre os interruptores é geralmente aplicável para os valores de contato dos relés.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE AERONAVES

Os sistemas de iluminação de aeronaves fornecem iluminação para uso externo e interno. As luzes da parte externa proporcionam iluminação para tais operações como pousos noturnos, inspeção das formações de gelo e segurança, para evitar colisão das aeronaves em vôo.

A iluminação interna fornece iluminação para os instrumentos, cabine de comando, cabines e outras seções ocupadas pela tripulação e passageiros. Certas luzes especiais, tais como luzes indicadoras e de aviso, indicam a situação operacional do equipamento.

Luzes externas

As luzes de posição anticolisão, e de táxi, são exemplos comuns de luzes externas do aeronaves.

Algumas luzes, tais como as luzes de posição, luzes de inspeção das asas e as luzes de anticolisão, são necessárias para operações noturnas.

Luzes de posição

A aeronave que opera à noite deve ser equipada com luzes de posição que se enquadrem nas recomendações mínimas especificadas pelo FAA (Federal Aviation Regulations).

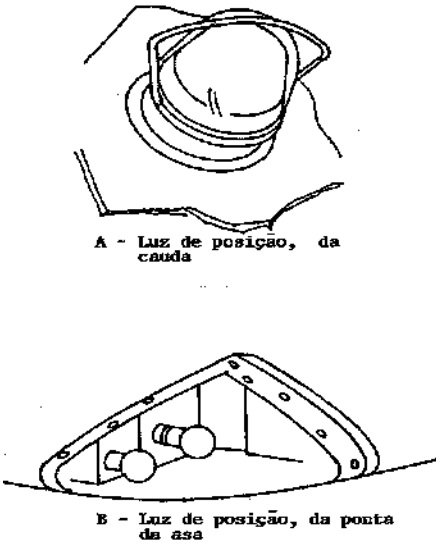
Um conjunto de luzes de posição consiste de uma luz vermelha, uma verde e uma branca. As luzes de posição são, às vezes, chamadas de "luzes de navegação". Em muitos aviões, cada unidade de luz contém uma única lâmpada instalada sobre a superfície do avião (A da figura 11-46).

Outros tipos de unidade de luz de posição contêm duas lâmpadas (B da figura 11-46) e, freqüentemente, ficam faceadas com a superfície da estrutura do avião.

A unidade de luz verde é sempre instalada na ponta da asa direita. A unidade de luz vermelha está instalada numa posição semelhante na asa esquerda. A unidade branca é geralmente instalada no estabilizador vertical numa posição onde seja claramente visível através de um ângulo bem aberto, pela traseira do avião.

As lâmpadas da ponta de asa, e as lâmpadas da cauda, são controladas por um interruptor DPST na cabine de comando. Na posição "atenuado", o interruptor liga um resistor em série com as lâmpadas. Visto que o resistor reduz o fluxo da corrente, a intensidade da luz é reduzida.

Para aumentar a intensidade da luz, o interruptor é colocado em "brilhante", a resistência é curto-circuitada, e as lâmpadas brilham intensamente.


A - Luz de posição, da cauda

B - Luz de posição, da ponta da asa

Figura 11-46 Luzes de posição.

Em alguns tipos de instalações, um interruptor na cabine de comando permite operação contínua ou pisca-pisca das luzes de posição. Durante a operação pisca-pisca, um mecanismo é geralmente instalado no circuito da luz de posição.

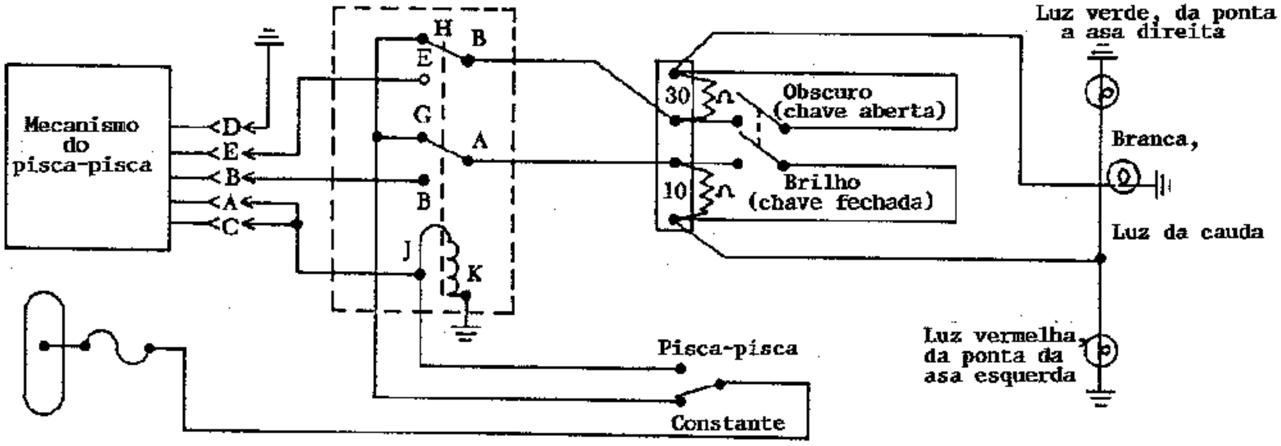


Figura 11-47 Circuito das luzes de posição.

Ele consiste, essencialmente, de um eixo acionado por um motor elétrico, no qual estão instalados dois cames ou ressaltos e um mecanismo de transferência, constituído de dois braços de platinados e dois parafusos de contato.

Um braço de platinado fornece corrente CC ao circuito das luzes de posição de asa, através de um parafuso de contato; e outro abastece o circuito de luz da cauda, através de outro parafuso de contato Quando o motor gira, ele aciona o eixo de cames através de um conjunto de engrenagens de redução, e faz com que os cames operem o interruptor, o qual abre e fecha os circuitos de luz da cauda e as asas alternadamente. A figura 11-47 é um esquema simplificado de um circuito de luz de navegação que ilustra um tipo de conjunto de luzes de posição

A figura 11-48 mostra o diagrama esquemático de um outro tipo de circuito de luzes de posição.

O controle das luzes de posição, feito por um único interruptor de duas posições "liga-desliga", proporciona somente iluminação fixa. Não há pisca-pisca, nem reostato de redução da intensidade.

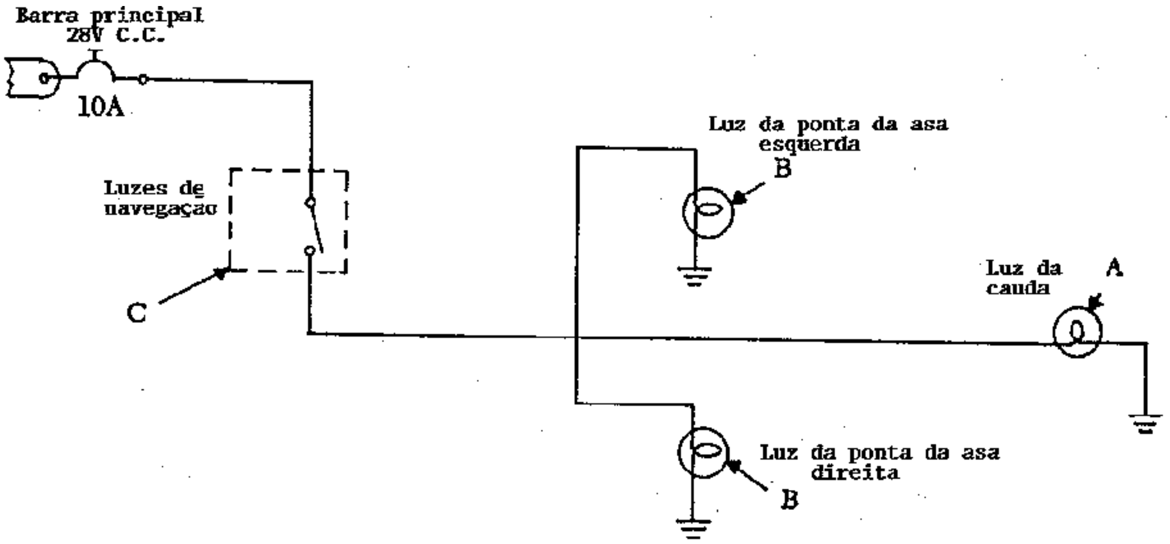


Figura 11-48 Circuito de luzes de posição sem pisca-pisca.

Há, certamente, muitas variações de circuitos de luz de posição usados em diferentes aviões.

Todos os circuitos são protegidos por fusíveis ou disjuntores, e muitos circuitos incluem equipamento de redução da intensidade da luz e de pisca-pisca.

Outros circuitos são ligados para energizar um relé especial de redução de intensidade das luzes de aviso, o qual reduz perceptivelmente a intensidade de todas as luzes de aviso da cabine de comando, quando as luzes de posição são acesas.

Os aviões de pequeno porte são equipados com um interruptor de controle e circuitos simplificados. Em alguns casos, um botão de controle ou um interruptor é usado para ativar vários conjuntos de luzes; por exemplo, um tipo utiliza um botão de controle cujo primeiro movimento ativa as luzes de posição e as luzes do painel de instrumentos.

A rotação seguinte do botão de controle aumenta somente a intensidade das luzes do painel.

Uma unidade pisca-pisca é raramente encontrada no conjunto de luzes de posição de aviões muito leves, mas é usado em aviões bimotores de pequeno porte.

Luzes de anticolisão

Um sistema de luz de anticolisão pode consistir de uma ou mais luzes. Elas são feixes de luz móvel, que se acham instaladas no topo da fuselagem ou na cauda, numa localização tal, que a luz não afeta a visão dos tripulantes nem diminuirá a visibilidade das luzes de posição. Em alguns casos, uma das luzes fica instalada no ventre da fuselagem. O meio mais simples de instalar uma luz de anticolisão é fixá-la a um painel reforçado de revestimento da fuselagem, como apresentado na figura 11-49.

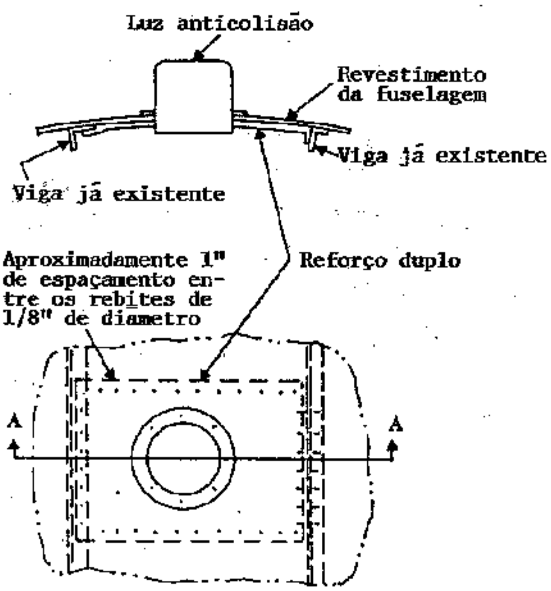

Luz anticolisão
Revestimento da fuselagem
Viga já existente
Viga já existente
Aproximadamente 1" de espaçamento entre os rebites de 1/8" de diametro
Reforço duplo
A
A

Figura 11-49 Instalação típica da luz da anticolisão num painel de revestimento não pressurizado

Uma luz de anticolisão acha-se freqüentemente instalada no topo do estabilizador vertical, se a seção transversal do estabilizador for suficientemente grande para acomodar a instalação, e se as características de vibração e ondulação não forem adversamente afetadas.

Tais instalações devem ser localizadas próximo de uma longarina, acrescentando-se falsas nervuras de acordo com a necessidade para reforçar a estrutura junto à luz. A figura 11-50 mostra uma instalação típica de luz de anticolisão no estabilizador vertical.

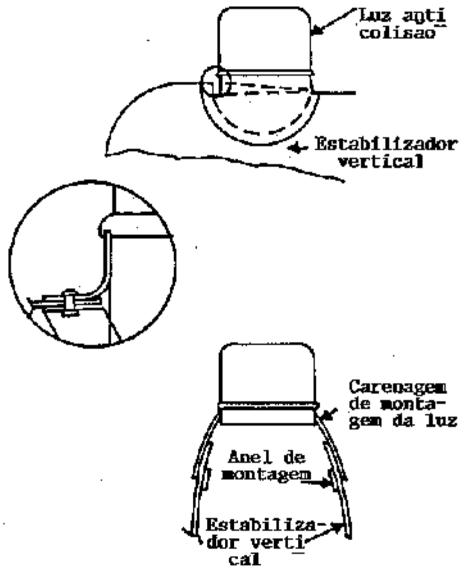

Luz anti colisao
Estabilizador vertical
Carenagem de montagem da luz
Anel de montagem
Estabilizador vertical

Figura 11-50 Instalação típica da luz de anticolisão no estabilizador vertical.

Uma unidade de luz de anticolisão consiste geralmente de uma ou duas luzes rotativas operadas por um motor elétrico.

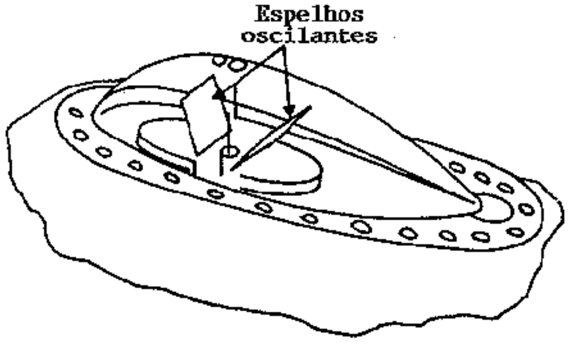

Espelhos oscilantes

Figura 11-51 Luz de anticolisão.

A luz pode ser fixa, mas instalada sob espelhos giratórios dentro de uma proteção de vidro vermelho saliente. Os espelhos giram num arco e a razão do pisca-pisca das luzes está entre 40 e 100 ciclos por minuto (ver a figura 11-51).

A luz de anticolisão é uma luz de segurança para alertar outro avião, principalmente em áreas congestionadas.

Luzes de pouso

As luzes de pouso acham-se instaladas no avião para iluminar as pistas durante os pousos noturnos. Essas luzes são muito fortes, e são direcionadas por um refletor parabólico num ângulo que proporciona um alcance máximo de iluminação.

As luzes de pouso geralmente estão localizadas na parte mediana do bordo de ataque de cada asa, ou faceadas na superfície do avião. Cada luz pode ser controlada por um relé, ou pode ser ligada diretamente no circuito elétrico.

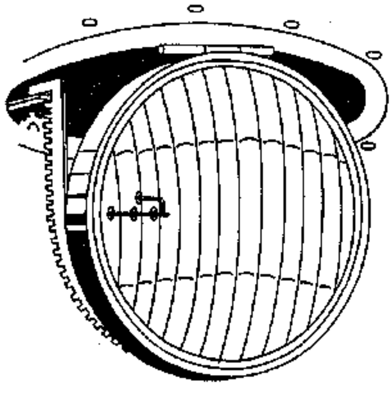


Figura 11-52 Luz de pouso retrátil.

Sabendo-se que o gelo nas lentes das lâmpadas reduz a qualidade de iluminação das mesmas, algumas instalações utilizam lâmpadas de pouso retráteis (figura 52). Quando as lâmpadas não estão em uso, um motor as retrai para receptáculos existentes na asa, onde as lentes não ficam expostas ao ar.

Conforme mostra a figura 11-53, o tipo de luz de pouso retrátil possui um motor reversível. Dois dos terminais do enrolamento de campo estão conectados aos dois terminais externos do interruptor de controle do motor, através dos pontos de contato C e D; enquanto o terminal central conecta a uma das duas escovas do motor.

As escovas ligam o motor e o solenóide do freio magnético com o circuito elétrico. Os pontos de contato C são mantidos abertos pelo quadrante dentado do mecanismo da lâmpada. Os pontos de contato D são mantidos fechados pela tensão da mola à direita dos contatos. Isto é um arranjo típico de um circuito de lâmpada de pouso quando a lâmpada está retraída e o interruptor de controle está na posição desligado. Nenhuma corrente flui no circuito e, nem o motor nem a lâmpada podem ser energizados.

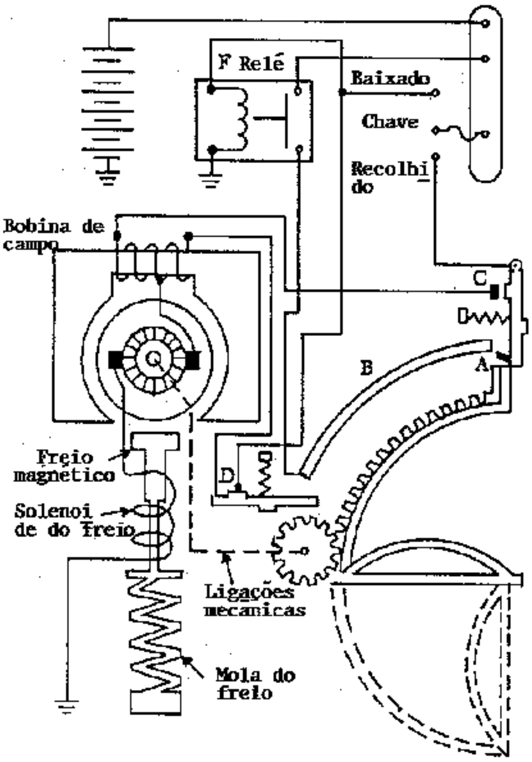


Figura 11-53 Circuito e mecanismo da luz de pouso.

Quando o interruptor de controle for colocado na posição superior, ou "estender" (figura 11-53), a corrente da bateria fluirá através dos contatos fechados do interruptor, dos contatos fechados do contato D, do terminal central do enrolamento de campo, e do próprio motor. A corrente através do circuito do motor, energiza o solenóide do freio, que afasta a sapata do freio do eixo do motor, permitindo que o motor gire e abaixe o mecanismo da lâmpada. Depois que o mecanismo da lâmpada se desloca cerca de 10°, o contato A é ligado e desliza ao longo da barra de cobre B. Neste meio tempo, o relé F é energizado e seu contato se fecha. Isto permite que a corrente flua através da barra de cobre B, do contato A e da lâmpada. Quando o mecanismo da lâmpada estiver completamente abaixado, a saliência no topo do quadrante dentado afastará os contatos D, abrirá o circuito do motor, e fará com que o solenóide do freio desenergizado se solte. O freio é forçado contra o eixo do motor pela mola, parando o motor e completando a operação de arriamento.

Para retrair a luz de pouso, o interruptor de controle é colocado na posição "retrair" (figura 11-53).

Os circuitos do motor e do freio são completados através dos pontos de contato C, visto que estes contatos estarão fechados quando o quadrante dentado estiver arriado. Esta ação completa o circuito, libera o freio, aciona o motor (desta vez no sentido oposto) e o mecanismo da luz de pouso é retraído.

Visto que a ligação para retrair interrompe o circuito do relé F, os contatos do relé abrem-se, desligando a barra de cobre e provocando o apagamento da luz de pouso. Quando o mecanismo estiver completamente retraído, os pontos de contato C e o circuito para o motor serão interrompidos novamente; o freio aplicado; e o motor parado.

Em alguns aviões são empregadas luzes de pouso retráteis que podem permanecer distendidas em qualquer ponto de sua extensão.

As luzes de pouso usadas nos aviões de alta velocidade são geralmente equipadas com um sensor de velocidade, que evita a extensão das luzes de pouso em velocidades excessivas. Tais sensores também provocam a retração das luzes de pouso se o avião exceder uma velocidade pré-determinada.

A maioria dos aviões de grande porte são equipados com quatro luzes de pouso, das quais duas são fixas e duas são retráteis.

As luzes fixas acham-se geralmente localizadas nas áreas da raiz da asa ou junto a parte externa da fuselagem, no bordo de ataque de cada asa.

As duas luzes retráteis acham-se geralmente localizadas na superfície externa inferior de cada asa e, são, normalmente, controladas por interruptores distintos.

Em alguns aviões, a luz fixa acha-se instalada numa área com a luz de táxi, como apresenta a figura 11-54.

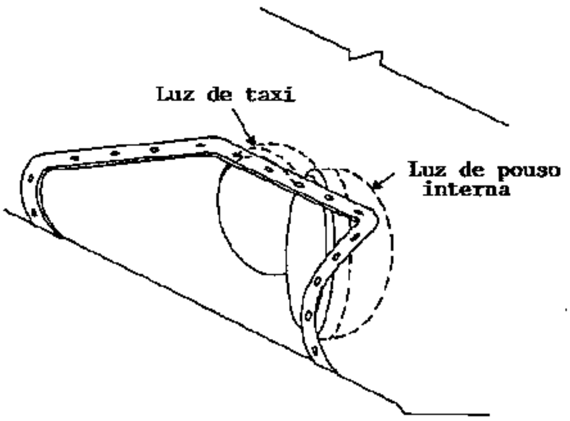


Figura 11-54 Luz de pouso fixa e luz de táxi.

Luzes de táxi

As luzes de táxi têm como finalidade fornecer iluminação no solo durante o táxi ou o reboque do avião na pista de pouso e decolagem, na pista de táxi ou no hangar.

As luzes de táxi não são apropriadas para fornecer o grau de iluminação necessária como as luzes de pouso; as luzes de táxi de 150 a 250 watts são usadas na maioria dos aviões de porte médio e grande.

Nos aviões com trem de pouso triciclo, as luzes de táxi (única ou dupla) acham-se instaladas na parte não direcional do trem de pouso do nariz.

Como mostra a figura 11-55, elas estão posicionadas em ângulos oblíquos com a linha central do avião, para fornecer iluminação diretamente, em frente do avião, e ainda alguma iluminação à direita e à esquerda do mesmo.

As luzes de táxi são montadas também em áreas de recesso do bordo de ataque da asa, sempre na mesma área com uma luz de pouso fixa.

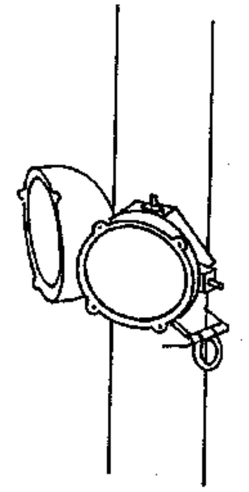


Figura 11-55 Luzes de táxi instaladas na parte não direcional do trem do nariz.

Muitos aviões de pequeno porte não são equipados com qualquer tipo de luz de táxi, mas o uso intermitente de uma luz de pouso é essencial para iluminar durante as operações de taxiamento.

Ainda, outros aviões utilizam um resistor redutor de intensidade no circuito de luz de pouso para fornecer iluminação reduzida durante o taxiamento. Um circuito típico com luzes de táxi duplas é mostrado na figura 11-56.

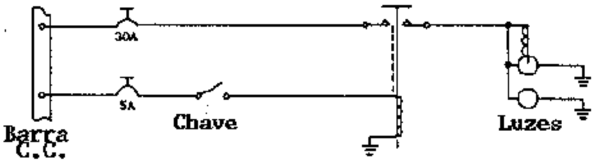


Figura 11-56 Circuito típico de luz de táxi.

Alguns aviões de grande porte são equipados com luzes de táxi alternativas localizadas na superfície inferior do avião, atrás do radome do nariz. Essas luzes, operadas por um interruptor separado das luzes principais de táxi, iluminam a área imediatamente na frente e abaixo do nariz do avião.

Luzes de inspeção das asas

Algumas aeronaves são equipados com luzes de inspeção da asa para o bordo de ataque das asas, e para permitir a observação de formação de gelo e condição geral destas áreas em vôo.

Em alguns aviões, o sistema de luz de inspeção da asa (também chamada de luzes de gelo da asa) consiste de uma luz de 100 watts faciada no lado externo de cada nacele à frente da asa. Essas luzes permitem a detecção visual da formação de gelo nos bordos de ataque da asa durante o vôo noturno. Elas também são usadas freqüentemente como projetores durante os serviços gerais no solo. Geralmente, são controladas por um relé através de um interruptor de alavanca liga-desliga na cabine de comando.

Alguns sistemas de luz de inspeção da asa podem incluir ou serem suplementados por luzes adicionais, algumas vezes chamadas de luzes da nacele, que iluminam áreas adjacentes, tais como os flapes da capota ou o trem de pouso. Estas são normalmente do mesmo tipo de luzes, e podem ser controladas pelos mesmos circuitos.

MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

A inspeção dos sistemas de iluminação do avião normalmente consiste em checar a condição e a segurança de toda fiação visível, conexões, terminais, fusíveis e interruptores.

Uma lâmpada de continuidade ou um medidor pode ser usado para executar estes testes, visto que a causa de muitas panes pode sempre ser localizada por testes sistemáticos de continuidade de cada circuito.

Todas as lentes e refletores das luzes devem ser mantidos limpos e polidos. Os refletores nebulosos são geralmente provocados por entrada de ar ao redor das lentes.

A condição do composto selante ao redor da moldura das luzes de posição deve ser inspecionada regularmente. Os vazamentos ou fendas devem ser reparados com um composto selante apropriado.

Toma-se todo cuidado ao instalar uma lâmpada nova num conjunto de luz, visto que muitas lâmpadas se adaptam numa única posição do soquete, e um esforço excessivo pode provocar um circuito aberto ou incompleto no soquete. O teste do circuito, comumente conhecido como pesquisa de pane, é uma maneira sistemática de localizar as falhas de um sistema elétrico. Essas falhas são geralmente de três tipos:

1) Circuitos abertos, nos quais os fios estão quebrados.

2) Curtos-circuitos, nos quais os fios em curto fazem com que a corrente retorne à massa indevidamente.

3) Baixa voltagem nos circuitos faz com que as luzes acendam fracamente, e os relés vibrem. As panes elétricas podem ocorrer na unidade ou na fiação. Se panes como estas forem cuidadosamente analisadas, e as providências sistemáticas forem tomadas para localizá-las, não apenas muito tempo e energia poderão ser poupados, como também poderão ser evitados danos aos dispendiosos equipamentos de teste.

O equipamento geralmente usado nos testes dos circuitos de iluminação do avião consiste de um voltímetro, uma lâmpada de teste, um medidor de continuidade e um ohmímetro.

Embora qualquer modelo de voltímetro CC, com fios flexíveis e pontas de teste, seja satisfatório para testar os circuitos; geralmente são usados os voltímetros portáteis especialmente projetados para teste.

A lâmpada de teste consiste de uma luz de avião de baixa voltagem. Dois fios são usados com essa luz. Os medidores de continuidade variam entre si. Um tipo consiste de uma pequena lâmpada conectada em série com duas pilhas pequenas (as pilhas de lanterna são bem adequadas) e duas pontas (ver A da figura 11-57). Um outro tipo de medidor de continuidade contém duas baterias conectadas em série com um voltímetro CC e duas pontas de teste. Um circuito completo será registrado pelo voltímetro.

Sempre que o gerador ou a bateria estiver disponível, o voltímetro e a lâmpada de teste poderão ser usados no teste do circuito, visto que estas fontes de energia ativarão a lâmpada de teste e o voltímetro.

Se nenhuma força elétrica estiver disponível (o circuito está morto), então o medidor de continuidade será usado.

As pilhas contidas no medidor provocam o fluxo de corrente através do circuito, fazendo com que o medidor de continuidade indique quando o circuito em teste está perfeito.

Ao se usar o medidor de continuidade, o circuito em teste deve sempre ser isolado dos outros circuitos, retirando-se o fusível, abrindo-se o interruptor ou desligando-se os fios.

A figura 11-57 ilustra técnicas que podem ser usadas na verificação dos circuitos. O medidor de continuidade contém uma lâmpada que serve como indicador. Quando as pontas de teste entram em contato, um circuito completo é criado e a luz indicadora acende. Quando as pontas entram em contato com o resistor, ou outro elemento do circuito, como mostrado na figura 11-57B, a luz não acenderá, indicando que o circuito em teste está aberto. Para que o teste de circuito aberto seja conclusivo, têm-se a certeza de que a resistência da unidade testada é suficientemente baixa para permitir que a lâmpada acenda.

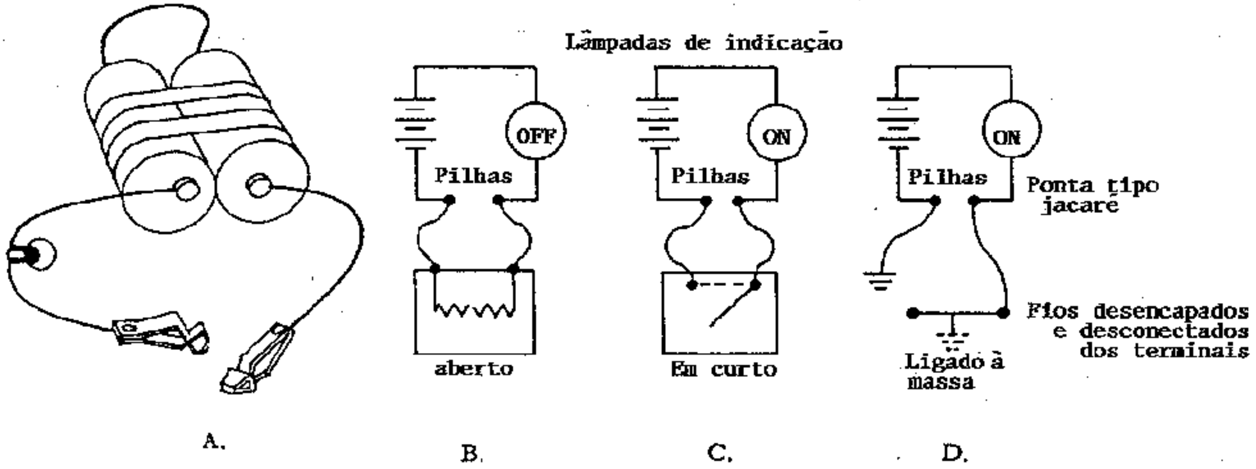


Figura 11-57 Testando continuidade com um medidor de continuidade.

Num teste onde a resistência é muito alta, geralmente maior do que 10 ohms, liga-se um voltímetro no circuito em substituição a lâmpada. Se o ponteiro do voltímetro não deflexionar, o circuito aberto está confirmado.

O teste para curtos-circuitos (da figura 11-57) mostra o medidor de continuidade ligado nos terminais de um interruptor na posição desligado. Se a lâmpada do medidor acender, haverá um curto-circuito no interruptor.

Para verificar se um fio está em curto para a massa, em algum ponto entre seus terminais, desconecta-se o fio em cada extremidade, e liga-se um CLIP jacaré no fio em uma extremidade, e o outro CLIP do medidor à massa (D da figura 11-57).

Se o fio estiver em curto, a lâmpada acenderá. Para localizar a ligação à massa, são feitos testes por seções em direção a outra extremidade. A iluminação da lâmpada indicará a seção do fio que está ligada à massa.

O ohmímetro, embora construído basicamente para medir resistência, é útil para testar continuidade.

Com um ohmímetro, a resistência de um circuito de iluminação pode ser determinada diretamente pela escala. Visto que um circuito aberto possui resistência infinita, uma leitura zero no ohmímetro indica continuidade do circuito.

Como ilustrado na figura 11-58, o ohmímetro usa uma pilha como fonte de voltagem. Há resistores fixos, com valores tais que, quando as pontas de testes são curto-circuitadas, o medidor registrará a escala completa.

O resistor variável, em paralelo com o medidor, e os resistores fixos compensam as variações de voltagem na pilha. O resistor variável fornece um ajuste zero no medidor do painel de controle.

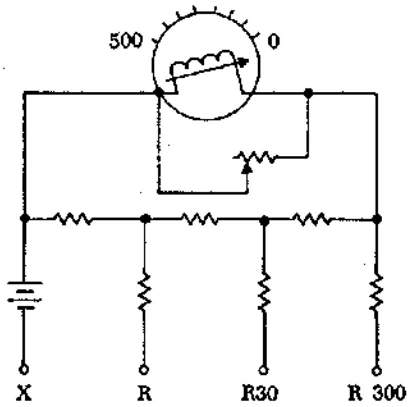


Figura 11-58 Circuito interno típico do ohmímetro.

No medidor pode haver diversas escalas, tornadas possíveis por diversos valores de resistência e voltagem da bateria. A escala desejada é selecionada por um seletor no mostrador do ohmímetro.

Cada escala registra resistências baixas na extremidade superior. Quanto maior for a resistência indicada num circuito, menor será a deflexão do indicador na escala. Quando se utiliza um ohmímetro para verificar a continuidade, liga-se as pontas em série com o circuito. Uma leitura de zero ohm indica continuidade do circuito. Para se checar a resistência, deve ser escolhida uma escala que incorpore a resistência do elemento a ser medido. Em geral, deve ser selecionada uma escala na qual a leitura caia na metade superior da mesma. Curto-circuite as pontas e ajuste o medidor para registrar zero ohm pelo ajuste zero. . Se for feita uma mudança de escala a qualquer momento, devemos lembrar de reajustar o medidor para zero ohm.

Quando os testes do circuito com o ohmímetro são feitos, não devemos tentar checar a continuidade ou medir a resistência de um circuito, enquanto ele estiver ligado a uma fonte de voltagem. Desconectamos uma das extremidades de um elemento quando medirmos a resistência, de modo que o ohmímetro não registrará a resistência de circuitos paralelos.

O resumo, que se segue, de teste de continuidade dos circuitos de iluminação é recomendado, usando-se tanto um ohmímetro como qualquer tipo de medidor de continuidade:

1) Inspecionar o fusível ou o disjuntor. Verificar se ele é o correto para o circuito a ser testado.

2) Inspecionar a unidade elétrica (lâmpada).

3) Se o fusível, o disjuntor e a lâmpada estiverem em boas condições, verificar o ponto mais acessível quanto à abertura ou curto no circuito.

4) Nunca tentar adivinhar. Sempre localizar a pane no fio positivo de um circuito, na unidade operacional ou no fio negativo, antes de retirar qualquer equipamento ou fios.

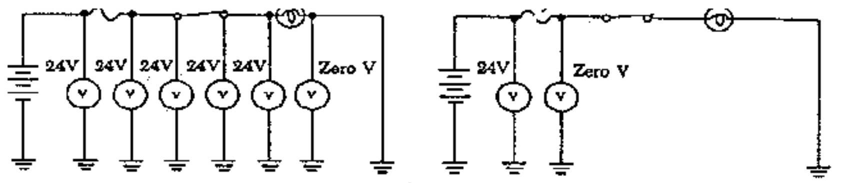
Um voltímetro, com cabos flexíveis longos, fornece um método satisfatório e diferente de inspecionar a continuidade da fiação do sistema de iluminação num avião. A voltagem a ser testada pelo voltímetro é fornecida pela bateria do avião.

Os procedimentos seguintes indicam as etapas para inspeção da continuidade por um voltímetro, num circuito que consiste de uma bateria de 24 volts, um fusível, um interruptor e uma luz de pouso:

1) Desenhar um diagrama simples da fiação do circuito a ser testado, como mostra a figura 11-59.

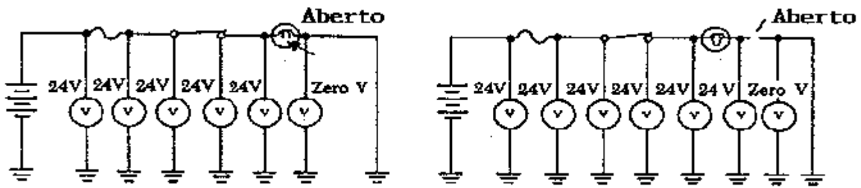
2) Testar o fusível, pondo em contato a ponta positiva do voltímetro com a extremidade da carga do fusível, e a ponta negativa com a massa. Se o fusível estiver bom, haverá uma indicação no voltímetro. Se ele estiver queimado, deverá ser substituído. Se ele queimar novamente, o circuito está em curto com a massa. Verificar se o curto está na lâmpada, retirando o conector e substituindo o fusível; se ele queimar, o curto estará na linha. Entretanto, se desta vez, o fusível não queimar, o curto estará na lâmpada.

3) Se o fusível estiver bom, o circuito estará aberto. Então, com a ponta negativa do voltímetro ligado à massa, tocar a ponta positiva de ponto a ponto do circuito, seguindo o diagrama como guia. Testar cada junção do fio. A primeira leitura zero no voltímetro indica que há um circuito aberto entre o último ponto, na qual a voltagem era normal e o ponto da primeira leitura zero. Na ilustração da figura 11-59, os circuitos abertos são causados por fusível aberto, filamento de lâmpada aberto e uma ligação de lâmpada para massa interrompida.


24V
24V
24V
24V
24V
Zero V
24V
Zero V

Luz acesa - leitura normal

Luz apagada - fusível aberto


Aberto
24V
24V
24V
24V
24V
Zero V
Aberto
24V
24V
24V
24V
24V
24 V
Zero V

Luz apagada - lâmpada queimada

Luz apagada - ligação à massa interrompida

Figura 11-59 Teste de continuidade com um voltímetro.

CAPÍTULO 12

INSTRUMENTOS

INTRODUÇÃO

A operação segura, econômica e digna de confiança das modernas aeronaves depende, principalmente, do uso dos instrumentos.

Os primeiros instrumentos de aeronaves foram os indicadores de pressão de combustível e de óleo, para informar sobre problemas do motor, de modo que a aeronave pudesse pousar antes que o motor falhasse.

Quando foram desenvolvidas as aeronaves que voam sobre grandes distâncias, as condições do tempo tornaram-se um problema. Instrumentos foram desenvolvidos para auxiliar o vôo através das péssimas condições de tempo.

A instrumentação é basicamente a ciência da medição. Velocidade, distância, altitude, atitude, direção, temperatura, pressão e rotações por minuto (R.P.M) são medidas, e essa medição é apresentada em instrumentos na cabine.

Existem dois tipos de grupos de instrumentos de aeronaves. Um está de acordo com o trabalho que ele executa, estando dentro desse grupo a classe dos instrumentos de vôo, instrumentos do motor e os de navegação; o outro tipo é baseado no princípio do seu funcionamento. Alguns operam com relação às mudanças de temperatura ou pressão de ar e outros pela pressão de fluidos. Outros são ativados por magnetismo e eletricidade, e ainda existem os que dependem da ação giroscópica.

Os instrumentos que auxiliam no controle da atitude da aeronave em vôo são conhecidos como instrumentos de vôo.

Como esses instrumentos devem fornecer informações instantaneamente, eles estão localizados no painel principal de instrumentos, ao alcance de uma rápida referência visual para o piloto.

Os instrumentos básicos de vôo em uma aeronave são o velocímetro, o altímetro e a bússola magnética. Além desses, algumas aeronaves podem ter indicadores de curvas, de subida e descida e horizonte artificial.

Os instrumentos de vôo são operados pelas pressões atmosféricas, de impacto, diferencial e estática, ou por um giroscópio.

Os instrumentos dos motores têm por finalidade medir a quantidade e pressão dos líquidos (óleo e combustível) e dos gases (pressão de admissão), rotação do motor (R.P.M.) e temperatura.

Os instrumentos do motor normalmente incluem um tacômetro, medidores das pressões do óleo e do combustível, medidor da temperatura do óleo, e indicador da quantidade de combustível. Além desses, algumas aeronaves que são equipadas com motores convencionais, possuem ainda indicadores de: pressão de admissão, temperatura da cabeça do cilindro e temperatura do ar do carburador.

As aeronaves equipadas com motores a turbina terão indicadores da temperatura da turbina, ou do tubo de escapamento, e poderão ter também indicadores da razão de pressão dos gases do escapamento.

Os instrumentos de navegação fornecem informações que possibilitam ao piloto comandar a aeronave em cursos acuradamente definidos. Esse grupo de instrumentos inclui um relógio, bússolas (bússola magnética e indicador giroscópico de direção), rádios e outros instrumentos para apresentar informações de navegação ao piloto.

CAIXAS DE INSTRUMENTO

Um instrumento típico pode ser comparado a um relógio, que possui um mecanismo, um mostrador ou face, ponteiros ou mãos, e uma cobertura de vidro.

O mecanismo do instrumento está protegido por uma caixa formada por uma ou duas peças. Vários materiais, tais como liga de alumínio, liga de magnésio, ferro, aço, ou plástico, são usados na fabricação das caixas de instrumentos.

Baquelite é o plástico mais utilizado. As caixas, para os instrumentos operados eletricamente, são feitas de ferro ou aço; esses materiais permitem um caminho para o campo de força magnético perdido, que, de outra maneira, iria interferir com os equipamentos de rádio e eletrônicos.

Alguns mecanismos de instrumentos estão embalados em caixas vedadas ao ar, enquanto outras caixas possuem um orifício de ventilação. Esse orifício permite que a pressão de ar interna sofra as variações causadas com a mudança de altitude da aeronave.

MOSTRADORES

A numeração, as marcações do mostrador e os ponteiros dos instrumentos são freqüentemente cobertos com uma pintura brilhante.

Alguns instrumentos utilizam nessa pintura, o "*sulphide calcium*", que é uma substância que brilha horas após a exposição na luz. Outros instrumentos têm uma camada fosforescente, que brilha somente quando estimulada por uma pequena lâmpada ultravioleta instalada na cabine. Alguns instrumentos são marcados com uma combinação de sais, óxido de zinco e "*shellac*" radioativo.

No manuseio desses instrumentos, cuidados devem ser tomados para evitar o envenenamento com o "radium". Os efeitos do "radium" são cumulativos e podem aparecer após uma exposição por longo período, e contínua quantidades de radiação.

O envenenamento normalmente resulta do toque na boca ou no nariz, após o manuseio com os mostradores dos instrumentos ou com a tinta radioativa.

Após esse manuseio, as mãos deverão ser mantidas afastadas da boca e do nariz, e lavadas, com água quente e sabão, tão cedo quanto possível.

MARCAÇÕES DE LIMITES

As marcações de limites dos instrumentos indicam quando um sistema em particular, ou componente, está operando em uma desejada e segura gama de operação, ou em condições inseguras.

Os instrumentos devem ser marcados e graduados, de acordo com as especificações adequadas ao tipo de aeronave, contidas no Manual de vôo ou no Manual de manutenção.

A marcação dos instrumentos normalmente consiste de decalques coloridos ou pinturas aplicadas na borda externa do vidro do instrumento, ou sobre a graduação na face do mostrador.

As cores geralmente usadas como marcação de limites são o vermelho, o amarelo, o verde, o azul ou o branco. As marcações são usualmente na forma de um arco ou de uma linha radial.

Uma linha vermelha radial pode ser usada para indicar alcances máximos e mínimos.

Operações além dessas marcas limites são perigosas e devem ser evitadas. O arco azul indica limites onde a operação é permitida sob certas condições, o arco verde indica alcance normal de operação durante operações contínuas, a cor amarela é usada para indicar cautela.

Uma marca de referência branca é pintada entre o vidro do mostrador e a caixa do instrumento, em todos os instrumentos onde os limites de operação são pintados no vidro do mostrador.

Esta marca indicará se houve algum movimento do vidro em relação ao instrumento, permitindo, desta forma, que qualquer indicação errônea seja prontamente descoberta. O movimento do vidro que contém as indicações causará erro de leitura em relação ao mostrador do instrumento.

PAINÉIS DOS INSTRUMENTOS

Com algumas exceções, os instrumentos são montados no painel na cabine de pilotagem, de forma que os mostradores são totalmente visíveis ao piloto ou co-piloto.

Os painéis de instrumentos são comumente construídos com uma chapa de alumínio resistente o suficiente para evitar flexão. Os painéis são não-magnéticos, e pintados com uma tinta fosca para evitar brilho ou reflexos. Em aviões equipados com poucos instrumentos somente um painel será necessário.

Em alguns aviões painéis adicionais são requeridos. Em tais casos, o painel de instrumento frontal é usualmente conhecido como o painel "Principal" de instrumentos, para diferenciá-lo dos painéis adicionais construídos na parte superior ou de lado no compartimento de vôo.

Em alguns aviões o painel de instrumentos é também conhecido como o "painel do piloto ou co-piloto", porque muitos dos instrumentos dos pilotos do lado esquerdo do painel são duplicados do lado direito.

O método de montar instrumentos no seu painel respectivo depende do desenho do estojo do instrumento.

Alguns instrumentos têm um formato que permite sua montagem por trás do painel.

Porcas colocadas nos cantos dos instrumentos permitem a sua fixação com parafusos;

geralmente a parte frontal desses instrumentos não tem bordas, esses instrumentos podem, também, ser montados pela parte frontal do painel e afixados com parafusos e porcas.

A montagem de instrumentos que não têm bordas na parte frontal é um processo mais simples. O estojo sem borda é montado pela frente do painel. Uma braçadeira de tipo especial, no formato e no tamanho do estojo do instrumento, é atada na face traseira do painel. Parafusos atuadores são conectados à braçadeira e são acessíveis através do painel. O parafuso pode ser movido para afrouxar a braçadeira, permitindo que o instrumento deslize livremente através dela. Após o instrumento ter sido posicionado, o parafuso é apertado para que a braçadeira aperte o estojo do instrumento.

Os painéis de instrumentos geralmente são montados em coxins para absorver impactos de baixa freqüência e alta amplitude. Esses amortecedores geralmente são usados em jogos de dois, cada um em apoios separados. Os dois amortecedores absorvem a maioria da vibração vertical e horizontal, mas permitem que os instrumentos operem em condição de vibração menor. Uma vista seccionada de um típico amortecedor de vibração é mostrado na figura 12-1.

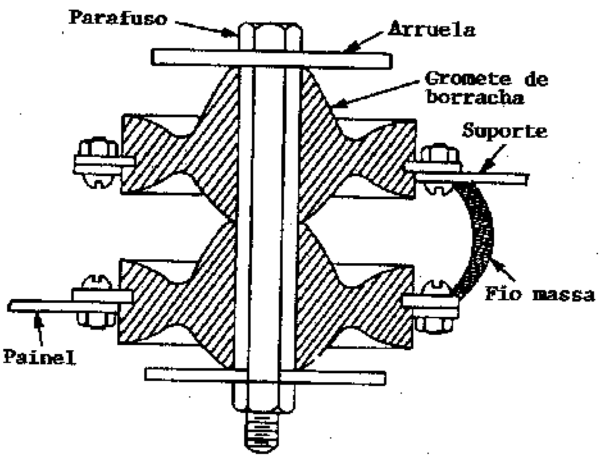


Figura 12-1 Secção de um amortecedor de painel de instrumento.

O tipo e o número de coxins usados nos painéis de instrumentos são determinados pelo peso da unidade.

O peso da unidade completa é dividido pelo número de pontos de fixação. Por exemplo, um painel de instrumento pesando 16 libras que é afixado em 4 pontos vai exigir 08 coxins amortecedores, cada um capaz de suportar 4 libras. Quando o painel for montado, o peso deverá flexionar os amortecedores aproximadamente 1/8". Os amortecedores dos painéis de instrumentos deverão estar livres para mover-se em todas as direções e ter espaço suficiente para evitar contato com a estrutura que suporta o painel. Quando um painel não tem espaço suficiente, os amortecedores devem ser inspecionados quanto a rachaduras ou deterioração.

REPARO DOS INSTRUMENTOS DAS AERONAVES

O reparo de instrumentos de aeronaves é altamente especializado, requerendo ferramentas e equipamentos especiais.

Os técnicos de instrumento devem ter treinamento especializado ou, ainda, extensiva prática numa oficina de reparos.

Por esses motivos, o reparo dos instrumentos deve ser executado por uma oficina devidamente certificada para reparo de instrumento. Entretanto, os mecânicos são responsáveis pela instalação, conexão, remoção , prestação de serviços e checagem funcional dos instrumentos.

INDICADORES DE PRESSÃO (MANÔMETROS)

Indicadores de pressão ou Manômetros são usados para indicar a pressão na qual o óleo do motor está sendo forçado através dos rolamentos, nas passagens de óleo e nas partes móveis do motor, e a pressão na qual o combustível é entregue ao carburador ou controle de combustível.

Esses instrumentos são usados também para medir a pressão no ar dos sistemas de degelo e giroscópicos, medem também as misturas ar/combustível na linha de admissão, e a pressão de líquidos e de gases em diversos outros sistemas.

Instrumentos dos motores

Os instrumentos dos motores são geralmente três instrumentos agrupados numa peça única.

Um instrumento típico de motor contém indicações de pressão de óleo, indicações de pressão de gasolina e temperatura do óleo, conforme mostra a figura 12-2.

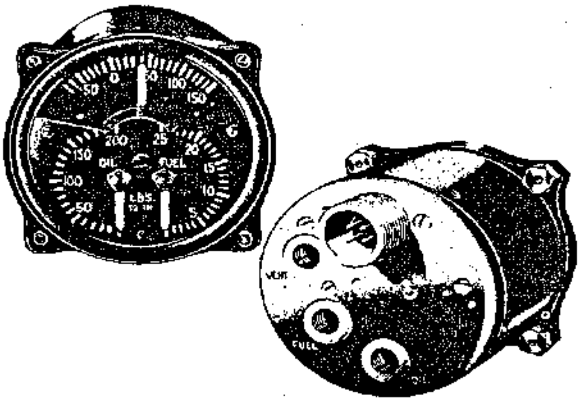


Figura 12-2 Unidade de indicação dos motores.

Dois tipos de instrumentos de indicar temperatura do óleo são disponíveis para uso no painel de instrumentos do motor. Um tipo consiste de uma resistência elétrica.

A indicação de temperatura de óleo trabalha com uma corrente elétrica fornecida pelo sistema C.C. da aeronave.

O outro tipo, um termômetro capilar de óleo, é um termômetro do tipo a vapor consistindo de um bulbo conectado por um tubo capilar a um tubo "Bourdon". Um ponteiro conectado ao tubo Bourdon, através de um mecanismo multiplicador, indica no mostrador a temperatura do óleo.

O tubo Bourdon num instrumento de aeronave é uma peça feita de um tubo de metal oval ou achatado, como vemos no corte transversal da figura 12-3.

Essa peça é oca, presa firmemente no estojo do instrumento de um lado, e do outro lado é livre de movimentos; e seus movimentos são transmitidos para um mostrador através de conexões móveis.

O sistema de óleo do motor está ligado ao interior do tubo Bourdon. A pressão do óleo existente no sistema, atuando no interior do tubo causa uma deformação pela expansão da peça, devido a força da pressão.

Quando não há pressão, a peça por ser flexível, retorna a sua posição original.

Esse movimento de expansão ou retração é transmitido para o mostrador na parte da frente do instrumento, medindo a pressão do fluido.

Indicadores de pressão hidráulica

Os mecanismos usados no recolhimento ou abaixamento do trem de pouso, ou os flapes, na maioria do aviões são operados por um sistema hidráulico.

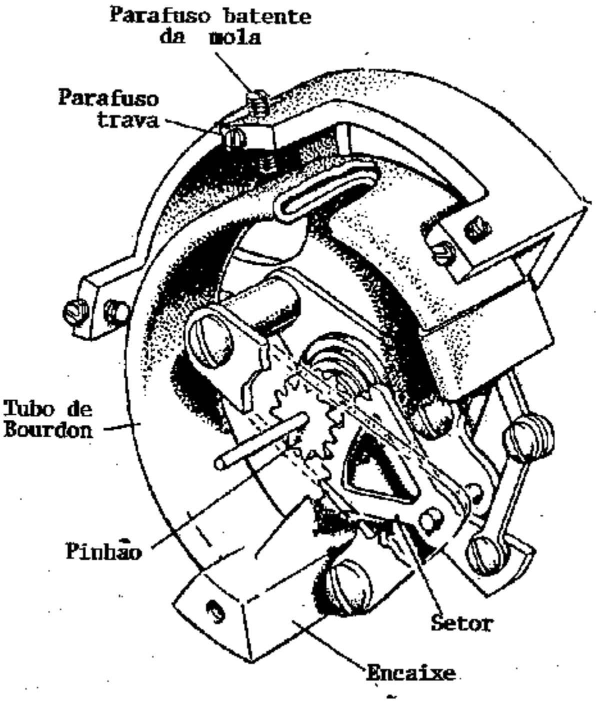


Figura 12-3 Indicador de pressão tipo tubo de Bourdon.

Um indicador para medir a pressão diferencial no sistema hidráulico indica como este sistema está funcionando. Os indicadores de pressão hidráulica são projetados para indicar, ou a pressão do sistema completo, ou a pressão de uma unidade em particular no sistema.

Um mostrador típico de pressão hidráulica é mostrado na figura 12-4.

O estojo desse instrumento contém um tubo Bourdon e um mecanismo de coroa e pinhão, através do qual os movimentos de deformação do turbo Bourdon são amplificados e transferidos para o ponteiro.

A posição do ponteiro no mostrador calibrado indica a pressão hidráulica em libras por polegada ao quadrado.

As bombas que geram pressão para as unidades hidráulicas dos aviões são movidas, ou pelo próprio motor do avião, ou por motor elétrico, ou por ambos.

Alguns sistemas usam um acumulador de pressão para manter uma reserva de fluido hidráulico sob pressão em qualquer tempo. Em tais casos, o indicador de pressão registra permanentemente a pressão no acumulador.

Em outros sistemas hidráulicos a pressão de operação é gerada somente quando necessária, e o registro de pressão no instrumento somente aparecerá durante essas condições.

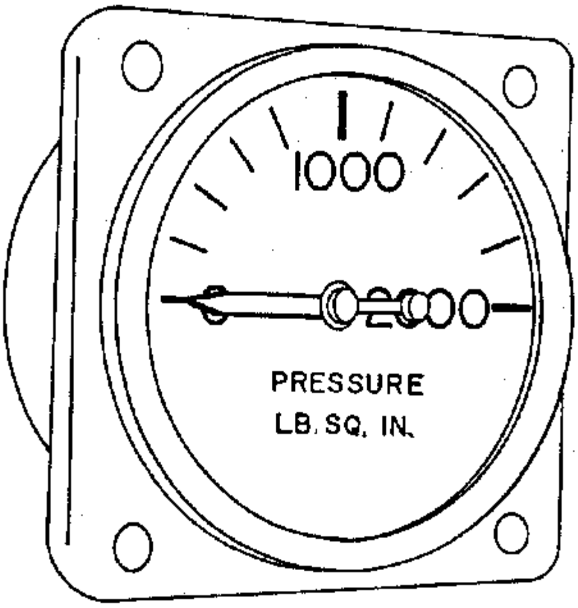


Figura 12-4 Indicador de pressão hidráulica.

Indicadores de pressão do sistema de degelo

Alguns aviões são equipados com câmaras de borracha nas superfícies frontais das asas e estabilizadores. Essas câmaras inflam e esvaziam com ar fornecido por um sistema de pressão próprio. A finalidade é provocar a quebra de gelo acumulado nessas superfícies.

Essas câmaras de ar serão chamadas, daqui para frente de "*BOOTS*".

Os *Boots* de expansão de borracha, que degelam os bordos de ataque das asas e estabilizadores em alguns aviões, são operados por um sistema de ar comprimido.

Há um instrumento que mede a pressão do sistema, medindo a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão no interior do sistema de degelo, indicando se há suficiente pressão para operar os *boots* degeladores. O instrumento também fornece ao sistema um método de medida ao se ajustar a válvula de alívio e o regulador do sistema degelo.

Um indicador típico de pressão é mostrado na figura 12-5.

O estojo tem um respiro na parte inferior para manter pressão atmosférica no interior do instrumento, bem como prover um dreno para qualquer umidade que possa acumular-se no interior do instrumento.

O mecanismo do instrumento de medir a pressão de degelo consiste de um tubo Bourdon, e uma engrenagem com um pinhão, para amplificar o movimento do tubo e transferi-lo para o ponteiro.

A pressão do sistema de degelo entra no tubo Bourdon através de uma conexão na parte posterior do instrumento.

Um instrumento de pressão é tipicamente calibrado de 0 PSI até o máximo de 20 PSI, com a escala marcada em graduações de 2 PSI, conforme indica a figura 12-5.

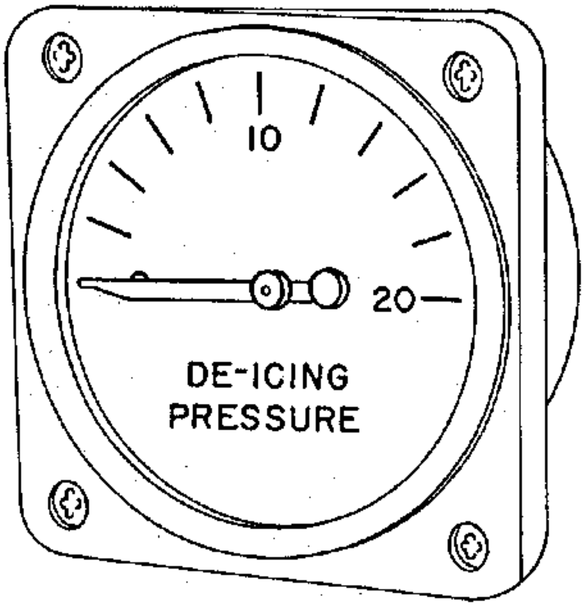


Figura 12-5 Indicação da pressão do degelador.

Quando instalado e conectado num sistema de pressão de degelo do avião o indicador do instrumento permanece em 0, a não ser que o sistema degelo esteja operando.

O ponteiro do instrumento flutuará de 0 PSI até, aproximadamente, 08 PSI sob condições normais, porque os *boots* degeladores são intermitentemente inflados e esvaziados. Esta flutuação é normal e não deverá ser confundida com oscilação.

Indicadores de medir pressão tipo diafragma

Este tipo de instrumento usa um diafragma para medir pressão. A pressão ou sucção a ser medida é admitida ao interior do diafragma sensível a pressão, através de um furo na parte traseira do estojo do instrumento.

Uma pressão oposta, geralmente a pressão atmosférica, é aditivada através de um respiro na caixa do instrumento (figura 12-6). Como as paredes do diafragma são muito finas, o aumento de pressão causará uma expansão no diafragma; e uma diminuição de pressão causará uma contração no diafragma.

Qualquer movimento do diafragma é transmitido ao ponteiro por meio de um eixo, engrenagem e pinhão que são conectadas à parte da frente.

Esse instrumento mede também a pressão diferencial, porque indica a diferença entre a pressão estática admitida pelo respiro do instrumento, e a pressão dinâmica ou fluxo dentro do diafragma.

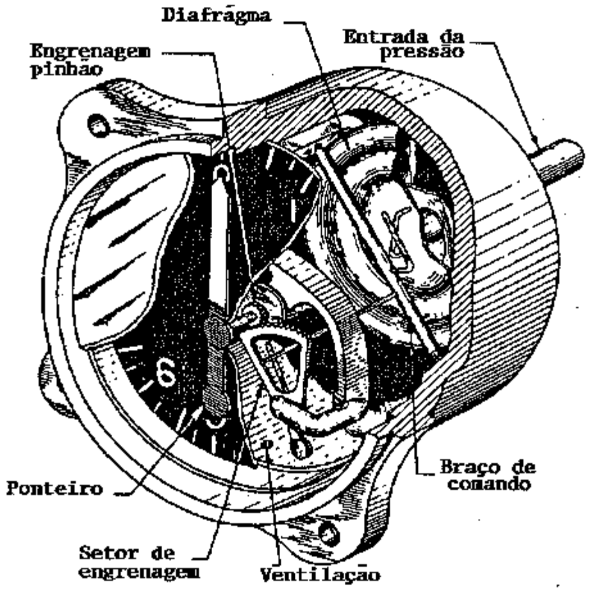


Figura 12-6 Indicador de pressão tipo diafragma.

Indicadores de sucção

Indicadores de sucção são usados nos aviões para indicar a quantidade de sucção que aciona os instrumentos giroscópicos movidos por ar.

Os rotores dos instrumentos giroscópicos são mantidos em movimento por correntes de ar dirigidas contra a palhetas do rotor. Essas correntes de ar são produzidas pelo bombeamento de ar para fora das caixas do instrumento por uma bomba de vácuo. A pressão atmosférica, então, força o ar para o interior dos estojos dos instrumentos através de filtros, e é este ar que é dirigido contra as palhetas do rotor para movêlos e girá-los.

O indicador de sucção indica se o sistema de vácuo está trabalhando adequadamente. O indicador de sucção tem um respiro para a atmosfera ou para a linha do filtro de ar, e contém um diafragma sensível à pressão e mais o mecanismo usual multiplicador que amplifica o movimento do diafragma e transfere esse movimento ao ponteiro.

A leitura do instrumento de sucção indica a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão negativa no sistema de vácuo.

Indicadores da pressão de admissão

O instrumento de medir a pressão de admissão é muito importante numa aeronave equipada com motor a pistão. O instrumento é projetado para pressão absoluta. Esta pressão é a soma da pressão do ar e a pressão adicional criada por um compressor.

O mostrador do instrumento é calibrado em polegadas de mercúrio (HG).

Quando o motor não está funcionando, o indicador de pressão de admissão registra a pressão atmosférica estática.

Quando o motor está funcionando, a leitura obtida no indicador de pressão de admissão depende da rotação do motor.

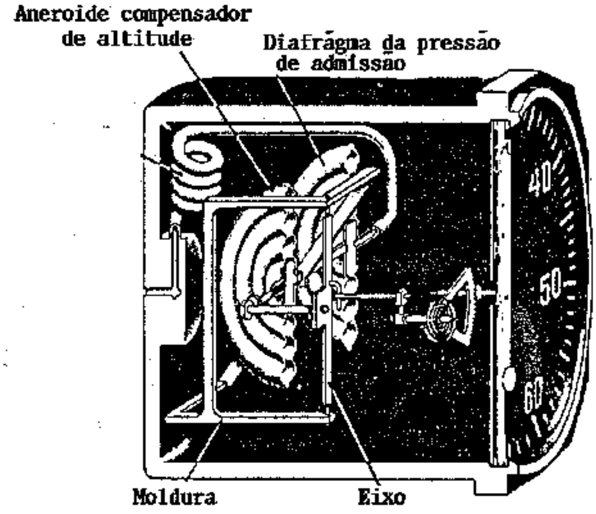

Aneroide compensador de altitude
Diafrágma da pressão de admissão
40
50
60
Moldura
Eixo

Figura 12-7 Indicação da pressão de admissão.

A pressão indicada é a pressão imediatamente antes da entrada nos cilindros do motor.

O esquema de um tipo de instrumento de medir pressão de admissão é mostrado na figura 12-7.

O invólucro externo do instrumento protege e contém o mecanismo. Uma abertura atrás do estojo conecta-o com o coletor de admissão no motor.

O instrumento contém um diafragma aneróide, e uma conexão que transmite o movimento do diafragma ao ponteiro. Esse sistema de conexão está completamente isolado da câmara de pressão e, portanto, não está exposto aos vapores corrosivos dos gases da linha de admissão.

A pressão existente no coletor de admissão ingressa na câmara selada através de uma conexão, que é um tubo capilar de extensão curta, na traseira do instrumento.

Esse tubo capilar age como uma válvula de segurança para prevenir danos ao instrumento por possível retrocesso do motor. O aumento repentino de pressão causado por um retrocesso é consideravelmente reduzido pela capilaridade do tubo que tem um diâmetro reduzido.

Quando se instala um indicador de pressão de admissão, um cuidado especial é tomado para assegurar que o ponteiro está na posição vertical quando registrar 30" de HG.

Quando o motor não está funcionando, a leitura do instrumento deverá ser a mesma que a pressão atmosférica local. Isso poderá ser verificado através de um barômetro que esteja em condições de operação normal. Na maioria dos casos, o altímetro do avião pode ser usado porque é um instrumento de medir pressão atmosférica.

Com o avião no solo, os ponteiros do altímetro devem ser posicionados em zero e o painel de instrumento deve ser vibrado algumas vezes com as mãos, para remover qualquer possibilidade de ponteiros travados.

A escala do barômetro no indicador do altímetro mostra a pressão atmosférica quando os ponteiros do altímetro estão em zero. O indicador de pressão da admissão deve ter a mesma leitura de pressão, se isto não ocorre, o instrumento deve ser substituído por outro que esteja operando adequadamente.

Se o ponteiro falha em responder inteiramente, o mecanismo está com toda probabilidade de defeito; o instrumento deve ser removido e substituído.

Se o ponteiro responde, mas indica incorretamente, pode haver umidade no sistema, obstrução nas linhas, um vazamento no sistema ou um mecanismo defeituoso.

Quando há dúvida sob qual desses itens é a causa do mau funcionamento, o motor deve ser operado em regime mínimo, e uma válvula dreno (comumente localizada perto do instrumento) aberta por poucos minutos; isto, usualmente, limpa o sistema da umidade.

Para limpar uma obstrução, as linhas podem ser desligadas e assopradas com ar comprimido. O mecanismo do instrumento pode ser verificado quanto a vazamentos, desconectando-se a linha final do motor e aplicando pressão de ar até que o instrumento indique 50" de mercúrio, então a linha deve ser rapidamente fechada.

Se o ponteiro do instrumento retorna a indicar a pressão atmosférica, é porque existe um vazamento. Se um vazamento está evidente, mas não pode ser localizado, o instrumento deve ser substituído.

SISTEMA PITOT ESTÁTICO

Três dos mais importantes instrumentos de vôo estão conectados a um sistema Pitot estático. Esses instrumentos são: o indicador de velocidade aerodinâmica, o altímetro e o indicador de razão de subida (Climb). A figura 12-8 mostra esses 3 instrumentos conectados ao tubo de pitot.

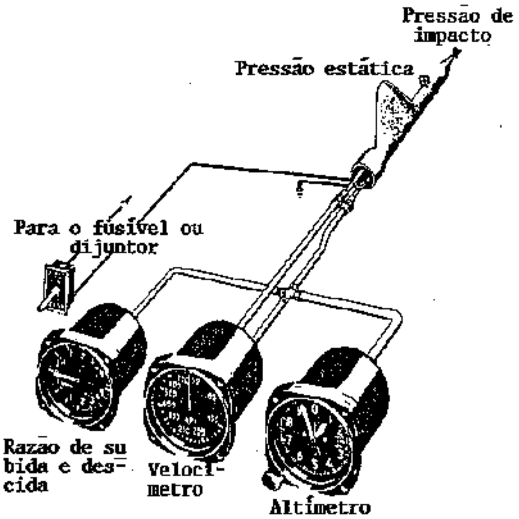


Figura 12-8 Sistema pitot-estático

O Sistema de Pitot ou Tubo de Pitot, como é chamado, consiste de 2 seções como mostrado na figura 12-9.

A seção da frente do tubo de Pitot está aberta por um furo que recebe a força total de pressão de ar de impacto, no final desta seção existe uma peça que protege o Tubo de Pitot da umidade e da sujeira, que poderá ser soprada para dentro do tubo. A umidade pode ser drenada através de um pequeno furo na base da seção frontal.

A pressão produzida pelo ar de impacto, dentro do Tubo de Pitot, é conduzida através de um tubo para uma câmara dentro do instrumento indicador de velocidade aerodinâmica.

O Tubo de Pitot tem o formato de uma barbatana de tubarão.

A seção traseira do Tubo de Pitot está equipada por pequenos orifícios nas superfícies superiores e inferiores.

Esses orifícios são projetados e localizados de forma que esta parte do sistema provocará medidas da pressão atmosférica numa condição estática ou estável.

A seção estática contém um tubo que é conectado ao velocímetro, ao altímetro e ao indicador de razão de subida (*Climb*).

Muitos tubos de Pitot são providos com elementos aquecedores, para prevenir a formação de gelo durante o vôo em temperaturas muito baixas (figura 12-9).

Durante condições de formação de gelo, elementos de aquecimento elétrico podem ser ligados por meio de uma chave na cabine.

Este circuito elétrico para o elemento de aquecimento poderá ser conectado através da chave de ignição do motor(no caso da chave de aquecimento do Pitot ser deixada por esquecimento na posição “ligado”, não haverá danos à bateria quando o motor não estiver operando).

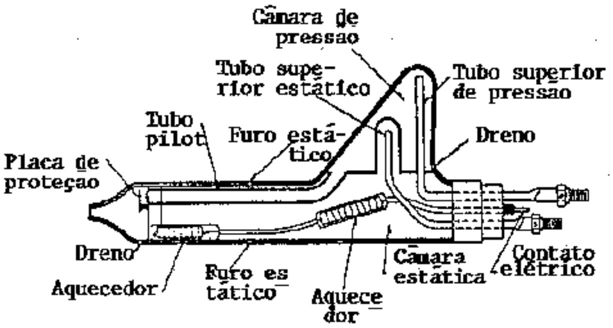

Cânara de pressao
Tubo superior estático
Tubo superior de pressão
Tubo pilot
Furo estático
Dreno
Placa de proteçao
Dreno
Aquecedor
Furo estático
Aquecedor
Câmara estática
Contato elétrico

Figura 12-9 Cabeça do tubo de pitot.

O Tubo de Pitot é montado no lado de fora do avião, em um local onde o fluxo de ar é menos sujeito a turbulência. Ele está apontando para frente, numa direção paralela à linha de vôo do avião.

O tipo geral de Tubo de Pitot é projetado para montagem, geralmente abaixo do nariz da fuselagem do avião.

Um outro tipo é projetado para instalação abaixo do bordo de ataque das asas. Ambos os tipos são mostrados na figura 12-10.

Embora haja uma pequena diferença em sua construção, eles operam de forma idêntica.

A maioria dos Tubos de Pitot são fabricados com uma conexão em ambas as linhas, desde o tubo perto do ponto em que o tubo está atado ao avião ou mastro.

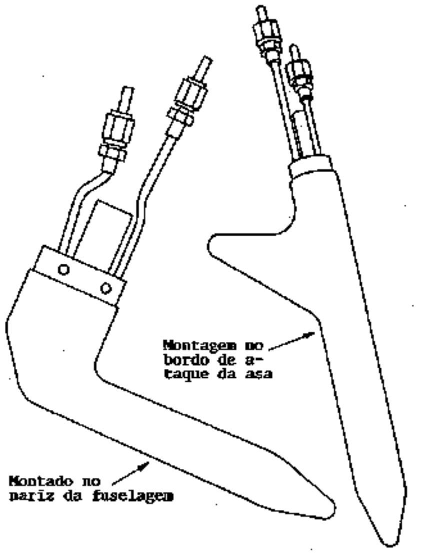

Montagem no bordo de ataque da asa
Montado no nariz da fuselagem

Figura 12-10 Cabeça do tubo pitot.

Estas conexões simplificam a remoção e substituição e são, usualmente, atingidas através de uma janela de inspeção na asa ou fuselagem.

Quando um Tubo de Pitot tiver que ser removido, estas conexões deverão ser desconectadas antes que qualquer parafuso de montagem ou porca de trava sejam removidos.

Em muitos aviões equipados com um Tubo Pitot, uma fonte alternada de pressão estática está disponível para uso em emergência. Um diagrama esquemático de um sistema típico é mostrado na figura 12-11. Conforme mostrado neste diagrama, a fonte alternada de pressão estática deve ser ventilada para o interior do avião.

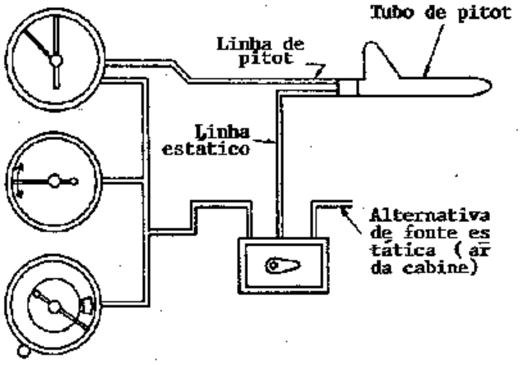

Tubo de pitot
Linha de pitot
Linha estatico
Alternativa de fonte estática (ar da cabine)

Figura 12-11 Sistema pitot-estático com fonte de pressão estática.

Outro tipo de sistema de Pitot é projetado com a localização das fontes para o Pitot e pressão estática situados em diferentes posições no avião.

Este tipo de sistema está ilustrado na figura 12-12.

A pressão de impacto é obtida no Tubo de Pitot que está montado paralelo ao eixo longitudinal do avião e, geralmente, em linha com o vento relativo. O bordo de ataque da asa ou a seção do nariz ou estabilizador vertical são as posições mais comuns de montagem dos Pitots, porque nestes pontos, usualmente ocorre uma mínima turbulência de ar provocada pelo movimento do avião.

A pressão estática neste tipo de sistema de Pitot é obtida através de uma linha de pressão estática, que está ligada a um orifício ou vários orifícios localizados na fuselagem ou seção do nariz. Em aeronaves equipadas com sistema de pressão estática poderá haver dois suspiros; um em cada lado do avião.

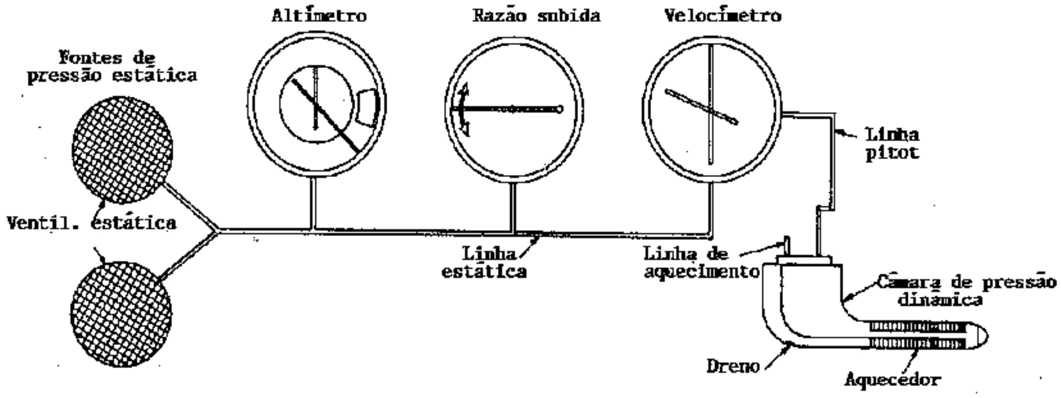

Altímetro
Razão subida
Velocímetro
Fontes de pressão estática
Linha pitot
Ventil. estática
Linha estática
Linha de aquecimento
Câmara de pressão dinâmica
Dreno
Aquecedor

Figura 12-12 Sistema pitot-estático com fontes de pressão separadas.

Este procedimento compensará alguma possível variação estática causada por mudanças erradas na atitude do avião. Os dois orifícios são comumente conectados por uma junção do tipo "Y". Neste tipo de sistema, a obstrução da abertura do Pitot por gelo ou sujeira (ou esquecimento de remover a cobertura do Tubo de Pitot) afetará somente a indicação da velocidade aerodinâmica.

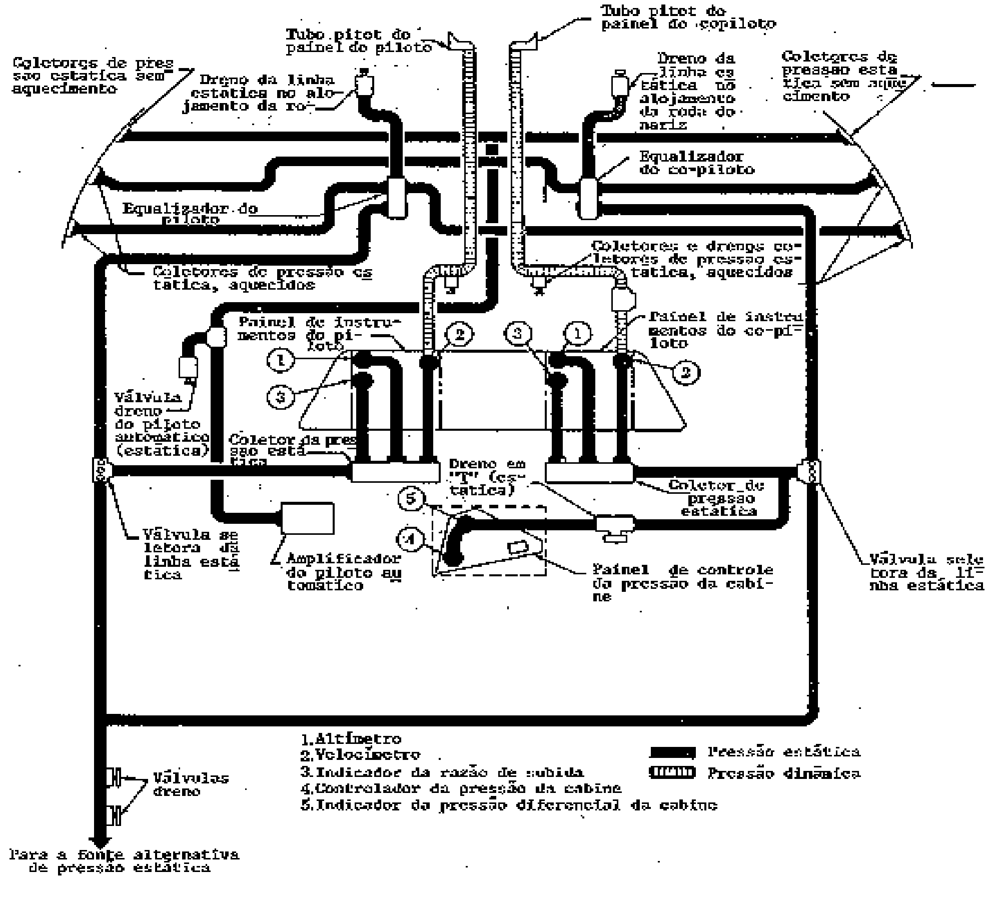

Tubo pitot do painel do piloto
Tubo pitot do painel do copiloto
Coletores de pressão estática sem aquecimento
Dreno da linha estática no alojamento da ro-
Dreno da linha estática no alojamento da roda do nariz
Coletores de pressão estática sem aquecimento
Equalizador do co-piloto
Equalizador do piloto
Coletores e drenos coletores de pressão estática, aquecidos
Coletores de pressão estática, aquecidos
Painel de instrumentos do piloto
Painel de instrumentos do co-piloto
①
②
③
①
③
②
Válvula dreno do piloto automático (estática)
Coletor da pressão estática
Dreno em "T" (estática)
Coletor de pressão estática
⑤
④
Válvula seletora da linha estática
Amplificador do piloto automático
Painel de controle da pressão da cabine
Válvula seletora da linha estática
1.Altímetro
2.Velocímetro
3.Indicador da razão de subida
4.Controlador da pressão da cabine
5.Indicador da pressão diferencial da cabine
Pressão estática
Pressão dinâmica
Válvulas dreno
Para a fonte alternativa de pressão estática

Figura 12-13 Esquema de um pitot-estático usado em avião multimotor pressurizado.

Um sistema de Pitot usado num avião pressurizado multimotor é mostrado na figura 12-13. Três unidades adicionais: controlador de pressão da cabine, instrumento de pressão diferencial da cabine e sistema de piloto automático estão integrados no sistema estático.

Ambos sistemas são usados nas saídas estáticas, aquecidas ou não-aquecidas.

Altímetros

Há muitos tipos de altímetros em uso nas aeronaves hoje, entretanto eles são construídos no mesmo princípio básico de um barômetro aneróide.

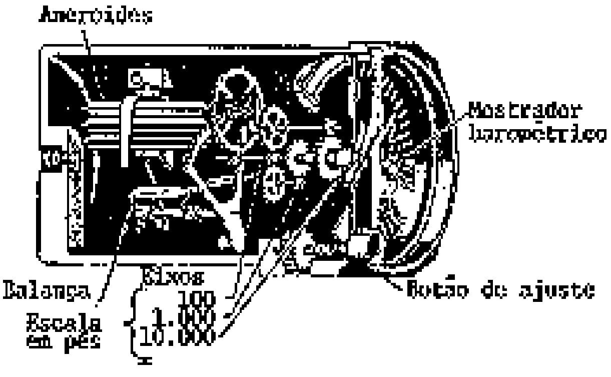


Figura 12-14 Mecanismo de um altímetro.

Eles todos dispõem de elementos sensíveis a mudanças de pressão (aneróides), que se expandem ou contraem com a mudança de pressão nos diferentes níveis de vôo.

O coração de um altímetro é um mecanismo aneróide (figura 12-14). A expansão ou contração do aneróide com as mudanças de pressão move um sistema de articulação com os ponteiros, que assim indicam a pressão em números de altitude.

Os altímetros são construídos com um material bimetálico, e como o próprio nome indica, este dispositivo é construído de 2 metais e executa a função de compensar o efeito que a temperatura tem nos metais do mecanismo do aneróide.

A indicação de altitude pelos altímetros em uso corrente varia, desde o tipo de múltiplos ponteiros ao único e simples ponteiro, de um tipo digital e tipos mais simples.

O mostrador de um altímetro típico está graduado com numerais de 0 a 09, conforme mostrado na figura 12-15.

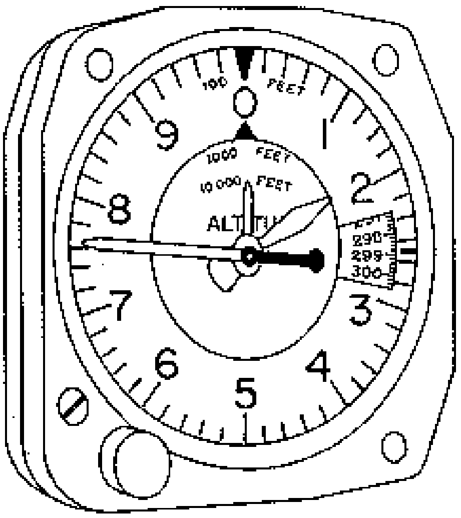


Figura 12-15 Altímetro.

O movimento do elemento aneróide é transmitido através de engrenagens aos 3 ponteiros na face dos instrumentos. Esses ponteiros fazem com que o mostrador calibrado indique a altitude do avião.

O ponteiro mais curto indica a altitude em dezenas de 1.000 pés, o ponteiro intermediário em 1.000 pés, e o ponteiro mais longo em centenas de pés em incrementos de 20 pés.

Uma escala barométrica localizada na face direita do instrumento pode ser calibrada por um botão localizado no lado inferior esquerdo do instrumento.

A escala barométrica indica a pressão barométrica em polegadas de mercúrio.

Como a pressão atmosférica muda continuamente, a escala barométrica deve ser sempre colocada de acordo com a pressão no local onde o altímetro indicará a altitude correta do avião acima do nível do mar.

Quando o botão de ajuste de pressão é girado, a escala barométrica, os ponteiros e o elemento aneróide são movidos para alinhar o mecanismo do instrumento com o novo ajuste do altímetro . Duas marcas de ajuste interior e exterior indicam a pressão barométrica em pés de altitude. Elas operam em conjunto com a escala barométrica e as indicações são lidas no mostrador do altímetro.

A marca exterior indica centenas de pés, a marca interior milhares de pés. Como há um limite para as graduações que podem ser ajustadas na escala barométrica, as marcas de ajuste são usadas quando a pressão barométrica a ser lida está fora dos limites da escala.

Erros de altímetros

Os altímetros estão sujeitos a vários erros mecânicos. Um erro muito comum é que a escala não está corretamente orientada para as condições padrão de pressão.

Os altímetros devem ser periodicamente verificados quanto a erros de escala nas câmaras de altitude, onde existem condições padrão.

Outro erro mecânico é um erro produzido por inércia.

Este erro é provocado quando a aeronave está mantendo uma determinada altitude por um período longo, e subitamente faz uma mudança muito grande de altitude.

Um erro ou desvio, provocado no altímetro, é causado pelas propriedades elásticas do material com o qual é construído o instrumento. Este erro será eliminado com pequenas subidas ou descidas, ou após manter-se uma nova altitude por um período de tempo razoável.

Em adição aos erros no mecanismo do altímetro, outro erro, chamado erro de instalação afeta a exatidão das indicações.

O erro é causado pela mudança de alinhamento do respiro de pressão estática com o vento relativo.

A mudança de alinhamento é causada pelas mudanças na velocidade da aeronave, ou seu ângulo de ataque em vôo, ou pela localização da saída estática (respiro) em um campo de distúrbio de ar (turbulência).

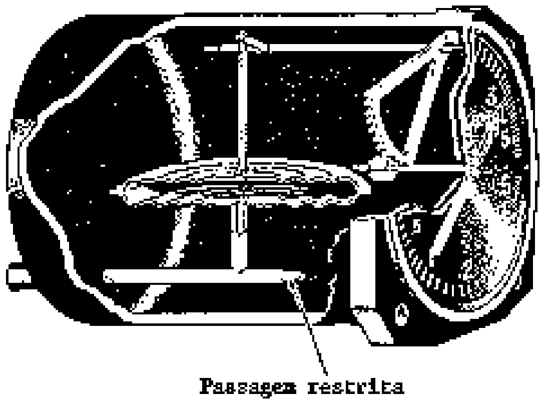
A instalação não apropriada ou danos ao Tubo de Pitot também resultarão de indicações impróprias de altitude.

Indicadores de razão de subida (Climb)

O indicador de razão de subida ou velocidade vertical é um instrumento que mede a pressão diferencial, e indica a razão na qual o avião está subindo ou descendo (figura 12-16).

O Indicador de razão de subida (Climb) está ligado ao sistema estático, e sente a razão de mudança na pressão estática. A mudança na razão de altitude, como mostrado no instrumento é positiva numa subida e negativa quando descendo em altitude.

O ponteiro indicador move-se em qualquer direção desde o ponto zero, dependendo se o avião está indo para cima ou para baixo. O ponteiro permanece em zero (posição horizontal) se o avião mantêm-se em vôo nivelado.



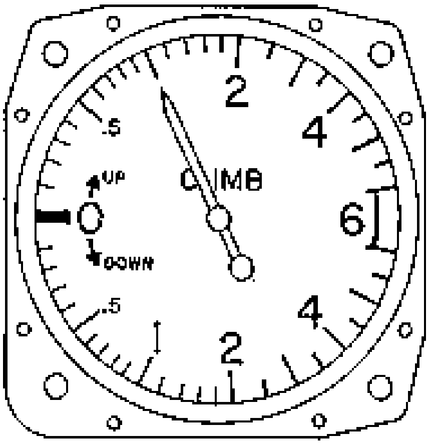


Figura 12-16 Típico indicador de razão de subida e descida.

Se o avião está ganhando altitude, o ponteiro move-se para cima de 0 até 6.000 pés por minuto, e se o avião move-se para baixo há uma indicação de 0 até 6.000 pés por minuto.

O estojo do instrumento é selado, com a excesão de um pequeno orifício de conexão à linha estática do sistema Pitot.

Dentro do estojo selado do indicador de subida há um diafragma com uma articulação, conectando a engrenagem ao ponteiro indicador.

Ambos, o diafragma e o estojo, recebem ar em pressão atmosférica da linha estática.

Quando a aeronave está no chão, ou em vôo nivelado, as pressões dentro do diafragma e do estojo do instrumento permanecem iguais, e o ponteiro indica 0. Quando a aeronave está subindo, a pressão do diafragma diminui, mas devido ao retardo de medição da passagem restrita dentro do instrumento, a pressão permanece maior e causa uma contração no diafragma. O movimento do diafragma atuará o mecanismo, levando o ponteiro a indicar uma razão de subida.

Quando a aeronave está nivelada, a pressão no estojo do instrumento é a mesma pressão dentro do diafragma. O diafragma retorna a sua posição neutra e o ponteiro retorna a zero. Numa descida as condições de pressão são reversas.

A pressão do diafragma, imediatamente torna-se maior que a pressão dentro do estojo do instrumento. O diafragma se expande e movimenta o mecanismo do ponteiro para indicar a razão de descida.

Quando a aeronave está subindo ou descendo numa razão constante, uma razão definida entre a pressão do diafragma e a pressão do instrumento é mantida através da passagem calibrada restrita, que requer aproximadamente 6 a 9 segundos para equalizar ambas as pressões causando um retardo na leitura devida. Quaisquer mudanças súbitas ou abruptas na atitude da aeronave podem causar indicações errôneas devido à mudança repentina do fluxo de ar sobre os orifícios de estática.

O Indicador Instantâneo de Razão de Subida é um desenvolvimento mais recente, que incorpora bombas de aceleração para eliminar as limitações associadas com o vazamento da calibração. Por exemplo, durante uma subida abrupta, a aceleração vertical faz com que as bombas forneçam um ar extra para o diafragma para estabilizar a pressão diferencial sem um tempo usual de retardo. Durante o nível de vôo com razão estável, e descidas estáveis, o instrumento opera da mesma maneira e princípios, como um indicador de subida convencional.

Um sistema de ajuste a zero que pode ser controlado por um parafuso ou um botão permite o ajuste do ponteiro a zero.

O ponteiro de um indicador de subida deverá indicar zero quando a aeronave estiver no solo, ou mantendo um nível de vôo de pressão constante.

Indicador de velocidade aerodinâmica

Indicadores de velocidade (velocímetro) são instrumentos de leitura sensíveis a pressão que medem a diferença entre as pressões dinâmica e estática, e apresentam tal diferença em número de velocidade indicada.

Os velocímetros são construídos por diversos fabricantes e variam de acordo com sua construção mecânica, entretanto, a construção básica e o princípio de operação é o mesmo para todos os tipos.

Os velocímetros (figura 12-17) são instrumentos sensíveis que medem a diferença de pressão e indicam imediatamente a diferença entre a pressões do ar de impacto e a pressão estática, que envolve uma aeronave em qualquer momento do vôo.

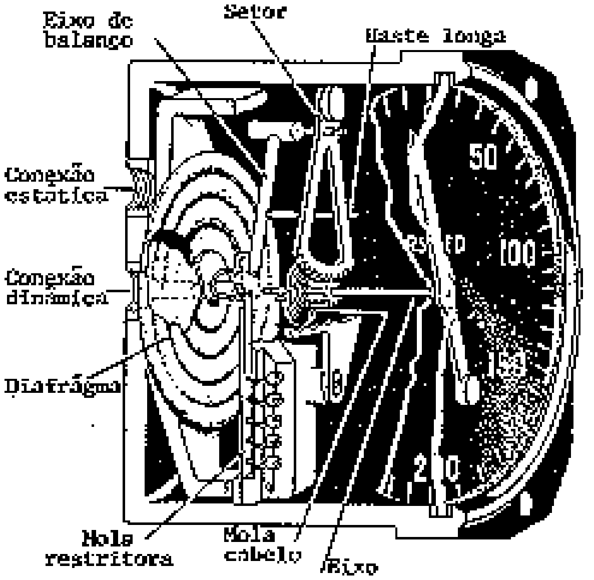


Figura 12-17 Velocímetro.

O Indicador de Velocidade Aerodinâmica (velocímetro) consiste, primariamente, de um diafragma metálico e sensível, cujos movimentos, resultando da diferença entre o ar de impacto e a pressão estática, são multiplicados por meio de engrenagens com molas, pinhões e um eixo para transformar um movimento do diafragma em movimento rotativo para o ponteiro, que indica velocidade do avião em medidas de nó ou milhas por hora.

A maioria dos velocímetros são construídos para indicar as limitações de velocidade com uma simples verificação visual.

Para que a velocidade nunca seja excedida, é indicada por uma linha radial vermelha.

O arco amarelo no instrumento indica um limite onde o vôo deverá ser conduzido com cautela, e um arco branco é usado para indicar os limites de velocidade onde a operação do flape é permitida.

Os números do mostrador usado nos diferentes tipos de velocímetro são indicativos do tipo do avião nos quais eles são usados. Por exemplo: um velocímetro com um limite de 0 até 160 nós é comumente usado em muitos aviões leves.

Outros tipos, tais como um indicador que limita a velocidade em 430 nós são usados nos aviões maiores e mais rápidos.

Outro tipo de velocímetro em uso é aquele que indica a velocidade máxima permitida. O indicador inclui uma agulha de máxima velocidade permitida, que mostra uma diminuição da velocidade máxima, quando há um aumento de altitude. Este ponteiro opera com um diafragma extra no velocímetro que sente as mudanças em altitude, e indica estas mudanças na face do instrumento.

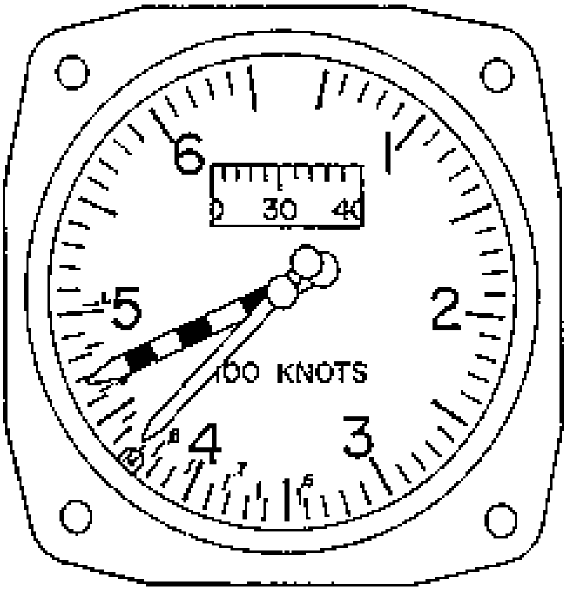


Figura 12-18 Indicador de velocidade máxima permitida.

Seu propósito é indicar a velocidade máxima permitida em qualquer altitude.

O tipo de velocímetro conhecido como indicador de velocidade verdadeira é mostrado na figura 12-19.

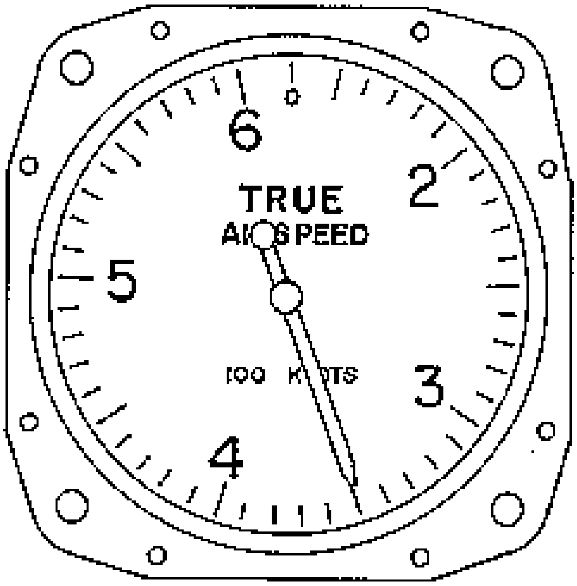


Figura 12-19 Indicador de velocidade verdadeira.

Ele utiliza um aneróide, um diafragma de pressão diferencial e um diafragma com bulbo de temperatura que responde respectivamente a mudanças na pressão barométrica, pressão de impacto e temperatura do ar exterior.

As ações do diafragma são mecanicamente interpretadas para indicar a velocidade verdadeira em nós.

Um velocímetro típico, indicador de velocidade verdadeira, é projetado para indicar a velocidade do ar desde 1.000 pés abaixo do nível do mar até 50.000 pés acima do nível do mar, e em condições de temperatura do ar desde +40 graus até -60 graus centígrados.

Indicador de número Mach

Indicadores de número Mach ou maquímetros indicam a relação da velocidade do avião com a velocidade do som a uma altitude particular, e na temperatura existente a qualquer tempo durante o vôo.

A construção de um maquímetro é muito similar àquela de um Velocímetro.

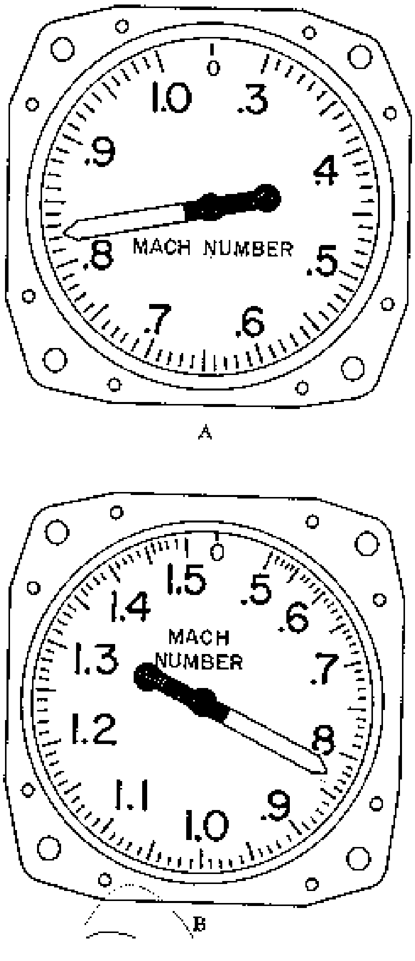


Figura 12-20 Maquímetros.

Um maquímetro comumente contém um diafragma de pressão diferencial, que sente a pressão do tubo pitot; e um diafragma aneróide que sente a pressão estática dentro do instrumento. Por meios mecânicos, as mudanças nas pressões são indicadas no mostrador do instrumento de números Mach.

O Maquímetro mostrado na figura 12-20A é projetado para operar entre os limites de 0,3 a 1,0 Mach e em altitudes desde 0 até 50.000 pés. O maquímetro mostrado na figura 12-20B é construído para operar nos limites de 0,5 a 1,5, em altitudes acima de 50.000 pés.

Indicadores combinados de velocímetro/maquímetro

Indicadores combinados de velocímetro/maquímetro são disponíveis para aviões onde o espaço para os instrumentos é limitado e é desejável que se apresente informação num indicador combinado. Estes instrumentos indicam a velocidade, o número Mach e o Mach limite através de leituras do ar de impacto (pressão dinâmica) e pressões estáticas lidos através de aneróides.

Estas unidades combinadas utilizam ponteiros duplos que mostram a velocidade aerodinâmica numa escala fixa e a indicação do número Mach numa escala rotativa. Um botão localizado na parte inferior do instrumento é disponível para mover um indicador até a referência de uma velocidade desejada.

Um Indicador combinado de velocímetro/maquímetro é mostrado na figura 12-21.

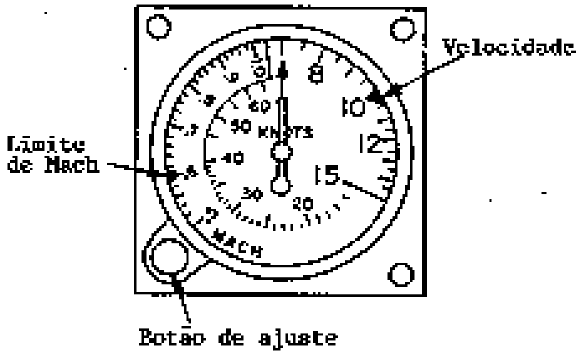


Figura 12-21 Indicador combinado de velocímetro/maquímetro.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PITOT ESTÁTICO

As instruções específicas para manutenção, de qualquer sistema pitot estático são comumente detalhadas no manual de manutenção do construtor do avião, entretanto há algumas inspeções, procedimentos e precauções que devem ser observados que se aplicam a todos os sistemas em comum.

Os tubos de pitot e suas conexões no avião devem ser inspecionados quanto a segurança de montagem e evidência de danos. Inspeções deverão ser feitas para assegurar que as conexões elétricas estão firmes.

O orifício de entrada do tubo de pitot, os orifícios drenos e os orifícios estáticos, ou de entradas e saídas de pressões estáticas, devem ser inspecionados para assegurar que não estão obstruídos.

O tamanho dos orifícios de dreno e pressão estática são aerodinamicamente críticos.

Eles nunca devem ser limpos ou desobstruídos com ferramentas que podem causar modificação ou alargamento de seus orifícios.

Os elementos de aquecimento deverão ser verificados quanto a seu funcionamento, para assegurar que o tubo de pitot começa a aquecer sempre que seu botão é ligado.

Se um medidor de ampères ou medidor de corrente está instalado no circuito, uma leitura de corrente deverá ser medida.

As inspeções a serem levadas em efeito nos instrumentos têm uma relação direta com a segurança, os defeitos visuais e o funcionamento adequado.

O ajuste a zero dos ponteiros deve também ser verificado.

Quando se proceder a inspeção do altímetro, a escala de pressão barométrica deve ser ajustada de forma que possa ser lida do campo onde se encontra a aeronave.

Quando ajustada a essa pressão, o instrumento deverá indicar zero dentro de limites de tolerância especificados para o tipo instalado. Se nenhum ajuste for possível dentro de limites pré-determinados, o instrumento deverá ser substituído.

Teste quanto a vazamentos no sistema de pitot estático

Os sistemas pitot estático das aeronaves devem ser checados quanto a vazamentos após a instalação de qualquer componente, quando o mau funcionamento do sistema está em períodos especificados pelos regulamentos das autoridades competentes.

O sistema de testar quanto a vazamento e o tipo de equipamento a ser usado, dependem do tipo do avião e seu sistema pitot estático. Em todos os casos, a pressão e a sucção devem ser aplicadas e aliviadas vagarosamente para evitar danos aos instrumentos.

O método de testar consiste basicamente de aplicar pressão e sucção às entradas de pressão e aos respiros estáticos, respectivamente, usando um testador de vazamentos e adaptadores acoplados.

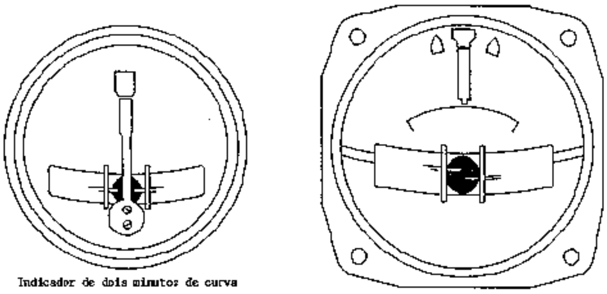
A razão de vazamento deverá estar dentro da tolerância permitida e prescrita para o sistema. Os testes de vazamento também fornecem meios de checar se os instrumentos conectados a um sistema estão funcionando adequadamente, entretanto, um teste de vazamento não é utilizado como teste de calibração.

Após executar um teste de vazamento, o sistema deve ser retornado a configuração normal de vôo.

Se for necessário desconectar várias partes de um sistema é observado se todos os conectores, adaptadores, ou pedaços de fita adesiva foram removidos do sistema.

INDICADORES DE INCLINAÇÃO E CURVA *("TURN AND BANK")*

O indicador de inclinação e curva (*Turn and Bank*) figura 12- também indicado como "pau e bola", ou curva e derrapagem, indica a execução correta de uma curva coordenada, e indica também a inclinação lateral de um avião em vôo.



Indicador de dois minutos de curva

Indicador de quatro minutos de curva

Figura 12-22 Dois tipos de indicadores de curvas e inclinação.

O ponteiro de indicação de curva é operado por um giroscópio movido por vácuo, por pressão de ar, ou por eletricidade.

O ponteiro de indicação de curva indica a razão, em números de graus por segundo, na qual o avião está fazendo a curva sobre seu eixo vertical. Ele também fornece informação da quantidade de inclinação. O eixo de inclinação do giroscópio é montado horizontalmente, enquanto o giro roda ao redor do seu eixo.

A precessão giroscópica leva o rotor a inclinar-se quando o avião também se inclina. Devido a direção da rotação, o giroscópio inclina-se sempre na direção oposta da qual o avião está girando, isto previne que o eixo de rotação esteja vertical à superfície da Terra.

A ligação entre a montagem do giroscópio e a agulha do instrumento, chamado "mecanismo reverso", faz com que a agulha indique a direção certa da curva.

A energia para o giro elétrico deve ser fornecida, ou por uma corrente C.A. ou corrente C.C., do sistema elétrico do avião. O principal valor do giroscópio elétrico dos aviões mais leves é o fator segurança.

Em aviões monomotores equipados com giros a vácuo, e indicadores de direção a vácuo, a agulha do *Turn and Bank* é comumente operada por um giroscópio elétrico.

No caso de falha no sistema de vácuo e perda dos dois instrumentos, o piloto ainda dispõe de um instrumento de reserva confiável para operação em emergência.

Operado diretamente da corrente da bateria, o *Turn and Bank* elétrico é confiável enquanto a corrente elétrica estiver disponível, não importando o mau funcionamento de geradores ou sistema de vácuo .

No instrumento elétrico, o giroscópio é um pequeno motor elétrico e pendular.

Ambos os sistemas, movidos a eletricidade e movidos a vácuo, são projetados para utilizar o mesmo princípio giroscópico, para indicar a inclinação do avião em vôo.

A energia para o sistema movido por sucção é regulada por uma válvula restritora instalada entre a linha de pressão principal e o instrumento, de forma a produzir uma desejada sucção e velocidade no rotor.

Como a agulha mede a força da precessão, o vácuo excessivamente alto ou baixo poderia resultar em operação da agulha de forma indesejável.

Para uma específica razão de curva, o vácuo baixo produz uma rotação menor do giroscópio e, portanto, menor deflexão da agulha para essa específica condição de curva.

O contrário é verdade para a condição de vácuo muito alto.

Dos dois tipos de agulha indicadoras de curva mostrada na figura 12-22, o indicador de 2 minutos de curva é o mais antigo.

Se o instrumento está calibrado acuradamente, uma deflexão na agulha equivalente a sua largura significa, no indicador de 2 minutos, que o avião está fazendo uma curva à razão de 3 graus por segundo ou curva padrão (2 minutos para uma curva de 360 graus).

No indicador de 4 minutos, uma deflexão da agulha para qualquer lado equivalente a largura da agulha, indica que a aeronave está curvando a 1,5 graus por segundo ou metade da razão da curva padrão (4 minutos para uma curva de 360 graus).

Um indicador de curva de 4 minutos foi desenvolvido especialmente para aviões de alta velocidade.

O indicador de derrapagem (bola) é uma parte do instrumento que consiste num simples inclinômetro que é um tubo de vidro selado contendo querosene dentro do qual oscila uma bola preta de ágata ou uma esfera comum de aço que está livre para mover-se dentro do tubo.

O fluido provoca uma ação amortecedora, assegurando movimentos suaves da bola para ambos os lados. O tubo de vidro é curvado de forma que numa posição horizontal a bola tem a tendência de permanecer sempre no ponto mais baixo. Uma projeção do lado esquerdo do tubo contém uma bolha de ar, para compensar a expansão do fluido durante mudanças na temperatura. Dois pedaços de arame envolvendo o tubo de vidro fixam o tubo à caixa de instrumento, e, por sua posição, também serve como marca de referência para indicar a posição da bola no tubo quando em repouso.

Durante vôo reto e horizontal coordenado, a força da gravidade faz com que a bola permaneça na parte mais baixa do tubo centralizado entre os arames de referência.

Práticas de manutenção para os indicadores de curva

Erros de indicações no indicador de curva aparecem usualmente devido à velocidade excessiva ou insuficiente ou, ainda, ajustamento impreciso da mola de calibração. Não existe nenhum teste operacional prático, ou verificação desse instrumento, que não seja notar visualmente que o ponteiro indicador e a bola estão centralizados.

SISTEMA DE INDICAÇÃO REMOTA TIPO “SINCRO”

Um sistema Sincro é um sistema elétrico usado para transmitir informação de um ponto para outro.

A maioria dos instrumentos indicativos de posição são projetados sobre um sistema Sincro.

A palavra "Sincro" é uma forma abreviada de Sincronia e refere-se a qualquer dos dispositivos elétricos capazes de medir e indicar uma deflexão angular.

Sistemas Sincro são usados como indicadores remotos de posição para: trem de pouso e sistemas de flape, nos sistemas de piloto automático, nos sistemas de radar e muitas outras aplicações de indicações remotas.

Há diferentes tipos de sistemas Sincro e os 3 sistemas mais comuns são: Autosyn, Celsyn e Magnesyn.

Esses sistemas são similares na sua construção, e todos operam de forma idêntica, eletricamente e nos princípios mecânicos.

Sistemas Selsyn C.C.

Os sistemas Selsyn C.C. fazem parte de um método elétrico, amplamente usado para indicar a condição mecânica remota. Especificamente, os sistemas Selsyn C.C. podem ser usados para mostrar o movimento e a posição do trem de pouso retrátil dos flapes da asa, nos flapes do motor (*Cowlflaps*) nas portas de reaquecimento do óleo ou partes similares móveis do avião.

O sistema Selsyn consiste de um transmissor, um indicador e a cablagem de conexão. A voltagem necessária para operar o sistema Selsyn é fornecida pelo sistema elétrico do avião.

Um sistema Selsyn é mostrado esquematicamente na figura 12-23. O transmissor consiste de uma bobina circular e um braço de contato rotativo.

O braço rotativo de contato gira em um eixo no centro da bobina de resistência. As duas pontas do braço ou escova sempre tocam a bobina em lados opostos.

O eixo no qual o braço de contato está ligado se estende através do final do transmissor, e está ligado a unidades (flapes, trem de pouso, etc) cuja posição deve ser transmitida.

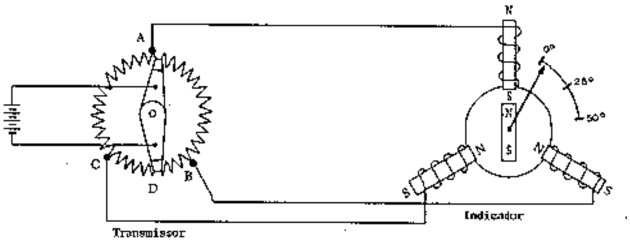


Figura 12-23 Diafragma esquemático de um sistema Selsyn de C.C.

O transmissor está usualmente ligado à unidade através de uma conexão mecânica. Assim que se move, ela causa ao eixo do transmissor um movimento. Desta forma, o braço pode girar para que a voltagem seja transmitida em qualquer dos dois pontos onde o braço toca a circunferência da bobina.

Como a voltagem das espiras do transmissor é variada, a distribuição de corrente nas bobinas do indicador também varia, e a direção do campo magnético resultante, através do indicador, é mudada.

O campo magnético indica uma determinada posição do braço ao transmissor.

Sempre que o campo magnético muda de posição, o motor polarizado gira e alinha-se com a nova posição do campo. O rotor, então, indica a posição do braço transmissor.

Quando o sistema Selsyn C.C. é usado para indicar a posição do trem de pouso , um circuito adicional é conectado a bobina transmissora que age como um circuito de trava. O propósito desse circuito é mostrar quando o trem de pouso está recolhido e travado, ou abaixado e travado. Chaves de trava são mostradas, conectadas num sistema de 3 fios na figura 12-24.

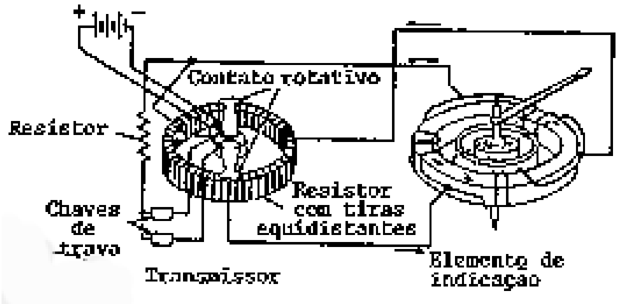


Figura 12-24 Sistema Selsyn de três fios com dupla chave de trava.

Um resistor está conectado entre uma das pontas do transmissor, e uma chave de trava individual na outra ponta. Quando qualquer chave de trava é fechada, a resistência é adicionada ao circuito transmissor para causar desequilíbrio em uma sessão da bobina transmissora. Esse desequilíbrio causa uma mudança no fluxo da corrente através das espirais da bobina.

O movimento resultante do ponteiro indicador mostra que a chave de trava foi, então, fechada.

A chave de trava está mecanicamente conectada às travas de trem em cima ou embaixo, e quando as travas do trem de pouso travam em cima ou embaixo, fecha o interruptor conectado ao transmissor Selsyn. Este travamento do trem de pouso é repetido no indicador.

Sistema magnesyn

O Sistema Magnesyn é um sistema elétrico de sincronia própria, usado para transmitir a direção de um campo magnético, de uma bobina para outra. O sistema de posição Magnesyn é essencialmente um método de medir a quantidade de movimento de tais elementos, como: os Flapes da asa e flapes de refrigeração do motor, compensadores, o trem de pouso, ou outras superfícies de controle. As duas unidades principais do sistema são: o transmissor e o indicador (figura 12-25).

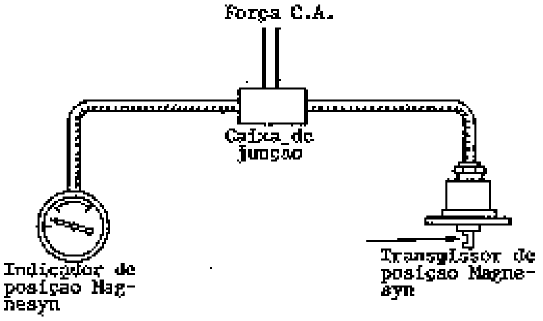

Força C.A.
Caixa de junção
Indicador de posição Magnesyn
Transmissor de posição Magnesyn

Figura 12-25 Sistema Magnesyn de indicação de posição.

No sistema transmissor Magnesyn, um anel de ferro é colocado ao redor de um magneto permanente, de forma que a maioria das linhas de força magnéticas passem através do anel.

Este núcleo circular de material magnético é provido de uma bobina elétrica com uma espiral muito fina. A figura 12-26 mostra o esquema elétrico de um sistema Magnesyn.

O núcleo circular de material magnético e a bobina são os componentes essenciais de um

Magnesyn. O rotor consiste de um permanente magneto (imã).

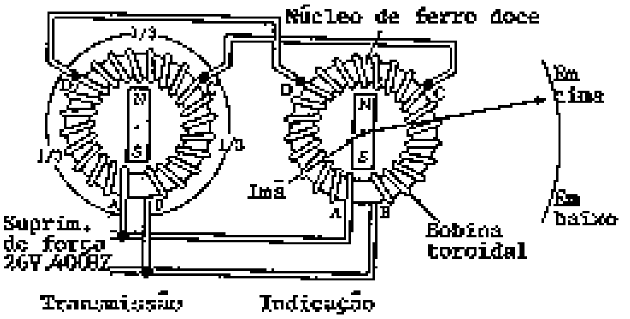

Núcleo de ferro doce
1/3
1/3
1/3
D
D
C
N
S
N
S
A
A
B
Em cima
Imã
Em baixo
Suprim. de força 26V 400HZ
Bobina toroidal
Transmissão
Indicação

Figura 12-26 Sistema magnesyn.

O movimento da superfície de controle do avião causa um movimento proporcional do eixo transmissor. Este, por sua vez, causa deslocamento rotativo do magneto. As variações de voltagem são sentidas no Magnesyn, dependendo da posição do magneto. A voltagem é transmitida ao indicador Magnesyn, que indica em um mostrador os valores recebidos do transmissor.

O indicador consiste inicialmente de um Magnesyn, um mostrador graduado e um ponteiro.

O ponteiro está ligado ao eixo e o eixo está ligado ao magneto, portanto, o movimento do magneto causa um movimento ao ponteiro.

INDICAÇÕES REMOTAS DE PRESSÃO DE ÓLEO E DE COMBUSTÍVEL

Indicações remotas de pressão de óleo e combustível podem ser convenientemente obtidas através do uso de vários sistemas sincro. O tipo de sistema sincro usado pode ser o mesmo, seja para óleo ou para medir pressão de combustível, entretanto, um sistema de medir pressão de óleo não é usualmente intercambiável com um transmissor para medir combustível.

Um sistema típico de indicar a pressão do óleo é mostrado na figura 12-27. Uma mudança na pressão do óleo introduzida no transmissor sincro causa um sinal elétrico para ser transmitido através da cablagem, interconectada ao receptor do sincro.

Este sinal faz com que o rotor receptor e o indicador se movam a uma distância proporcional a quantidade de pressão exercida pelo óleo.

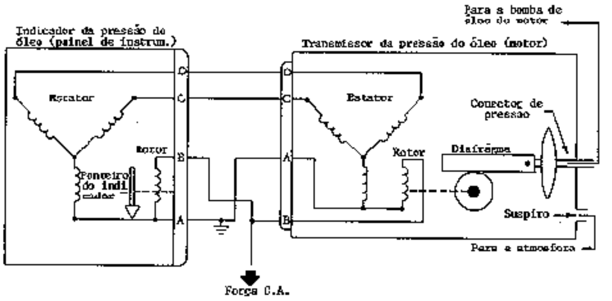

Para a bomba de óleo do motor
Indicador da pressão do óleo (painel de instrum.)
Transmissor da pressão do óleo (motor)
Estator
Estator
Conector de pressão
Rotor
Rotor
Ponteiro do indicador
Diafragma
D
C
B
A
D
C
A
B
Suspiro
Para a atmosfera
Força C.A.

Figura 12-27 Sistema de indicação remota (sincro) da pressão de óleo.

A maioria dos transmissores de pressão de óleo são compostos de duas partes: um mecanismo para medir a pressão; e uma montagem sincro para indicar a pressão.

A pressão do óleo causa um deslocamento linear no rotor do sincro. A quantidade de deslocamento é proporcional a pressão, e as variações de voltagens são indicadas pelo estator sincro.

Estas voltagens são transmitidas para o indicador sincro.

Em algumas instalações, indicadores duplos são usados para obter indicações das duas fontes.

Em algumas instalações, tanto os transmissores de indicação de óleo e de combustível são ligados através de uma junção, operando um sincro de pressão de óleo e pressão de gasolina (duplo lado a lado), entretanto, combinando ambos indicadores em apenas um instrumento.

SISTEMA DE QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL TIPO CAPACITOR

O sistema de medir combustível do tipo capacitor é um dispositivo eletrônico de medir combustível, que determina com exatidão o peso do combustível nos tanques de um avião.

Os componentes básicos do sistema são: um indicador, uma sonda do tanque, uma unidade ponte e um amplificador. Em alguns sistemas, a unidade ponte e o amplificador são uma só unidade montada na mesma caixa. Sistemas mais modernos foram projetados com a unidade ponte e um amplificador transistorizado, construído dentro do estojo do instrumento.

O indicador de quantidade de combustível mostrado na figura 12-28 é um instrumento selado, auto balanceado, contendo um motor, um conjunto de ponteiro, amplificador transistorizado, circuito ponte e potenciômetros de ajuste.

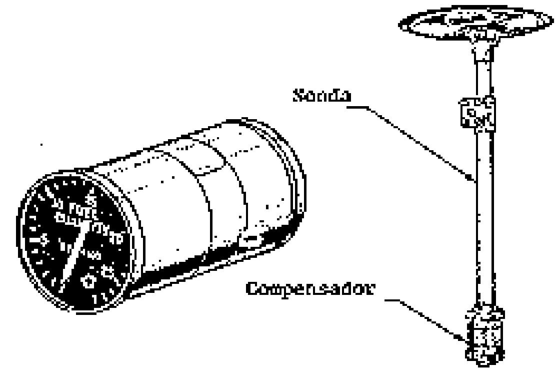


Figura 12-28 Indicador e sonda de um sistema de indicação de combustível tipo capacitor.

Uma mudança na quantidade de combustível de um tanque causa uma mudança na capacitância da unidade do tanque. Essa unidade do tanque faz parte de um circuito de capacitância.

O sinal de voltagem resultante do desequilíbrio desse circuito é amplificado sensitivamente na unidade de força; este sinal energiza um motor de indução, aciona um potenciometro na direção apropriada para reequilibrar o circuito, e ao mesmo tempo posiciona um ponteiro indicador, mostrando a quantidade de combustível remanescente no tanque. Uma versão simplificada de uma unidade do tanque é mostrada na figura 12-29.

A capacitância de um capacitor depende de três fatores:

1) A área das chapas;

2) A distância entre as chapas;

3) O dielétrico constante do material entre as chapas.

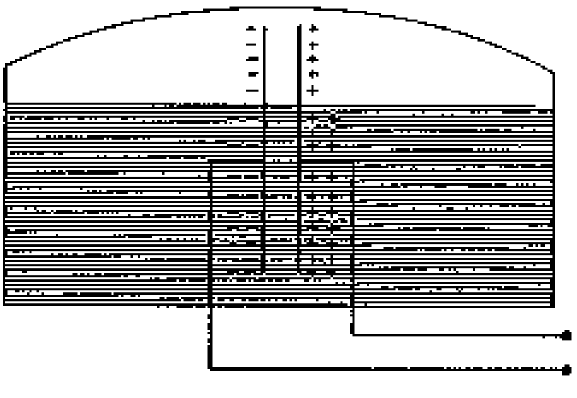


Figura 12-29 Circuito tanque-capacitância simplificado.

O único fator variável da unidade do tanque é o dielétrico do material entre as chapas. Quando o tanque está cheio, o material dielétrico é todo combustível. Sua constante dielétrica é cerca de 2,07 a 0ºC comparado a um dielétrico constante de 1 para o ar.

Quando um tanque está com combustível até a metade existe ar entre as metades superiores das placas, e combustível entre as placas em sua parte inferior. Assim, o capacitor terá menor capacitância do que tinha antes quando o tanque estava cheio.

Quando o tanque está vazio, haverá somente ar entre as placas e, conseqüentemente, a capacitância é ainda menor.

Qualquer mudança na quantidade de combustível entre o tanque cheio e o tanque vazio provoca uma mudança correspondente na capacitância.

Um circuito de capacitância simplificado é mostrado na figura 12-30. O capacitor do tanque de combustível e um capacitor de referência fixo estão conectados em séries, através de uma bobina transformadora secundária.

Um voltímetro está conectado do centro da bobina do transformador até um ponto entre os dois capacitores.

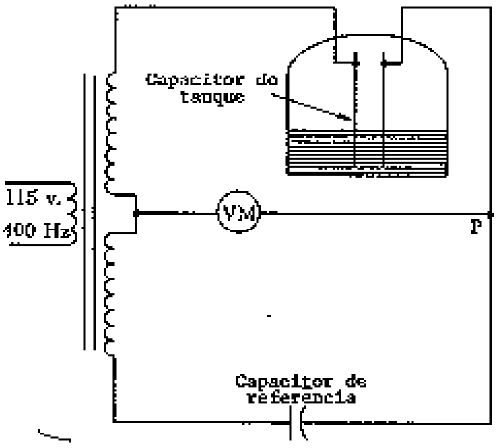


Figura 12-30 Circuito ponte de capacitância, simplificado.

Se as duas capacitâncias são iguais a queda de voltagem será igual, e a voltagem entre o centro e o ponto "P" será zero. Assim que a quantidade de combustível aumenta, a capacitância da unidade do tanque aumenta causando maior fluxo de corrente na unidade do tanque e no circuito. Isto causará a existência de uma voltagem através do voltímetro, que está ligado em fase com a voltagem aplicada ao transformador.

Se a quantidade do tanque diminui, haverá um menor fluxo da corrente no lado do tanque. A voltagem através do voltímetro está agora fora de fase com a voltagem aplicada ao transformador.

Em um instrumento atual tipo capacitor, a informação para o amplificador de dois estágios está conectada em lugar do voltímetro. Ele amplifica o sinal de um desbalanceamento na unidade ponte.

A saída do amplificador energiza uma bobina no motor indicador de duas fases. A outra bobina motor, chamada "Fase de Linha", está constantemente energizada pela mesma voltagem que é aplicada ao transformador no circuito ponte, mas sua fase está desalinhada 90º por um capacitor.

Como resultado, o motor indicador é sensível a fase, isto é, ele vai operar em qualquer direção, dependendo se a capacitância da unidade do tanque está aumentando ou diminuindo. Quando a capacitância do tanque aumenta ou diminui, devido a mudança na quantidade de combustível, é necessário reajustar o circuito ponte para uma condição de balanceamento, de forma que o motor indicador não continue mudando a posição da agulha indicadora. Isto é conseguido por um potenciômetro balanceador, conectado através da metade do transformador secundário, conforme mostrado na figura 12-31.

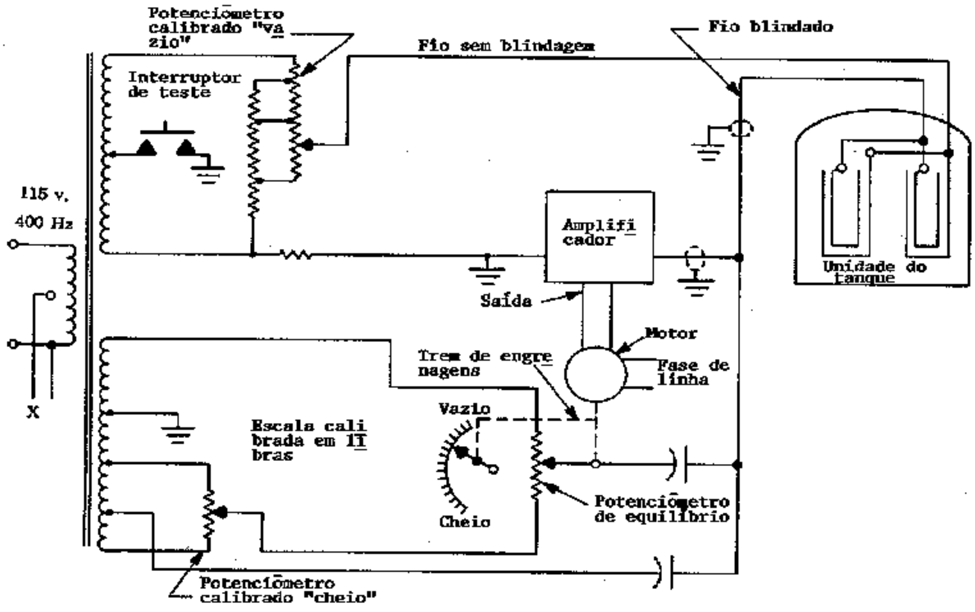


Figura 12-31 Circuito de ponte de equilíbrio próprio.

O motor indicador move o braço do potenciômetro na direção necessária para manter equilíbrio contínuo na ponte. O circuito mostrado na figura 12-31 é um circuito de ponte com equilíbrio próprio. Um potenciômetro “vazio” e um calibrado "cheio" estão ligados através das partes do transformador secundário em pontas opostas da bobina. Estes potenciômetros podem ser ajustados para equilibrar as voltagens da ponte sobre um sistema completo, de alcance de capacitância, de vazio até completamente cheio de um específico sistema. Em algumas instalações onde o indicador mostra o conteúdo de somente um tanque, e onde o tanque é mais ou menos simétrico, uma unidade é o suficiente, entretanto para maior exatidão, em tanques de forma peculiar, duas ou mais unidades são ligadas em paralelo para minimizar o efeito de mudanças na atitude do avião e o deslocamento do combustível nos tanques.

SISTEMAS DE INDICAÇÃO DO ÂNGULO DE ATAQUE

O sistema de indicação do ângulo de ataque detecta o ângulo de ataque do avião de um ponto na lateral da fuselagem, e fornece informações para o controle e atuação de outras unidades e sistemas no avião.

Os sinais são fornecidos para operar um indicador de ângulo de ataque (figura 12-32) localizado no painel de instrumentos, onde uma indicação visual contínua do atual ângulo de ataque é mostrada.

Um sistema típico de ângulo de ataque fornece sinais elétricos para a operação de um atuador dos pedais do leme, o que alerta o operador de um estol iminente quando o avião está se aproximando de um ângulo de ataque crítico.

Chaves elétricas são atuadas no indicador de ângulo de ataque a vários ângulos de ataque pré-estabelecidos

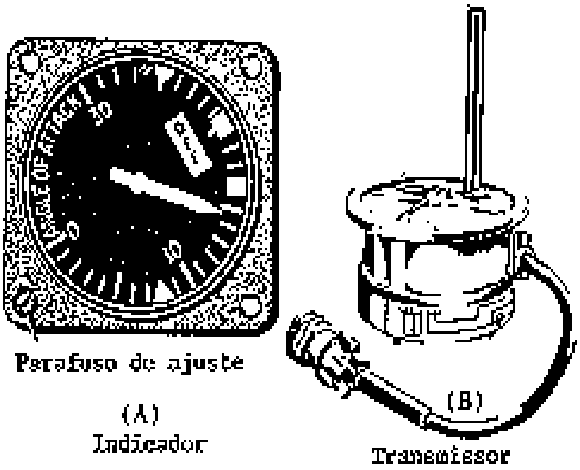


Figura 12-32 Sistema de indicação do ângulo de ataque.

.O sistema indicador de ângulo de ataque consiste de um detector (transmissor) da direção de corrente de ar (figura 12-32B) e um indicador localizado no painel de instrumentos. O detector de direção de corrente de ar contém um elemento sensitivo que mede a direção local da corrente de ar, relativo ao ângulo do ataque verdadeiro, detectando a diferença angular entre o fluxo de ar local e um ponto de referência na fuselagem do avião. O elemento sensível opera em conjunção com o circuito ponte balanceado que converte as posições da antena em sinais elétricos.

A operação de sistema indicativo de ângulos de ataque está baseada na detecção de pressão diferencial, no ponto onde a corrente de ar está fluindo numa direção que não é paralela ao verdadeiro ângulo de ataque do avião.

Esta pressão diferencial é causada por mudanças no fluxo de ar ao redor da unidade antena.

A antena estende-se através da fuselagem do avião para o vento relativo.

O final exposto da antena contém duas fendas paralelas que detectam a pressão diferencial do fluxo de ar (figura 12-33).

O ar que passa pelas fendas é transmitido através de duas passagens separadas, para compartimentos separados em uma câmara, onde existem dispositivos em forma de remo.

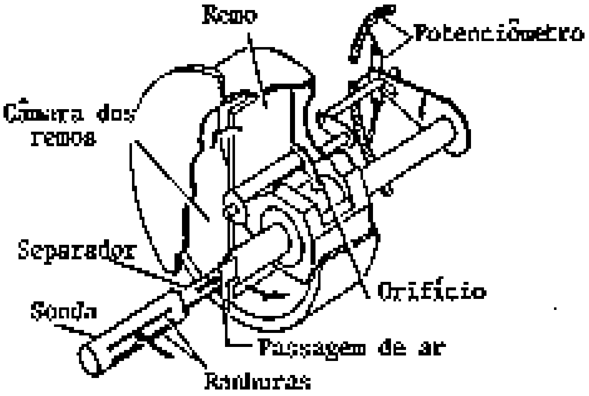


Figura 12-33 Detector da direção do fluxo de ar.

Qualquer pressão diferencial causada por desalinhamento da antena em relação a direção do fluxo de ar causará uma rotação nos remos.

Os remos movendo-se rodarão a antena através de um mecanismo, até que a diferencial de pressão seja zero. Isto ocorre quando as fendas estão simétricas com a direção da corrente de ar.

Dois potenciômetros eletricamente separados rodando com a antena fornecerão sinais para indicações remotas. A posição da antena ou rotação é convertida em um sinal elétrico por um dos potenciômetros, que é o componente transmissor de um circuito auto-ajustável. Quando um ângulo de ataque do avião é mudado e, subseqüentemente, a posição do potenciômetro transmissor é alterada, um erro de voltagem existe entre o potenciômetro transmissor e o potenciômetro receptor.

Fluxos de corrente através de um relé sensível polarizado rodam um servo motor no indicador.

O servo motor energiza o receptor potenciômetro na direção exigida para reduzir a voltagem, e restaurar o circuito a uma condução eletricamente equilibrada.

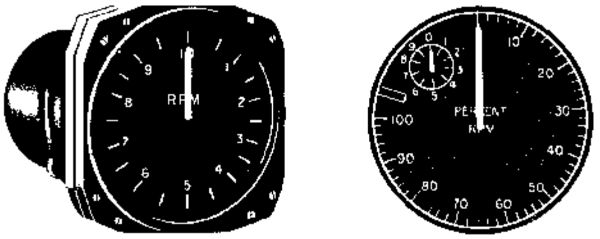
O ponteiro indicador está ligado, e se move com o receptor potenciômetro para indicar no mostrador o ângulo de ataque relativo.

INDICADOR DE RPM (TACÔMETRO)

O indicador tacômetro é um instrumento para indicar a velocidade do eixo de manivelas de um motor a pistão, e a velocidade do eixo principal de uma turbina. Os mostradores de um tacômetro usados com motores a pistão são calibrados em RPM (rotações por minuto).

Aqueles tacômetros utilizados para turbinas são calibrados em porcentagem de RPM, sendo usados a partir da rotação de decolagem.

A figura 12-34 mostra um indicador típico para cada um dos indicadores descritos. Há dois tipos de sistema de tacômetro em amplo uso hoje em dia.



(A)
De motor convencional

(B)
De motor à reação

Figura 12-34 Tacômetros (Indicadores de r.p.m.).

1) O sistema indicador mecânico;
2) O sistema indicador elétrico.

Sistema indicador mecânico

O sistema indicador mecânico consiste de um indicador conectado ao motor por um eixo flexível de tração. O indicador contém um contrapeso acoplado ao mecanismo que aciona um ponteiro.

Quando o eixo gira, forças centrífugas agem nos contrapesos e os movem para uma posição angular. Esta posição angular varia com a rotação do motor. O movimento dos contrapesos é transmitido através do mecanismo de engrenagens ao ponteiro. O ponteiro gira para indicar a RPM do motor no indicador Tacômetro.

Sistema de indicação elétrico

Um número de diferentes tipos e tamanhos de geradores de Tacômetro e indicador são usados em sistemas elétricos de aeronaves. Geralmente, os vários tipos de indicadores de tacômetro e geradores operam nos mesmos princípios básicos. Assim, o sistema descrito será representativo da maioria dos sistemas de tacômetros elétricos.

As instruções dos fabricantes deverão sempre ser consultadas para um detalhe específico de um tacômetro.

O sistema típico de tacômetro é um gerador C.A. de 3 fases, acoplado ao motor do avião e conectado eletricamente a um indicador, montado no painel de instrumentos. Estas duas unidades são conectadas por uma cablagem elétrica. O gerador transmite força de 3 fases ao motor sincro no indicador.

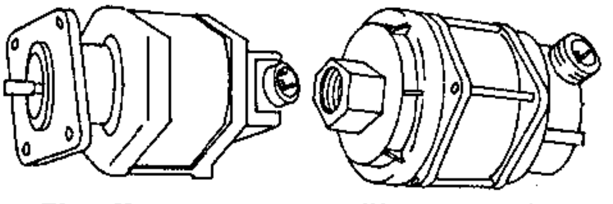
A freqüência da força transmitida é proporcional a rotação do motor.

Através do principio de arrasto magnético, o indicador fornece uma indicação muito precisa da velocidade do motor. Gerador de Tacômetros são unidades compactas, pequenas, geralmente, e disponíveis em 3 tipos:

- FLANGE PLANO
- PORCA ROTATIVA
- PORCA FIXA

Estes nomes são obtidos através do tipo de montagem usada na instalação do gerador ao motor. O gerador de Tacômetro tipo Flange plana (figura 12-36A), é construído com uma blindagem num dos lados, projetada para permitir a instalação do gerador a uma placa no corpo do motor, ou na Caixa de acessórios da turbina com 4 parafusos.

O gerador tipo Porca Rotativa é construído com uma porca na montagem, e está livre para girar em relação ao resto do instrumento. Este tipo de gerador pode ser seguro e imóvel enquanto a porca de montagem é aparafusada no lugar. O gerador do Tacômetro tipo Porca fixa (fig. 12-36B) é construído com uma porca de montagem instalada em uma das blindagens na lateral do gerador. A porca de montagem é uma parte rígida do instrumento, e o gerador inteiro deve ser girado para aparafusar a porca no seu lugar junto ao motor.



Tipo flange **Tipo porca fixa**

Figura 12-36 Gerador de Tacômetro.

O Tacômetro duplo consiste de duas unidades indicadoras de tacômetro montadas no instrumento único. Os ponteiros indicadores mostram simultaneamente num mostrador único, a rotação de dois motores. Alguns indicadores de rotação são equipados com um mostrador que indica a hora de vôo, usualmente localizado na área inferior do mostrador, bem abaixo do ponteiro central.

Tacômetros duplos também são colocados no mesmo instrumento com um sincroscópio para vários propósitos.

Um destes, o tacômetro de helicóptero com sincroscópio, é um instrumento que indica simultaneamente a velocidade de rotação do motor principal e a velocidade de rotação do rotor, e o deslizamento do rotor devido ao mal funcionamento da fricção ou velocidade excessiva do rotor, quando a fricção for desengajada em vôo. A velocidade de ambos (o eixo do rotor e o eixo da turbina), é indicada por um tacômetro regular duplo, e o deslizamento é indicado num sincroscópio (figura 12-37).

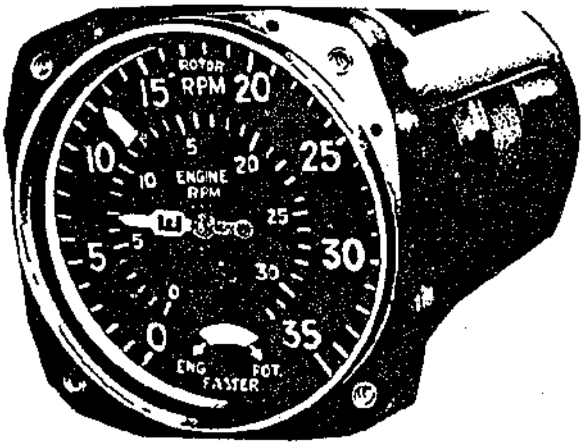


Figura 12-37 Tacômetro de helicóptero com sincroscópio.

MANUTENÇÃO DOS TACÔMETROS (CONTAGIROS)

Os indicadores dos tacômetros devem ser examinados quanto a vidros frouxos, marcas de escala apagadas ou ponteiros soltos. A diferença nas indicações entre as leituras obtidas, antes e após o leve bater do instrumento, não poderão exceder mais ou menos 15 RPM. Este valor pode variar dependendo da tolerância estabelecida pelo fabricante do indicador.

Ambos, o gerador do tacômetro e o indicador, deverão ser inspecionados quanto a firmeza das conexões mecânicas e elétricas, segurança da montagem e condição geral. Para procedimentos detalhados de manutenção, as instruções do fabricante deverão sempre ser consultadas.

Quando um motor equipado com um tacômetro elétrico está funcionando em rotação mínima, os ponteiros indicadores do tacômetro podem flutuar e ter uma leitura baixa. Isto é uma indicação de que o motor sincro não está sincronizado com a informação que é obtida no gerador de sinal.

A medida que a velocidade do motor aumenta, ele deverá sincronizar e registrar corretamente a rotação. A rotação na qual a sincronização ocorre vai variar com o projeto do sistema tacômetro.

Se os ponteiros do instrumento oscilam a velocidade acima do valor de sincronização, é verificado-se a oscilação total não excede a tolerância permissível. Se a oscilação exceder a tolerância, verifica-se se é o instrumento ou outro dos componentes que está falhando. Oscilação nos indicadores podem ocorrer em um sistema de indicação mecânica, se o cabo flexível de tração do indicador está sofrendo oscilações. O cabo flexível deve ser fixado em intervalos freqüentes, para a prevenção de oscilações.

Quando se instala indicadores do tipo mecânico, o “teleflex” deve ter espaço adequado através do painel. Quaisquer dobras necessárias para colocar o cabo através do painel, não poderão causar esforço na instalação do instrumento no painel.

Evita-se dobras muito acentuadas no cabo transmissor. Um cabo transmissor instalado inadequadamente pode causar uma pane no indicador, ou fornecer informação incorreta.

SINCROSCÓPIO

O sincroscópio é um instrumento que indica se dois (ou mais) motores estão sincronizados, isto é, se eles estão operando na mesma R.P.M.

O instrumento consiste de um pequeno motor elétrico, que recebe corrente elétrica do gerador do tacômetro de ambos os motores.

O sincroscópio é projetado de forma que,a corrente do motor que gira mais depressa,controla a direção na qual o motor do sincroscópio gira.

Se ambos os motores estão operando a mesma velocidade, o motor do sincroscópio não opera.

Se, entretanto, um motor está operando mais rápido que o outro, o sinal do seu gerador obrigará o motor do sincroscópio a girar em uma determinada direção. Se a velocidade do outro motor então torna-se maior que aquela do primeiro motor, o sinal de seu gerador, então, causará ao motor do sincroscópio a reversão na direção oposta.

O motor do sincroscópio está conectado através de um eixo, a um ponteiro de duas pontas no mostrador do instrumento (figura 12.38).

É necessário designar um dos dois motores como motor mestre, para que as indicações do sincroscópio possam ser úteis.

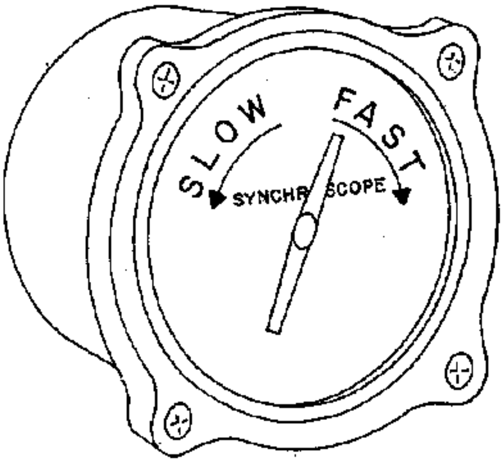


Figura 12-38 Mostrador do sincroscópio.

As leituras do mostrador com rotação no sentido anti-horário do ponteiro indicam devagar; e o movimento no sentido horário indicando rápido refere-se a operação do segundo motor, em relação a velocidade do motor mestre.

Para aeronaves com mais do que dois motores poderão ser usados sincroscópios adicionais.

Um motor é designado como motor mestre, e os sincroscópios são conectados entre seus tacômetros, e àqueles de cada um dos motores individuais.

Em uma instalação completa deste tipo, deve haver um instrumento a menos do número de motores, desde que o motor mestre seja comum a todos os pares.

Um tipo de sincroscópio para quadrimotores é um instrumento especial que, efetivamente, são três sincroscópios individuais em um só instrumento (figura 12-39).

O rotor de cada sincroscópio está eletricamente conectado ao gerador do tacômetro do motor, designado como mestre, enquanto cada estator está conectado a cada um dos tacômetros dos outros motores.

Existem, três ponteiros, cada um indicando a velocidade relativa do motor número 2, 3 ou motor 4, conforme indicado na figura 12-40.

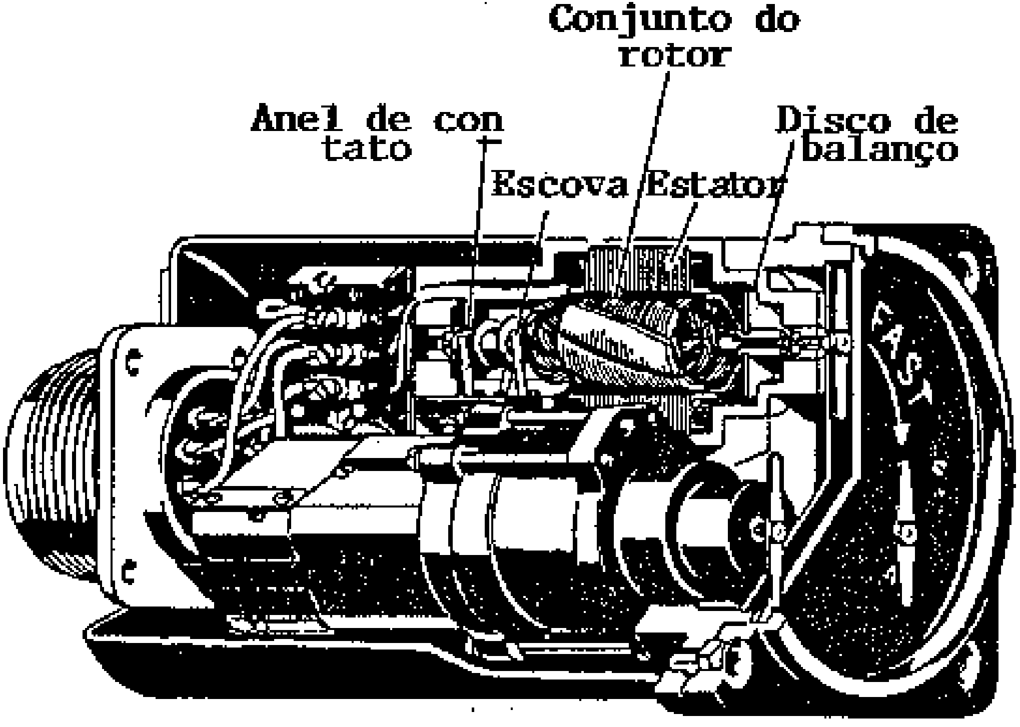


Figura 12-39 sincroscópio de quadrimotor.

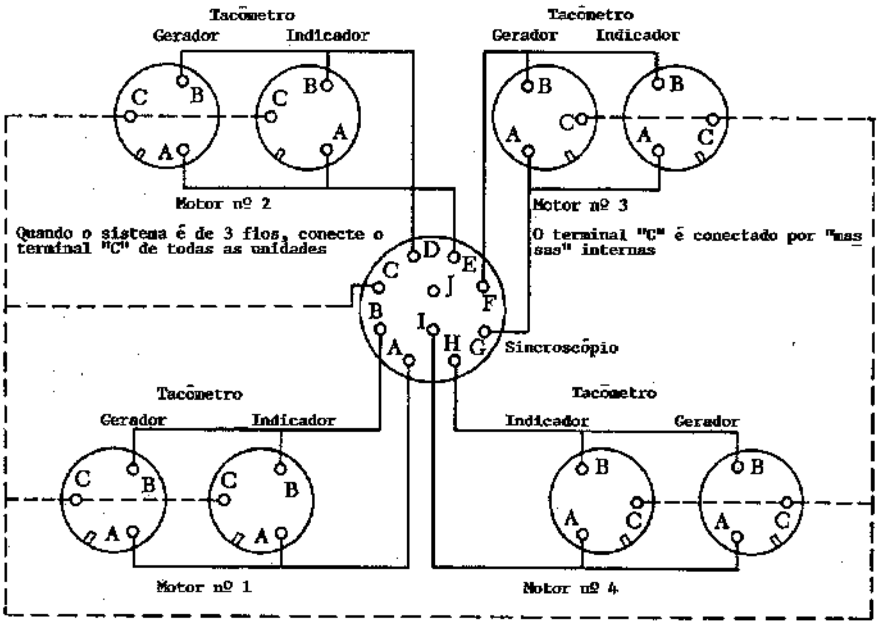

Tacômetro
Gerador
Indicador
C
B
A
Motor nº 2
Quando o sistema é de 3 fios, conecte o terminal "C" de todas as unidades
Tacômetro
Gerador
Indicador
B
A
C
Motor nº 3
O terminal "C" é conectado por "massas" internas
D
E
C
J
F
B
I
A
H
G
Sincroscópio
Tacômetro
Gerador
Indicador
Motor nº 1
Tacômetro
Indicador
Gerador
Motor nº 4

Figura 12-40 Esquema do sincroscópio para um quadrimotor.

Os ponteiros independentes giram no sentido horário quando seu respectivo motor está girando mais rápido que o motor mestre, e em sentido anti-horário quando está girando com menor velocidade.

A rotação dos ponteiros começa quando a diferença de velocidade atinge cerca de 350 RPM; e a medida que a sincronização dos motores está sendo obtida, a rotação dos ponteiros é proporcional a diferença de rotação dos motores.

INDICADORES DE TEMPERATURA

Várias indicações de temperatura devem ser conhecidas, de forma que a aeronave seja operada adequadamente.

É importante que a temperatura do óleo do motor, a mistura do carburador, o ar exterior, a temperatura das cabeças dos cilindros, os dutos de aquecimento e a temperatura dos gases do escapamento, bem como os gases das turbinas, sejam conhecidas.

Muitas outras temperaturas devem também ser conhecidas, mas estas são algumas das mais importantes. Diferentes tipos de termômetros são usados para coletar e apresentar esta informação.

Termômetro de resistência elétrica

Termômetros de resistência elétrica são amplamente usados em muitos tipos de aeronave para medir o ar do carburador, a temperatura do óleo e a temperatura do ar exterior.

As principais partes do termômetro de resistência elétrica são: o instrumento indicador, o elemento sensível de temperatura (bulbo), e as cablagens conectoras e os plugues de conexão.

Os termômetros de temperatura de óleo do tipo de resistência elétrica têm limites típicos de -10 graus centígrados a +120 graus centígrados, ou desde -70 graus centígrados até +150 graus centígrados.

Termômetros do ar do carburador e da mistura ar/combustível, poderão ter um limite de operação de -50 graus até +50 graus centígrados, assim como muitos termômetros de ar exterior.

Um termômetro típico de resistência elétrica é mostrado na figura 12-41. Os indicadores também estão disponíveis na forma dupla, para uso em aviões multi-motores. Muitos indicadores são compensados para mudanças na temperatura na cabine.

O termômetro de resistência elétrica opera pelo princípio da mudança da resistência elétrica na maioria dos metais com as mudanças na temperatura. Na maioria dos casos, a resistência elétrica de um metal aumenta enquanto a temperatura sobe.

A resistência de alguns metais aumenta mais que a resistência de outros, com uma determinada elevação na temperatura. Se um resistor metálico com um alto coeficiente de resistência à temperatura (um alto índice de resistência para um determinado aumento na temperatura) é submetido a uma temperatura a ser medida, e o indicador de resistência é conectado a ele, todos os requisitos para um termômetro elétrico estão presentes.

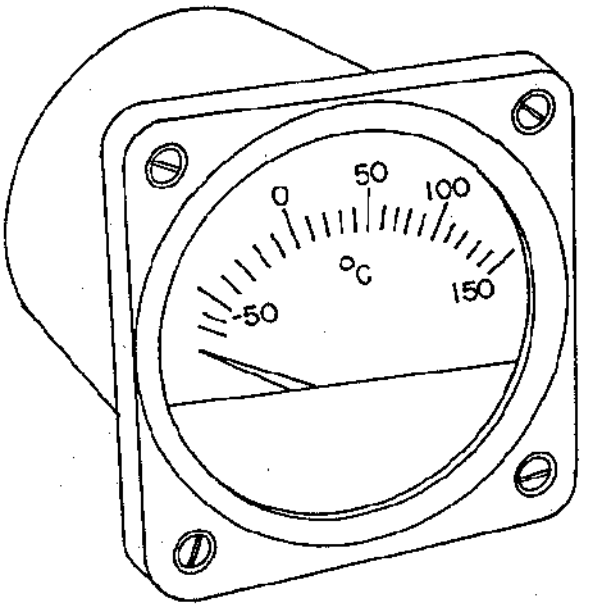


Figura 12-41 Indicador típico de temperatura à resistência elétrica.

O resistor sensível ao calor é o elemento principal no bulbo, e é construído de forma que tenha uma resistência definida para cada valor de temperatura dentro de seu limite de operação.

O elemento resistor sensível a temperatura é uma bobina feita de várias ligas, tais como fio de níquel ou fio de manganês em material isolante apropriado.

O resistor é protegido por um tubo de metal, unido a uma cabeça rosqueada de forma hexagonal (figura 12-42). As duas extremidades são revestidas ou soldadas ao receptáculo elétrico, projetadas para receber as tomadas do plugue conector.

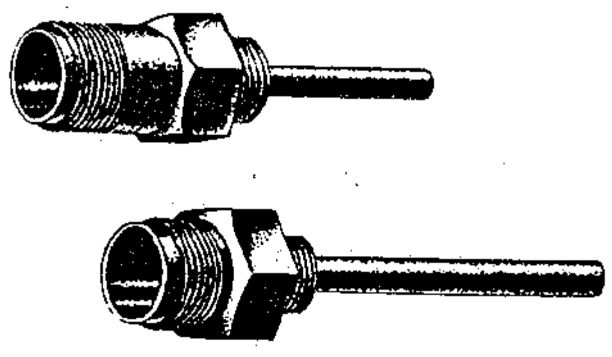


Figura 12-42 Dois tipos de bulbo de termômetros de resistência elétrica.

O indicador de resistência elétrica é um instrumento de medir resistência. Seu mostrador é calibrado em graus de temperatura em vez de ohms, e mede a temperatura usando uma forma modificada do circuito ponte de Wheatstone.

O medidor ponte de Wheatstone opera do princípio de comparar um resistor desconhecido com outras resistências conhecidas.

Uma forma simplificada de um circuito ponte de Wheatstone é mostrado na figura 12-43.

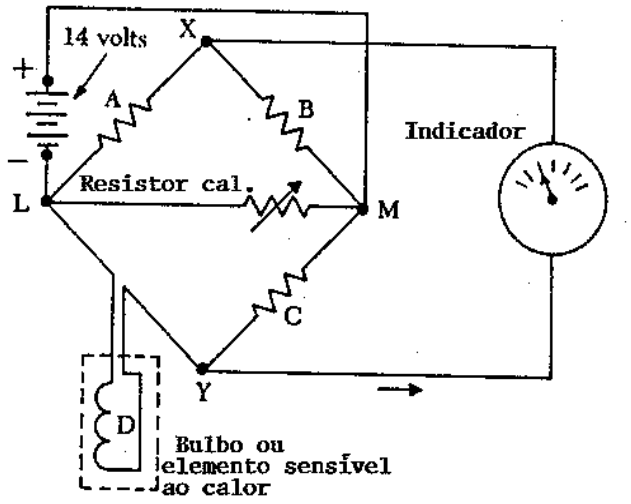


Figura 12-43 Circuito medidor do tipo ponte de Wheatstone.

Três resistências de valores iguais (A,B e C, da figura 12-43) estão conectadas a um circuito na forma de diamante, com uma resistência de valor desconhecido (D). A resistência desconhecida representa a resistência do bulbo de temperatura, da resistência elétrica do sistema termômetro.

Um galvanômetro calibrado para ler em graus é unido através do circuito: X e Y. Quando a temperatura causa a resistência do bulbo equalizar-se a das outras resistências, nenhuma diferença em potencial existe entre os pontos X e Y no circuito, e nenhuma corrente flui na perna do galvanômetro do circuito.

Se a temperatura do bulbo muda, sua resistência também muda; e a ponte torna-se desbalanceada, causando um fluxo de corrente através do galvanômetro em uma direção ou em outra.

O mostrador do galvanômetro é calibrado em graus de temperatura, convertendo para o instrumento de medida de temperatura. A maioria dos indicadores são fornecidos com um parafuso de ajuste a zero na face do instrumento, de forma a ajustar o ponteiro a um ponto de referência (a posição do ponteiro quando a ponte está equilibrada e nenhuma corrente flui através do medidor).

Indicadores de temperatura bimetálicos

A temperatura da maioria dos cilindros dos motores a pistão, refrigerados a ar, é medida por um termômetro que tem seu elemento sensitivo de calor instalado em algum ponto de um dos cilindros (normalmente um cilindro mais quente).

No caso de motores a turbina, a temperatura dos gases do escapamento é medida por sondas instaladas no cone de escapamento.

Uma sonda é um circuito ou uma conexão de dois metais diferentes; tal circuito tem duas conexões. Se uma das conexões é aquecida a uma temperatura maior que a outra, uma força eletromotiva é produzida no circuito. Colocando-se um galvanômetro no circuito, esta força pode ser medida.

Quanto maior se torna a temperatura, maior se torna a força eletromotiva produzida. Calibrando-se o galvanômetro em graus, torna-se um termômetro.

Um sistema típico de termômetro bimetálico (figura 12-44) usado para indicar a temperatura do motor, consiste de um indicador galvanômetro calibrado em graus centígrados, um termopar bi-metálico, e condutores bimetálicos.

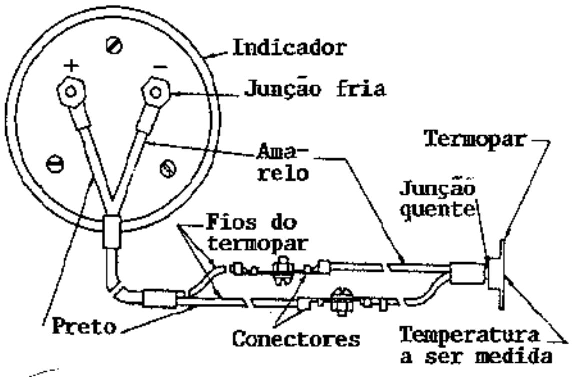


Figura 12-44 Sistema de indicação da temperatura da cabeça do cilindro de motor convencional.

Os termopares condutores ou as sondas bi-metálicas são comumente construídos de ferro e constantan, porém, cobre e constantan, ou cromo e alumel são outras combinações de metais de características físicas diferentes em uso.

Ferro e costantan é a mais usada na maioria dos motores radiais, e cromel e alumel é usada em motores a jato.

As sondas termopares são projetadas para fornecer uma quantidade definida de resistência no circuito termopar, portanto seu comprimento ou tamanho não pode ser alterado, a não ser que alguma compensação seja feita para a mudança da resistência total. A junção aquecida do termopar varia de forma, dependendo de sua aplicação.

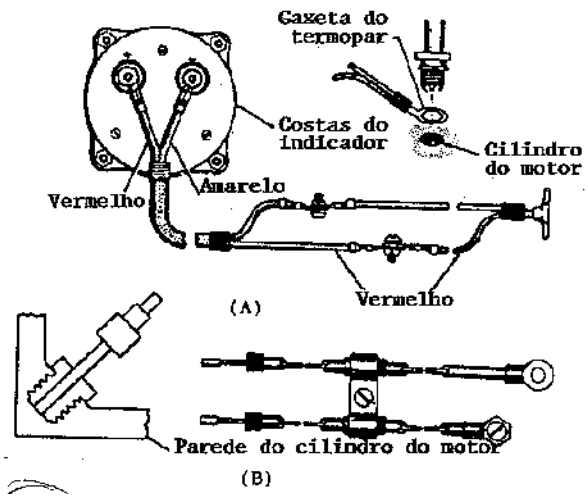


Figura 12-45 Termopares: (A) tipo gaxeta; (B) tipo baioneta.

Dois tipos comuns são mostrados na figura 12-45; eles são do tipo gaxeta e do tipo baioneta. No tipo gaxeta, dois anéis de metais diferentes são pressionados juntos para formar uma gaxeta tipo vela de ignição. Cada sonda, que forma uma conexão de retorno ao galvanômetro, deve ser construída do mesmo metal que a parte do termopar na qual está conectada. Por exemplo, um fio de cobre está conectado a um anel de cobre, e o fio de costantan dever estar conectado ao anel de costantan.

O termopar tipo baioneta cabe num orifício na cabeça do cilindro. Aqui novamente, o mesmo metal é usado no termômetro como na parte do termopar, ao qual está conectado. O cilindro escolhido para a instalação do termopar é o cilindro que opera mais quente nas mais diversas condições de operação. A localização deste cilindro varia com os diferentes tipos de motores.

A junção fria do circuito termopar está dentro da caixa do instrumento.

Desde que a força eletromotiva, verificada no circuito, varia com a diferença da temperatura entre as junções fria e a quente, é necessário compensar o mecanismo do indicador para mudanças da temperatura na cabine que poderão afetar a junção fria. Isso é conseguido usando-se uma mola bimetálica, conectada ao mecanismo indicador.

Quando as sondas são desconectadas do indicador, a temperatura da área da cabine ao redor do painel pode ser lida no instrumento. A razão disso, é que a mola compensadora bimetálica continua a agir como um termômetro.

A figura 12-46 mostra os indicadores de dois instrumentos de temperatura do termopar (thermocouple).

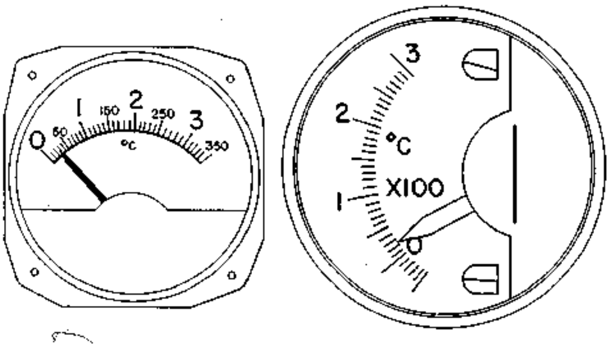


Figura 12-46 Dois tipos de indicadores de temperatura de termopares.

Sistemas de indicação de temperatura dos gases

EGT (Temperatura dos Gases do Escapamento) é uma indicação variável muito crítica da operação de uma turbina. O sistema de indicação de EGT fornece uma indicação visual na cabine, da temperatura dos gases do escapamento da turbina, enquanto eles estão deixando a unidade motora. Em algumas turbinas a temperatura dos gases do escapamento é medida na entrada da turbina. Este sistema é usualmente conhecido como "TIT", temperatura da entrada da turbina (*turbine inlet temperature).*

A principal desvantagem deste método é que o número de sondas requeridas torna-se maior, e a temperatura ambiente em que ele deve operar é aumentada.

Uma sonda de medir temperatura dos gases de escapamento é montada num isolante de cerâmica e revestida de uma blindagem de metal. A sonda tem a forma de um tubo cilíndrico que se projeta e fica localizado na saída dos gases; ela é construída de cromel (uma liga de níquel-cromo) e alumel (uma liga de níquel e alumínio).

A junção quente penetra num espaço para dentro da blindagem, e a blindagem tem orifícios na sua extremidade, permitindo o fluxo dos gases de escapamento através da junção quente.

Várias sondas são usadas e são instaladas em intervalos, ao redor do perímetro da saída dos gases da turbina ou do duto de escapamento.

As sondas medem o EGT da turbina em milivolts, e esta voltagem é transmitida a um amplificador no indicador na cabine onde é amplificada e usada para energizar um pequeno servo motor, que move o do ponteiro indicador do termômetro. Um sistema típico de EGT é mostrado na figura 12-47.

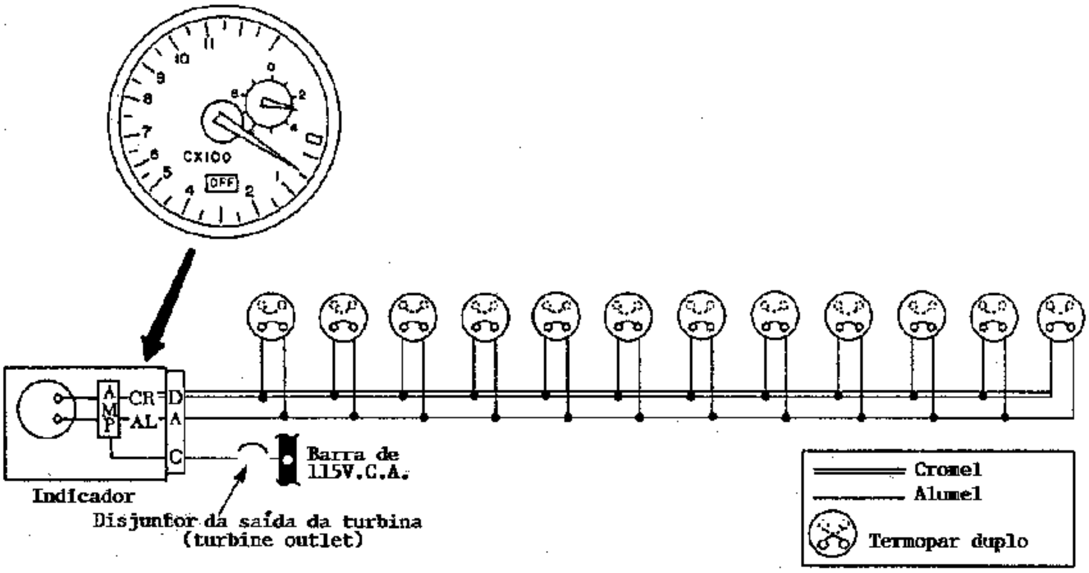


Figura 12-47 Típico sistema de indicação da temperatura dos gases do escapamento.

O indicador EGT mostrado é a uma unidade hermeticamente selada e oferece a possibilidade de um segundo plugue de conexão.

O instrumento é calibrado de zero grau centígrado até o limite máximo de 1.200 graus centígrados, com um mostrador vernier no canto superior direito. Uma bandeira de alerta de "OFF" (desligado) está localizada na parte inferior do mostrador.

O sistema de indicação TIT fornece uma indicação visual da temperatura dos gases entrando na turbina. Em um tipo de turbina de aviação, a temperatura de entrada de cada turbina é medida por dezoito unidades de sondas duplas, instaladas no anel envolvente da turbina. Um conjunto desses termômetros paralelos transmite sinais a um indicador na cabine, e o outro conjunto de termômetros paralelos fornece sinais de temperatura a um controle de dados. Cada circuito é eletricamente independente fornecendo um sistema com dupla confiabilidade.

As montagens dos termômetros são efetuadas em bases ao redor da carenagem da entrada da turbina, e cada termômetro possui duas conexões eletricamente independentes com uma sonda de leitura.

A voltagem média das bases onde se alojam as sondas representa o TIT. Um esquema do sistema para medir a temperatura da entrada das turbinas para o motor de um avião com quatro motores, é mostrado na figura 12-48. Os circuitos para os outros três motores são idênticos a esse sistema.

O indicador contém um circuito ponte, um circuito "*chopper*", um motor de duas fases para acionar o ponteiro e um potenciômetro de acompanhamento(*feed-back*). Também incluído está um circuito de referência de voltagem, um amplificador, uma bandeira ("*OFF*") de instrumento inoperante, e uma luz de alerta de sobre temperatura.

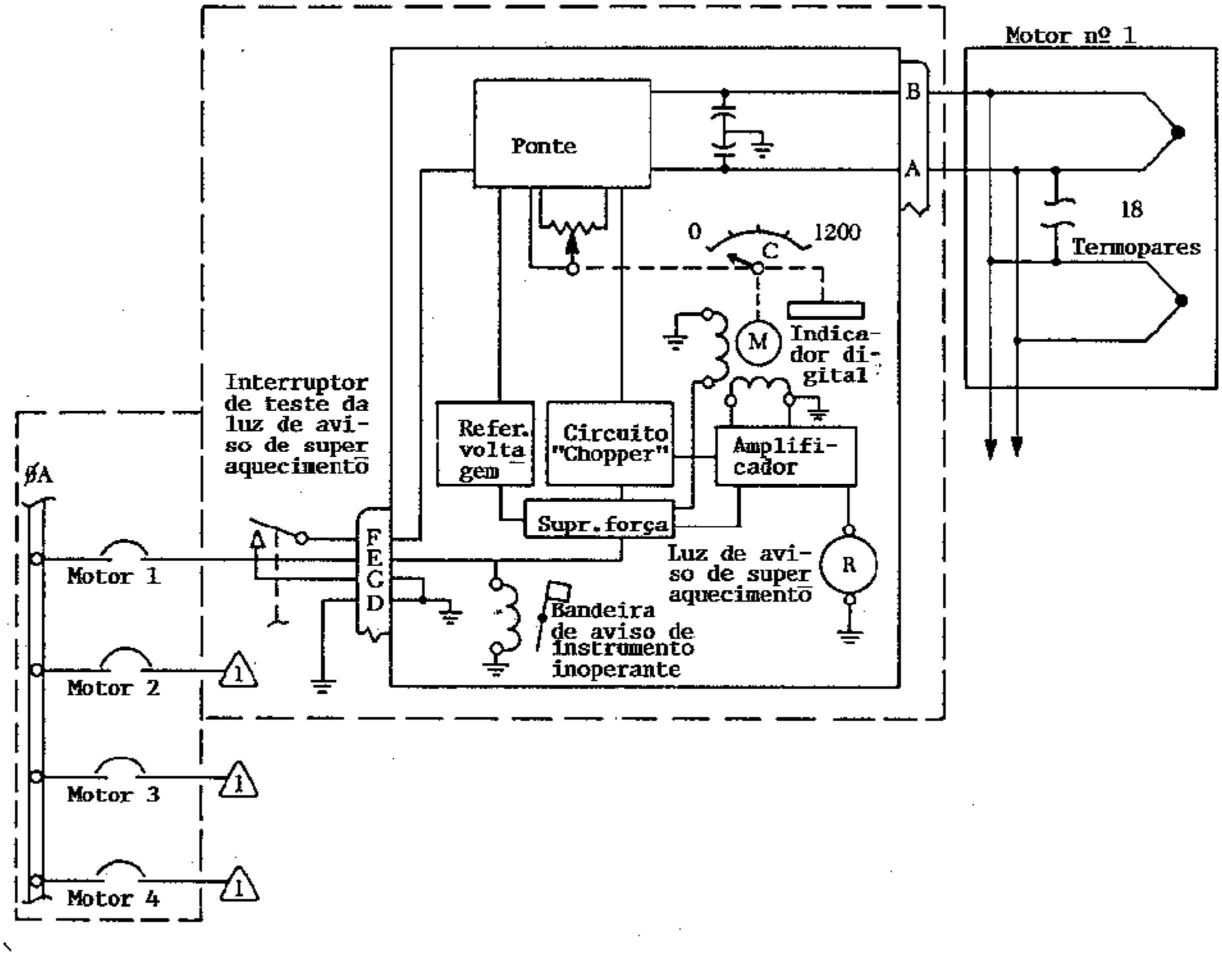

Motor nº 1
B
A
Ponte
0
1200
C
18
Termopares
M
Indicador digital
Interruptor de teste da luz de aviso de super aquecimento
Refer. voltagem
Circuito "Chopper"
Amplificador
Supr. força
ØA
F
E
C
D
Motor 1
Motor 2
Motor 3
Motor 4
1
Luz de aviso de super aquecimento
R
Bandeira de aviso de instrumento inoperante

Figura 12-48 Sistema de indicação da temperatura da entrada da turbina (TIT).

A saída do amplificador energiza o campo variável do motor de duas fases, que move o ponteiro do indicador principal e um indicador digital. O motor também move o potenciômetro "*feed-back*" e fornece um sinal para parar o motor quando o instrumento indicar a posição correta em relação a indicação de temperatura. O circuito de voltagem fornece uma voltagem de referência para prevenir erros de variações de voltagem no suprimento de força para o indicador.

A luz de alerta de alta temperatura acende quando o instrumento de TIT atinge um limite pré-determinado. Um botão de teste externo é na maioria das vezes instalado para que as luzes de alerta de alta temperatura de todos os motores, possam ser testadas ao mesmo tempo.

Quando a chave de teste é operada, um sinal de alta temperatura é simulado em cada indicador do circuito ponte do indicador de temperatura.

TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA DE RAZÃO ELÉTRICA

O sistema básico de indicação de temperatura ponte de Wheatstone, fornece indicações exatas quando o ponteiro está no ponto de equilíbrio no mostrador do instrumento. Quando o ponteiro se move fora do ponto de equilíbrio o indicador ponte de Wheatstone está sendo muito afetado pelas variações do fornecimento de voltagem.

Uma maior exatidão pode ser obtida, instalando-se um dos diversos tipos de circuito automático de compensação de voltagem na linha, no circuito.

Alguns desses reguladores de voltagem empregam-se do filamento-resistência das lâmpadas para obter um fornecimento de voltagem mais uniforme.

A resistência dos filamentos de lâmpadas ajuda a regular a voltagem aplicada ao circuito ponte de Wheatstone porque a resistência do filamento muda passo a passo com a variação de fornecimento de voltagem.

O medidor de razão é um arranjo mais sofisticado para obter-se maior exatidão nos indicadores tipo bulbo e resistência. O indicador de razão mede a razão das correntes usando uma adaptação do circuito básico ponte de Wheatstone com circuito de razão para maior sensibilidade.

Um esquema de um circuito de medidor de razão de temperatura é demonstrado na figura 12-49. O circuito contem dois ramos paralelos, um com uma resistência fixa em série com a espiral “A” e a outra uma resistência construída em série com a espiral “B”. As duas espirais estão fixadas num rotor com um pino no centro da abertura do magneto permanente.

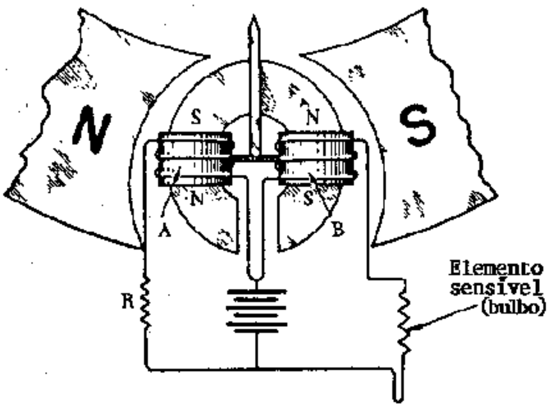


Figura 12-49 Esquema de um sistema de medidor de razão de temperatura.

O magneto é construído de forma que haja uma abertura de ar entre o magneto e as bobinas, maior na base do que no topo. Isto produz uma maior densidade no fluxo que é progressivamente maior partindo da base para a abertura no topo.

A direção da corrente, através de cada bobina em relação a polaridade do magneto permanente, faz com que a bobina com a fluxo de corrente reaja no campo magnético mais fraco. Se a resistência do bulbo de temperatura é igual ao valor da resistência fixa; e os valores iguais de corrente estão fluindo através da bobina; o torque nas bobinas será o mesmo, e os ponteiros indicadores estarão na posição vertical (zero).

Se a temperatura do bulbo aumenta, sua resistência também aumentará causando a diminuição da corrente do ramo do circuito da bobina “B”. Conseqüentemente o torque na bobina “B” diminui e a bobina “A” empurra no sentido para baixo num campo magnético mais fraco; A bobina “A”, com sua corrente mais fraca move-se para um campo magnético mais forte.

Os torques nas bobinas ainda se equilibram desde que o produto do fluxo da corrente permaneça o mesmo para ambas as bobinas, mas o ponteiro tenha se movido para uma nova posição na escala calibrada. Por outro lado, o oposto desta ação ocorrerá se a temperatura do bulbo sensitivo de calor diminuir.

Os sistemas de medir temperatura por indicação de razão, são usados para medir temperatura do óleo do motor, do ar exterior e temperatura do ar do carburador em muitos tipos de avião. Eles são especialmente usados para indicar condições de temperatura, onde a exatidão é importante, ou grandes variáveis de fornecimento de voltagens existem.

SISTEMAS DE MEDIR FLUXO DE COMBUSTÍVEL *("FUEL FLOW")*

Sistemas de indicação de fluxo de combustível são usados para indicar consumo de combustível.

Eles são, na maioria das vezes, instalados nos aviões maiores, multi-motores, mas eles podem ser encontrados em qualquer tipo de aeronave onde o fator economia de combustível é um detalhe muito importante.

Um sistema típico de medidor de fluxo de combustível para o motor a pistão consiste de um transmissor de fluxo e um indicador. O transmissor está usualmente ligado na linha de combustível que une a saída do carburador a válvula de alimentação de combustível, ou bico ejetor. O indicador está normalmente montado no painel de instrumentos.

Um corte transversal de um transmissor típico é mostrado na figura 12-50. A gasolina passando pela entrada da câmara de combustível é direcionada contra uma palheta medidora, causando a mudança da sua posição dentro da câmara.

Quando a palheta é movida de uma posição fechada pela pressão do fluxo de gasolina, a distância entre a palheta e a câmara de combustível torna-se gradativamente maior, e este movimento é transmitido ao eixo na qual a palheta está ligada. A figura 12-51 mostra uma vista detalhada de um sistema de medir fluxo de combustível.

A palheta medidora move-se contra a força oposta de uma mola.

Quando a força criada por um determinado fluxo de combustível está equilibrada com a tensão da mola, a palheta torna-se imóvel.

A palheta é conectada magneticamente ao rotor de um transmissor que gera sinais elétricos para indicar em um instrumento na cabine.

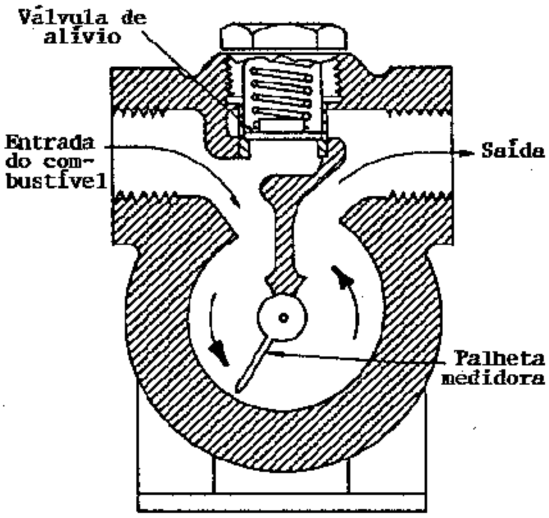


Figura 12-50 Câmara de combustível do medidor de fluxo de combustível.

A distância que a palheta medidora se move é proporcional e mede a razão do fluxo. O sistema tem um amortecedor que elimina as flutuações causadas por bolhas de ar no combustível.

Há uma válvula de alívio dentro da câmara que permite o dreno de combustível quando o fluxo é maior que a capacidade da câmara.

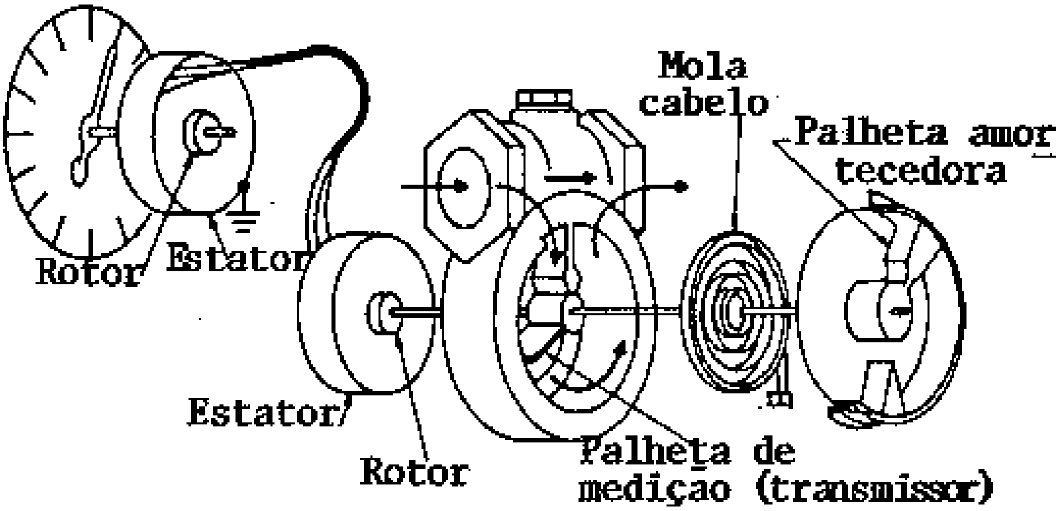


Figura 12-51 Sistema medidor do fluxo de combustível.

Um esquema simplificado de um sistema de “FUEL FLOW” do tipo palheta (figura 12-52) mostra a palheta medidora ligada ao transmissor do “FUEL FLOW”, e o rotor do indicador ligado a uma fonte de força comum com um transmissor.

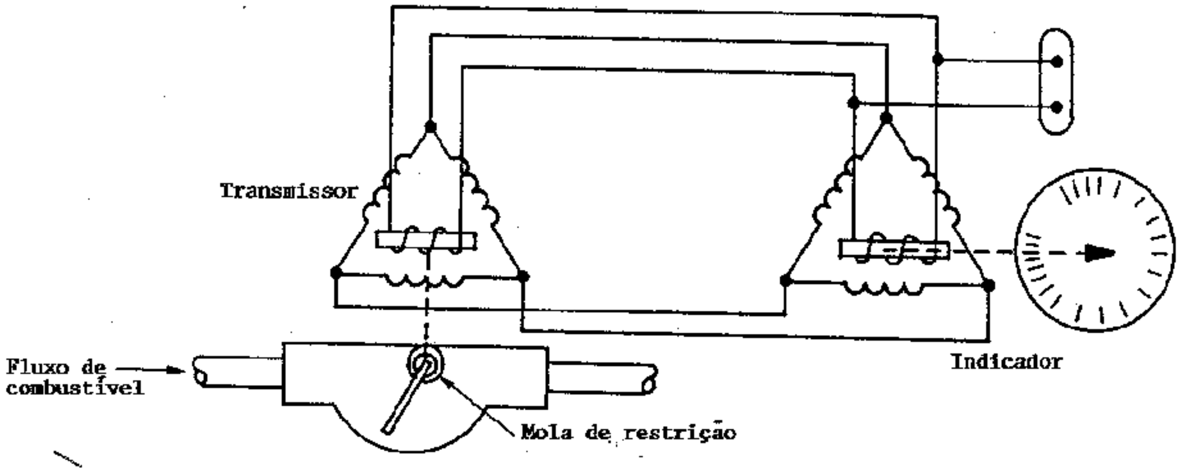

Transmissor
Fluxo de
combustível
Mola de restrição
Indicador

Figura 12-52 Esquema de um sistema de medição de fluxo do tipo palheta.

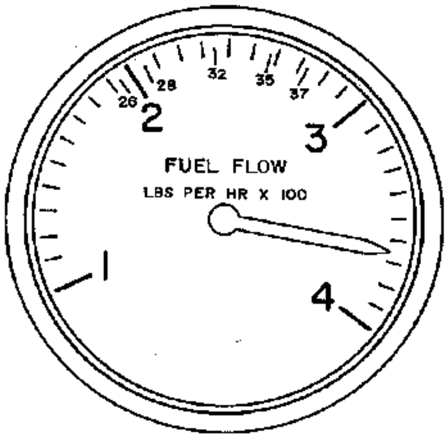

26
28
32
35
37
2
3
FUEL FLOW
LBS PER HR X 100
1
4

Figura 12-53 Típico indicador de fluxo do combustível.

O mostrador de um indicador de fluxo é mostrado na figura 12-53. Alguns indicadores de fluxo de combustível são calibrados em galões por hora, mas a maioria deles indica a medida do fluxo em libras.

O sistema do fluxo usado nos motores a turbina é na maioria das vezes um sistema mais complexo do que aqueles usados nos motores a pistão.

No esquema mostrado na figura 12-54, dois cilindros, um impulsor, e uma turbina são montados na linha principal de combustível ligada ao motor.

O impulsor é movido a uma velocidade constante por um motor especial de três fases.

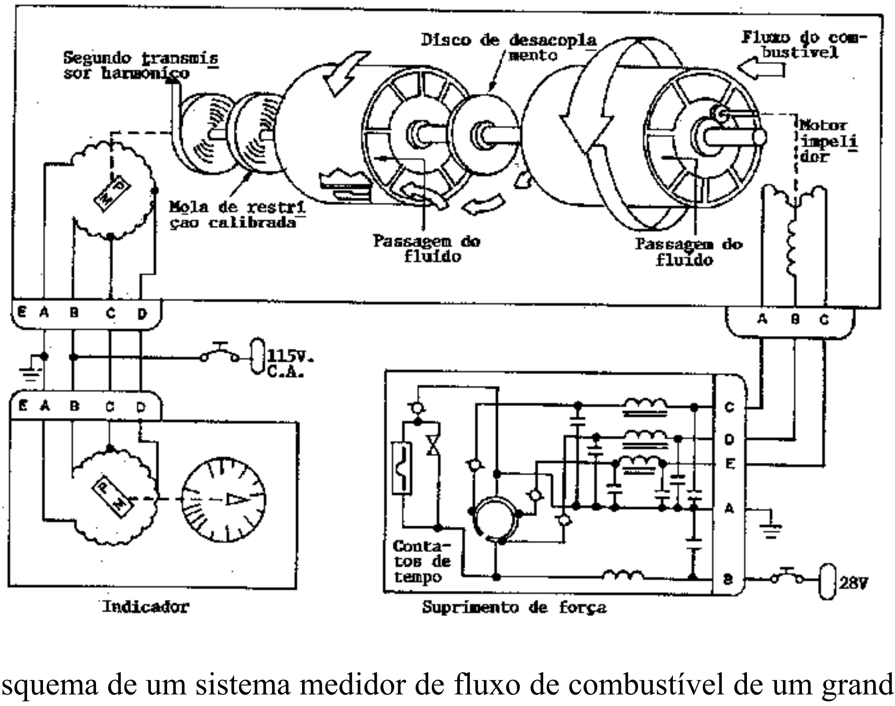

Segundo transmis
sor harmonico
Disco de desacopla
mento
Fluxo do com-
bustível
Motor
impeli
dor
Mola de restri
çao calibrada
Passagem do
fluido
Passagem do
fluido
E A B C D
A B C
115V.
C.A.
E A B C D
C
D
E
A
B
28V
Contatos de
tempo
Indicador
Suprimento de força

Figura 12-54 Esquema de um sistema medidor de fluxo de combustível de um grande motor à reação.

O impulsor é montado formando um momento angular com o fluxo de combustível fazendo com que a turbina gire até que a mola reguladora calibrada provoque o equilíbrio de forças devido ao momento angular do fluxo de combustível.. A deflexão da turbina posiciona o magneto permanente no transmissor de posição a uma posição correspondente ao fluxo de combustível na linha. Esta posição da turbina é transmitida eletricamente ao indicador na cabine

INSTRUMENTOS GIROSCÓPICOS

Três dos mais comuns instrumentos de vôo: o indicador de atitude, o indicador de rumo e o indicador de inclinação e curvas (*Turn and bank*) são controlados por giroscópios.

Para se entender como estes instrumentos operam exige-se um conhecimento dos princípios giroscópicos dos sistemas de força dos instrumentos e os princípios operacionais de cada instrumento.

O giroscópio é uma roda, ou disco, montado para girar em alta velocidade ao redor de um eixo, sendo também livre para girar em um ou mais eixos perpendiculares em seu movimento de rotação. Um giroscópio em alta velocidade oferece resistência a qualquer força que tente mudar a direção do eixo de rotação.

Um rotor em alta velocidade é o coração de um giro básico (“A” da figura 12-55). Um anel de suporte com rolamentos, nos quais o rotor e um eixo podem girar, são acrescentados a unidade básica (“B” da figura 12-55); e um anel exterior com rolamentos montados a noventa graus, com os rolamentos do rotor foram acrescentados (“C” da figura 12-55). O anel interno, com seu rotor e eixo, podem girar através de trezentos e sessenta graus dentro do anel exterior.

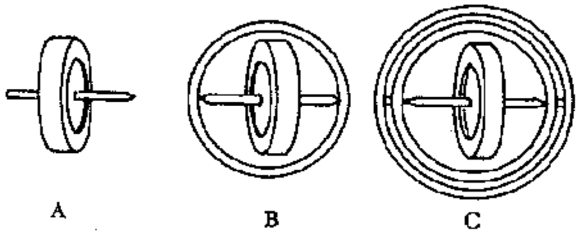


Figura 12-55 Giroscópio básico.

Um giroscópio em descanso é mostrado em seis diferentes posições (figura 12-56) para demonstrar que, a não ser que o rotor esteja girando em alta velocidade, um giroscópio não possui propriedades incomuns; é simplesmente uma roda montada sobre diversos eixos.

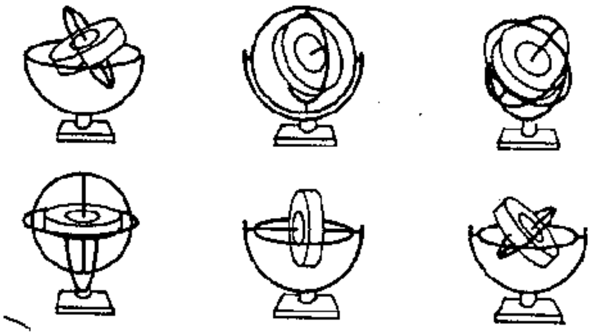


Figura 12-56 Um giro em repouso.

Quando o rotor está girando em alta velocidade, o giroscópio demonstra uma de suas duas características giroscópicas. Ele adquire um alto grau de rigidez, e seu eixo aponta sempre na mesma direção, não importando para qual direção sua base seja movida (figura 12-57).

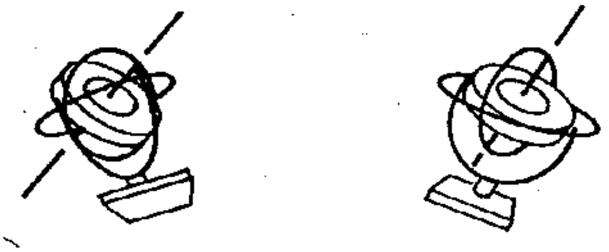


Figura 12-57 Rigidez giroscópica.

A rigidez giroscópica depende de diversos fatores de projeto:

1. ***Peso.*** Para um determinado tamanho uma massa pesada é mais resistente a atuação de forças externas que uma massa mais leve.
2. ***Velocidade angular***. Quanto maior a velocidade da rotação, maior rigidez ou resistência a deflexão.
3. ***Raio no qual o peso está concentrado***. O máximo efeito é obtido de uma massa quando o seu peso principal está concentrado perto da borda rodando em alta velocidade.
4. ***Fricção do rolamento***. Qualquer fricção causa uma força de deflexão para um giro. A mínima fricção no rolamento mantém as forças de deflexão a um mínimo.

Uma segunda característica giroscópica é a precessão, que está ilustrada na figura 12-58 A; pela aplicação de uma força ou uma pressão a um giro sobre o seu eixo horizontal.

A força aplicada é resistida, e o giroscópio em vez de girar sobre seu eixo horizontal pressiona sobre seu eixo vertical na direção indicada pela letra "P". De uma maneira idêntica se aplicarmos pressão ao eixo vertical, o giro pressiona sobre seu eixo horizontal na direção mostrada pela flecha "P", na figura 12-58 "B".

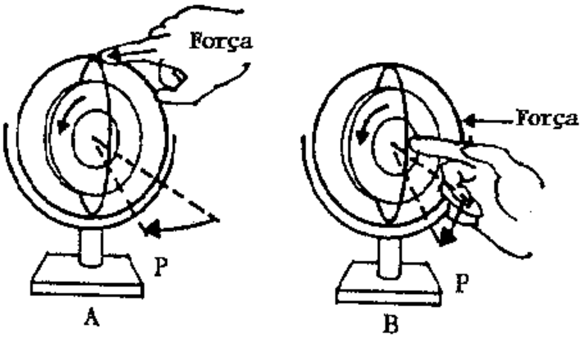


Figura 12-58 Precessão giroscópica.

Dois tipos de montagens são usados, dependendo como as propriedades giroscópicas devem ser usadas na operação de um instrumento. Um giro montado livremente ou universalmente é montado em três anéis com liberdade para girar em qualquer plano. Não obstante da posição da base do giroscópio, o giroscópio tem a tendência de permanecer rígido no espaço.

No indicador de atitude de um avião a barra horizontal é controlada giroscopicamente para permanecer paralela ao horizonte natural e as mudanças de posição do avião em vôo são mostradas ilustradamente no indicador do instrumento.

A montagem semi -rígida, ou restrita do giroscópio, emprega dois anéis limitando a rotação do rotor em dois planos somente.

No indicador de curvas (turn and bank), a montagem semi-rígida fornece uma pressão controlada do rotor, e a força de precessão detectada no giro pela curva do avião causa à agulha indicadora uma curva em vôo.

FONTES DE FORÇA PARA OPERAÇÃO DE GIROSCÓPIO

Os instrumentos giroscópicos podem ser operados por um sistema de vácuo ou por um sistema elétrico. Em algumas aeronaves, todos os giroscópicos são acionados ou por vácuo ou eletricamente; em outros, sistemas de vácuo (sucção) fornecem energia para os indicadores de atitude e direção, enquanto o sistema elétrico move o giroscópio para operação do ponteiro do indicador de curvas. Qualquer uma das correntes de força, a alternada ou a corrente contínua, é usada para mover os instrumentos giroscópicos.

Sistema de vácuo

O sistema de vácuo provoca a rotação do giro succionando uma corrente de ar contra as palhetas do rotor para gira-lo em alta velocidade, como opera uma roda de água ou uma turbina.

O ar, sob pressão atmosférica passa por um filtro, move as palhetas do rotor, e é extraído da caixa do instrumento através de uma linha, para a fonte de vácuo, e daí soprado para a atmosfera. Uma bomba de vácuo ou um venturi podem ser usados para fornecer o vácuo, requerido para girar os rotores dos giro-instrumentos. O valor do vácuo necessário para operação de instrumentos está usualmente entre três e meia polegadas, e quatro e meia polegadas, de mercúrio e é usualmente ajustado por uma válvula de alívio de vácuo, localizada na linha de suprimento.

Os indicadores de curvas usados em algumas instalações exigem valor menor de sucção. Isto é obtido usando-se uma válvula reguladora adicional na linha de suprimento do instrumento em particular.

Sistema do tubo de venturi

As vantagens do venturi como uma fonte de sucção são o seu custo relativamente baixo e a simplicidade de instalação e operação. Um avião leve, monomotor, pode ser equipado por um venturi de duas polegadas (2 in.hg de capacidade de sucção) para operar o indicador de curva.

Com um sistema adicional de 8 polegadas, existe força disponível para mover os indicadores de atitude e direção. Um sistema de venturi é mostrado na figura 12-59. A linha que sai do giroscópio (figura 12-59) está conectada no tubo de venturi montada no exterior da fuselagem do avião. Através da velocidade aerodinâmica normal de operação, a velocidade do ar pelo venturi cria sucção suficiente para causar a rotação do giroscópio.

As limitações do sistema venturi são evidentes na ilustração da figura 12-59. O venturi é projetado para produzir o vácuo desejado a aproximadamente 100 m.p.h, sob condições padrão ao nível do mar.

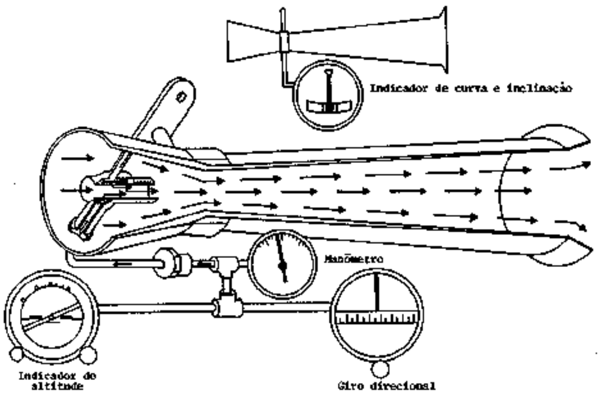


Figura 12-59 Sistema de vácuo com venturi.

Amplas variações na velocidade ou na densidade do ar, ou restrições ao fluxo de ar pela criação de gelo no tubo de venturi afetarão a garganta do venturi e, portanto afetando o giroscópio acionado pelo vácuo ali produzido.

Como um rotor só atinge a velocidade normal de operação após a decolagem, as checagens operacionais de pré-vôo dos instrumentos acionados pelo venturi, não podem ser executadas.

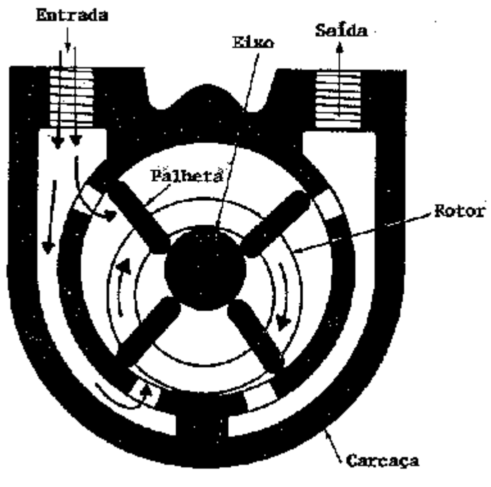


Figura 12-60 Vista em corte de uma bomba de vácuo, do tipo palheta, girada pelo motor.

Por esta razão o sistema é adequado somente para aviões leves de treinamento por instrumentos e vôos limitados sobre determinadas condições meteorológicas.

Aviões que voam a grandes variáveis de velocidade, altitude e condições meteorológicas mais adversas, exigem uma fonte mais eficiente de força independente da velocidade aerodinâmica e menos sensível a condições aerodinâmicas adversas.

Bomba de vácuo movida pelo motor

A bomba de vácuo de palheta acionada pelo motor é a fonte mais comum de sucção para giros instalados em aviões leves da aviação geral.

Um tipo de bomba de palheta é montado no eixo de acessórios do motor e está conectado ao sistema de lubrificação de forma que a bomba seja resfriada e lubrificada. Outro sistema comumente usado é a bomba de sucção seca também acionada pelo motor.

A bomba opera sem lubrificação e a instalação não exige linhas para o suprimento normal de óleo do motor e não há necessidade de separador de ar com o óleo ou válvulas. De um modo geral, os sistemas de bomba lubrificada por óleo, são semelhantes.

A principal desvantagem do sistema de vácuo com bomba de sucção movida pelo motor do avião refere-se a indicações imprecisas em vôos a grandes altitudes.

Fora a manutenção de rotina dos filtros e as tubulações que não existem nos sistemas giro elétricos, a bomba de sucção movida pelo motor é uma fonte tão efetiva para os aviões leves quanto o sistema elétrico de sucção.

Sistema típico de sucção produzida por bomba

A figura 12-61 mostra os componentes do sistema de vácuo com uma bomba de capacidade de 10"hg, em motores com rotação acima de 1.000 rpm.

A capacidade da bomba e o seu tamanho variam em diferentes aeronaves, dependendo do numero de giroscópios operados.

Separador de ar e óleo - O óleo e o ar da bomba de vácuo são eliminados através do separador, o ar é soprado para fora, e o óleo retorna para o interior do motor.

Válvula de alívio de sucção - Como a capacidade de sucção do sistema é maior que o necessário para operação dos instrumentos, a válvula reguladora de sucção é ajustada para a sucção desejada para acionar os instrumentos. A sucção em excesso nas linhas de instrumento é reduzida quando a válvula acionada por uma mola abre-se e coloca o instrumento em contato com a pressão atmosférica (figura 12-62.

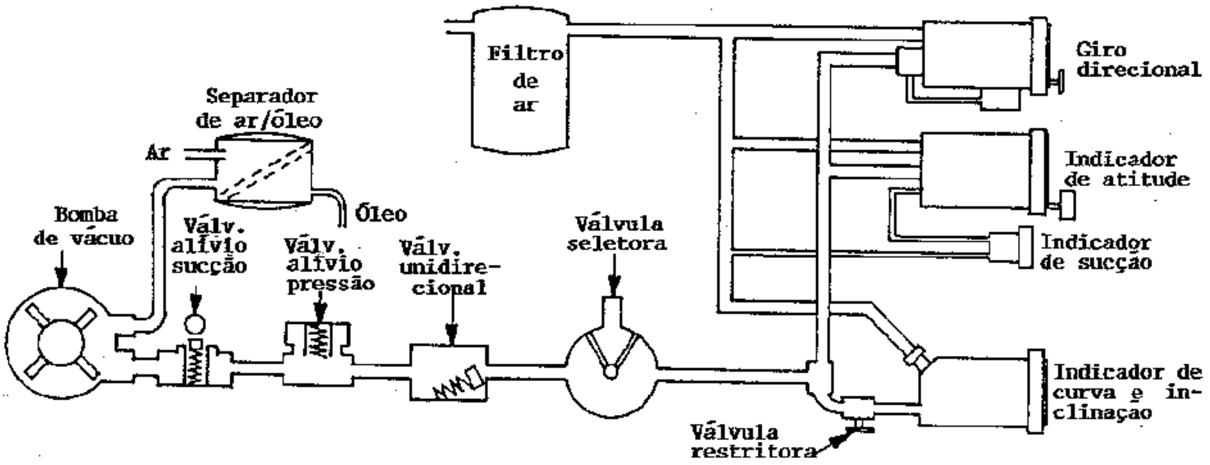

Filtro de ar
Giro direcional
Separador de ar/óleo
Ar
Indicador de atitude
Bomba de vácuo
Válv. alívio sucção
Óleo
Válv. alívio pressão
Válv. unidirecional
Válvula seletora
Indicador de sucção
Indicador de curva e inclinação
Válvula restritora

Figura 12-61 Típico sistema de vácuo com bomba movida pelo motor da aeronave.

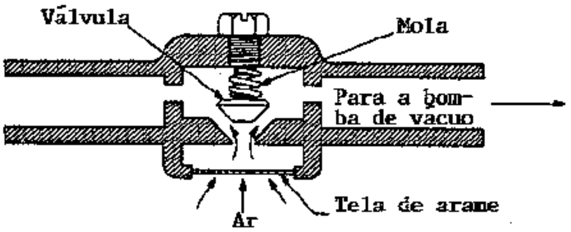

Válvula
Mola
Para a bomba de vacuo
Tela de arame
Ar

Figura 12-62 Válvula reguladora do vácuo.

Válvula de alívio de pressão - Como o fluxo reverso do ar proveniente da bomba de sucção fecharia a válvula reguladora e a válvula de alívio de pressão , a pressão resultante romperia as linhas. A válvula de alívio de pressão ventila a pressão positiva para a atmosfera exterior.
Válvula unidirecional - A válvula reguladora de uma direção única previne possíveis danos aos instrumentos pelo retrocesso do motor, que reverteria o fluxo de ar e óleo proveniente da bomba (ver figura 12-63).

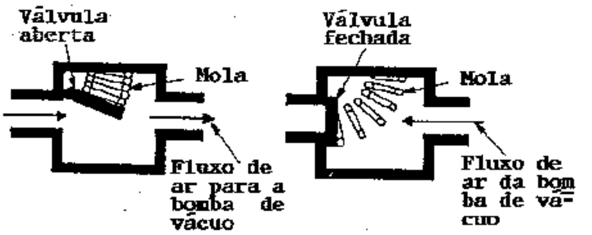

Válvula aberta
Mola
Fluxo de ar para a bomba de vácuo
Válvula fechada
Mola
Fluxo de ar da bomba de vácuo

Figura 12-63 Válvula undirecional.

Válvula seletora - Em aeronaves multimotoras equipadas com bombas de sucção acionadas por ambos os motores, a bomba alternada pode ser selecionada para fornecer sucção no caso de qualquer pane do motor ou pane da bomba, com uma válvula incorporada para fechar e isolar a bomba deficiente.

Válvula restritora - Como o instrumento que indica inclinação e curva, o “turn and bank” necessita e opera com menos sucção que a requerida para outros instrumentos girocópicos, o vácuo na linha principal deve ser reduzido. Esta válvula é ou uma agulha ajustada para reduzir a sucção da linha principal por aproximadamente a metade, ou uma válvula reguladora por uma mola que mantém uma sucção constante para o indicador de curva a não ser que a sucção na linha principal caia para um valor mínimo.

Filtro de ar - O filtro mestre de ar peneira objetos estranhos fluindo através de todos os instrumentos giroscópicos, que são também equipados com filtros individuais. Uma obstrução no filtro mestre reduz o fluxo de ar, e causa uma leitura menor no instrumento de leitura de sucção. Em aeronaves que não tem o filtro mestre instalado, cada instrumento tem seu filtro próprio. Com um sistema individual de filtro, uma obstrução não será necessariamente indicada no instrumento de sucção, no painel.

Indicador de sucção - O indicador de sucção é um instrumento que indica a diferença em polegadas de mercúrio entre a pressão dentro do sistema e a pressão atmosférica ou a pressão na cabine. A sucção desejada, e os limites mínimo e máximo, variam de acordo com o projeto do giroscópio.

Se a sucção necessária para os indicadores de atitude e direção é 5" e o mínimo é 4.6", uma leitura abaixo deste ultimo valor indica que o fluxo de ar não está mantendo os giroscópios em uma velocidade suficiente para operação confiável.

Em muitas aeronaves, o sistema é equipado com uma válvula seletora para o indicador de sucção, permitindo que o piloto verifique o vácuo em vários pontos no sistema.

Sucção

As pressões da sucção estudadas em conjunto com a operação dos sistemas de vácuo são realmente pressões negativas ou pressões menores (abaixo do nível do mar).

Por exemplo, se a pressão ao nível do mar é igual a 17.5 p.s.i. então uma polegada de mercúrio ou uma p.s.i. de sucção é igual a -1 p.s.i. de pressão negativa ou 16,5 de pressão positiva.

Da mesma forma, 3 polegadas de mercúrio são iguais a -3 p.s.i. de pressão negativa ou +14,5 de pressão positiva.

Quando a bomba de vácuo desenvolve uma sucção (pressão negativa), deve também criar uma pressão positiva.

Esta pressão (ar comprimido) é algumas vezes utilizada para operar instrumentos de pressão, câmaras degeladoras (boots) e selos infláveis.

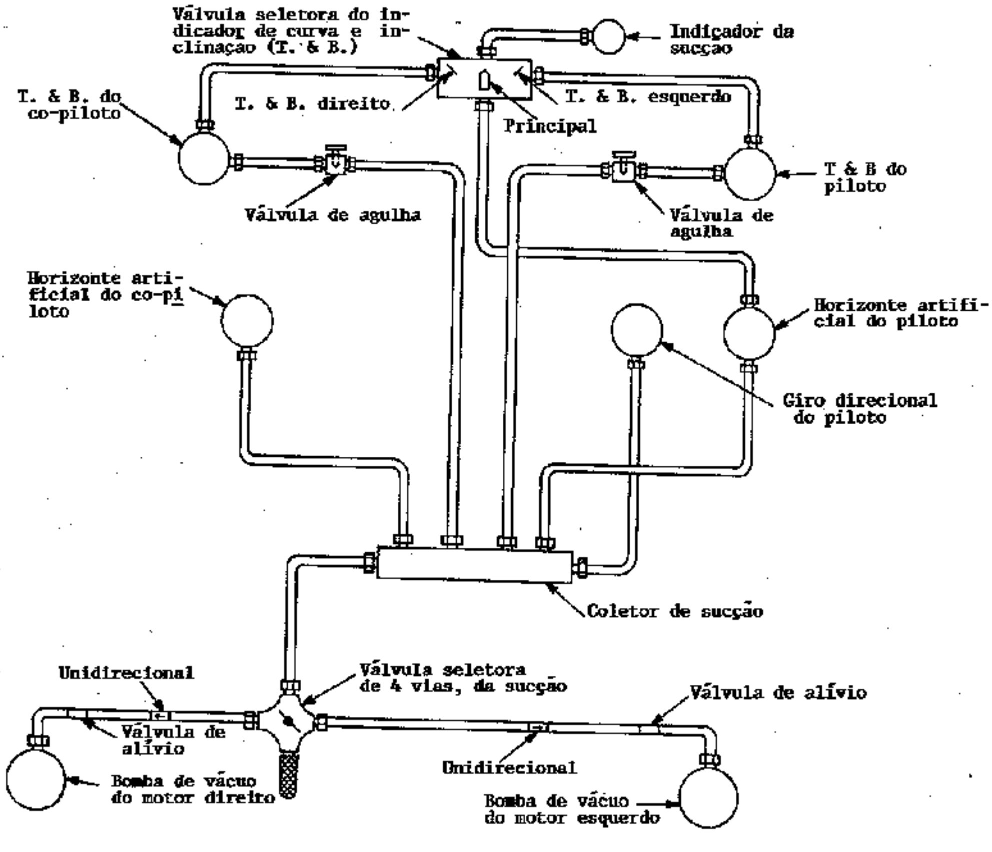

Válvula seletora do indicador de curva e inclinaçao (T. & B.)
Indiçador da sucçao
T. & B. do co-piloto
T. & B. direito
T. & B. esquerdo
Principal
T & B do piloto
Válvula de agulha
Válvula de agulha
Horizonte artificial do co-piloto
Horizonte artificial do piloto
Giro direcional do piloto
Coletor de sucção
Unidirecional
Válvula seletora de 4 vias, da sucção
Válvula de alívio
Válvula de alívio
Bomba de vácuo do motor direito
Unidirecional
Bomba de vácuo do motor esquerdo

Figura 12-64 Sistema de vácuo de uma aeronave multi-motora.

Operação de um sistema típico

O esquema de um sistema de sucção típico para um avião multi-motor é mostrado na figura 12-64. Este sistema a vácuo é composto dos seguintes componentes: 2 bombas de sucção, 2 válvulas de alívio de sucção, 2 válvulas reguladoras tipo “flapper”, uma válvula restritora para cada indicador de curva, uma válvula seletora de 4 posições, um sistema de tubulações por onde flui a sucção, e uma válvula seletora do indicador de curva.

As bombas de sucção movidas pelo motor esquerdo e direito, e suas linhas componentes, são independentes e isoladas umas das outras, e atuam como 2 sistemas independentes de sucção. As linhas de sucção são instaladas desde cada bomba de sucção, são instalados através de uma válvula de alívio e de uma unidirecional para a seletora de quatro posições.

Da válvula seletora de quatro posições que permite operação do sistema de vácuo do motor esquerdo ou do motor direito, as linhas são dirigidas através de tubulações que consitem em tubos flexíveis, que conectam os instrumentos operados a vácuo ao sistema. Do instrumento, as linhas são orientadas até o instrumento de sucção e passam por uma válvula seletora do indicador de curva *(Turn and bank)*. Esta válvula tem três posições: principal, "T & B" esquerdo e "T & B" direito. Na posição principal o indicador de sucção mostra as linhas do horizonte artificial e giro direcional. Nas outras posições, o menor valor de sucção para o indicador de curva (Turn and *bank)* pode ser verificado.

GIROSCÓPIOS DE ATITUDE ACIONADOS POR SUCÇÃO

Em um sistema típico de giroscópios de atitude acionados por sucção, o ar é succionado através do filtro, e então através de passagens no eixo traseiro e no anel interno do giroscópio, depois é direcionado para dentro do alojamento onde é dirigido contra as palhetas do rotor através de dois orifícios em lados opostos.

O ar, então, passa através de quatro orifícios igualmente localizados e distanciados na parte inferior da caixa do rotor e é succionado pela bomba de sucção ou venturi (figura 12-65).

Na câmara contendo os orifícios é o mecanismo que faz com que o dispositivo de rotação retorne ao seu alinhamento vertical sempre que uma força de precessão, tal como uma fricção do rolamento, mude o rotor desde o seu plano horizontal. Quatro orifícios de escapamento são cobertos até a metade por uma palheta pendular, que permite a descarga de volumes de ar iguais através de cada orifício, quando o rotor está adequadamente ereto

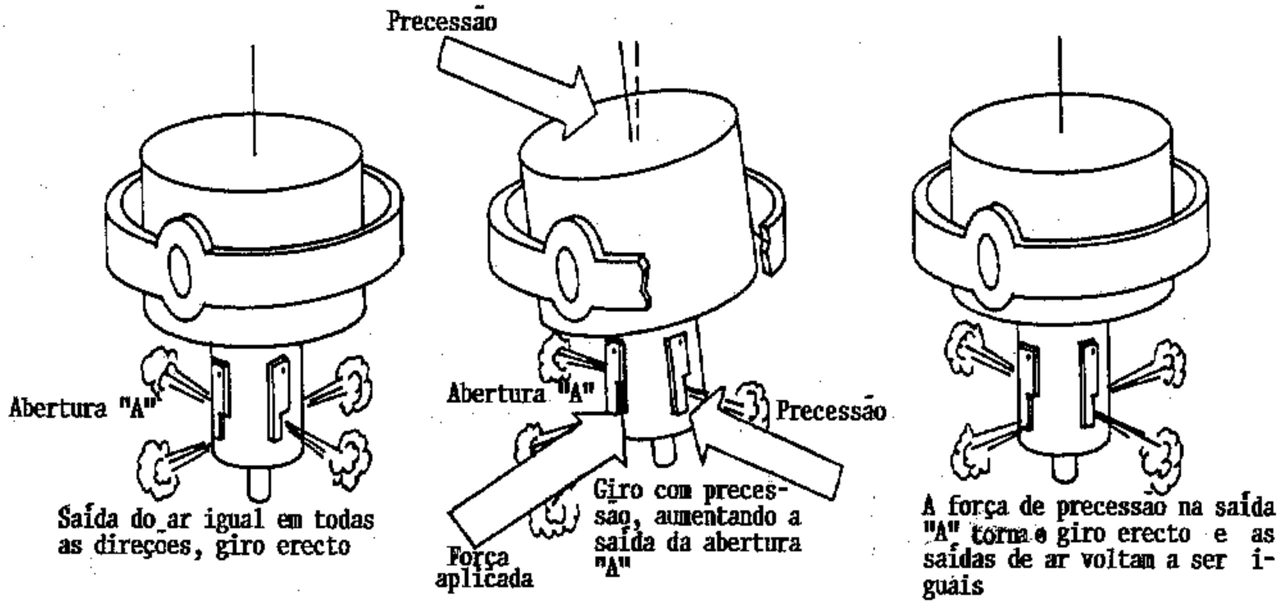

Precessão
Abertura "A"
Saída do ar igual em todas as direções, giro erecto
Abertura "A"
Precessão
Giro com precessão, aumentando a saída da abertura "A"
Força aplicada
A força de precessão na saída "A" torna o giro erecto e as saídas de ar voltam a ser iguais

Figura 12-65 Mecanismo de ereção de um indicador de atitude à vácuo.

Qualquer inclinação do rotor afeta o equilíbrio total das palhetas pendulares fazendo com que uma palheta feche do par do lado oposto, enquanto a palheta oposta se abre na proporção correspondente.

O aumento do volume de ar através do orifício aberto exerce uma força de precessão no alojamento do rotor, provocando a ereção do giroscópio; e a palheta pendular retorna a uma condição de equilíbrio (figura 12-66).

Os limites do indicador de atitude especificados nas instruções dos fabricantes indicam a máxima rotação dos anéis alem das quais o giro entrará em colapso.

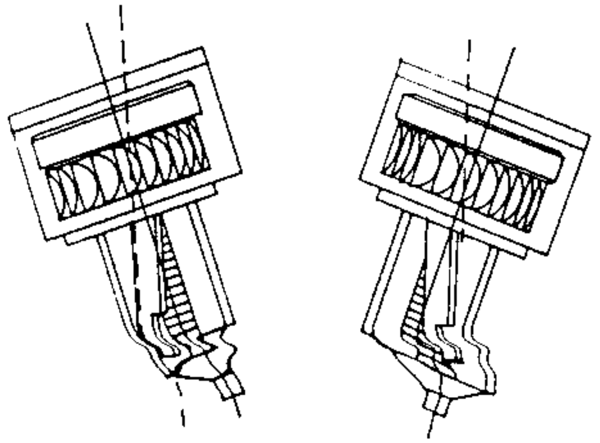


Figura 12-66 Ação das palhetas pendulares

Os limites do indicador de curvas movido por um sistema típico a vácuo são de aproximadamente 100 a 110 graus, e os limites de inclinação do nariz do avião variam aproximadamente 60 a 70 graus para cima ou para baixo, dependendo de uma unidade específica. Se, por exemplo, os limites de cabragem são 60 graus com o giro normalmente ereto, o giro entrará em colapso quando o avião mergulhar em ângulos além de sessenta graus.

Quando os anéis do rotor atingem os batentes, o rotor entra em precessão abruptamente, causando excessiva fricção e desgaste no mecanismo. O rotor normalmente precessará ao plano horizontal, em uma razão de aproximadamente 8 graus por minuto.

Muitos giroscópios são equipados com um dispositivo auxiliar chamado "*cage*", usado para colocar o rotor instantaneamente na sua posição de operação normal antes do vôo ou após o seu colapso.

O acionamento do botão "cage" evita a rotação dos anéis dentro do giroscópio, e trava o eixo de rotação do rotor na sua posição vertical.

GIROCÓPIOS OPERADOS POR PRESSÃO

A disponibilidade de bombas de pressão, na qual nenhuma lubrificação seja necessária, faz com que os sistemas de giros operados por pressão seja possível.] Em tais instalações, o ar é comprimido sob pressão através de instrumentos giroscópicos, em vez de serem sugados através do sistema.

Bombas de pressão positiva são mais eficientes que bombas a vácuo, especialmente nas grandes altitudes.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA DE SUCÇÃO

Erros nas apresentações no indicador de atitude são oriundos de qualquer fator que impeça a operação do sistema de sucção dentro dos limites projetados, ou de qualquer força que impeça a rotação normal do giroscópio na velocidade projetada.

Estes fatores podem incluir equipamentos mal balanceados, filtros obstruídos, válvulas inadequadamente ajustadas e mau funcionamento das bombas.

Tais erros podem ser minimizados pela instalação apropriada, por inspeção, e praticas de manutenção adequadas.

Outros erros, inerentes a construção dos instrumentos, são causados por fricção e partes desgastadas. Esses erros, resultando em precessão errada e falha do instrumento para manter indicações precisas, aumentam com o tempo de serviço do instrumento.

Para o mecânico, de aviação a prevenção ou correção de defeitos do sistema de sucção usualmente consistem em limpeza ou substituição dos filtros, verificando e corrigindo a insuficiência de sucção ou removendo e substituindo os instrumentos. Uma lista das falhas mais comuns, junto com seu procedimento para correção, está na figura 12-67.

Causa provável	**Pesquisa**	**Correção**
	(1) Sucção inoperante ou deficiente:	
Defeito do indicador.	Em aeronave multimotora teste o indicador com o sistema do motor oposto	Substitua o instrumento defeituoso
Válvula de alívio da sucção com ajuste incorreto	Corrija o ajuste da válvula	Faça o ajuste para adequado valor
Válvula de alívio instalada inversamente	Inspecione visualmente	Instale corretamente
Linha quebrada	Inspecione visualmente	Substitua a linha
Linhas cruzadas	Inspecione visualmente corretamente	Instale as linhas
Obstrução nas linhas de vácuo	Teste quanto a obstrução	Limpe e teste as linhas substitua as peças com defeito
Falha da bomba de vácuo	Remova e inspecione	Troque a bomba com defeito
Válvula reguladora incorretamente ajustada	Faça o reajuste da válvula e verifique o resultado	Ajuste para o adequado valor
Válvula de alívio da sucção,suja	Limpe e ajuste a válvula	Se não conseguir o reajuste, substitua a válvula
	(2) Sucção excessiva:	
Válvula de alívio com ajuste incorreto	------------------	Ajuste a válvula de alívio para a regulagem correta

Indicador de vácuo inexato	Teste a calibração do indicador	Substitua o indicador com defeito
(3) Barra do horizonte artificial não atua corretamente:		
Instrumento travado	Inspecione visualmente	Destrave o instrumento
Filtro do instrumento sujo	Teste o filtro	Substitua ou limpe como necessário
Insuficiência de vácuo	Teste de regulagem	Ajuste a válvula de alívio corretamente
(4) Indicador de curva e inclinação, com atuação deficiente		
Conjunto do instrumento gasto ou sujo	-----------------------	Substitua o instrumento
Instrumento sem suprimento de vácuo	Teste as linhas e o sistema de vácuo	Limpe ou substitua as linhas e componentes como necessário
Instrumento defeituoso	Teste o instrumento quanto ao funcionamento apropriado	Substitua o instrumento com defeito
(5) Ponteiro do indicador de curva e inclinação, com vibração:		
Instrumento com defeito	Teste o instrumento quanto ao funcionamento apropriado	Substitua o instrumento com defeito

Figura 12-67 Pesquisa de panes do sistema de vácuo.

INDICADORES ELÉTRICOS DE ATITUDE

No passado, os giroscópios acionados por sucção levavam vantagem sobre os tipos elétricos nos aviões mais leves por causa de sua simplicidade e custo menor em comparação aos outros. Entretanto, a importância crescente do indicador de atitude estimulou o desenvolvimento de giros acionados eletricamente, e compatíveis com os aviões mais leves. Os melhoramentos relativos a fatores de projeto, leitura mais fácil, característica de ereção, redução de erros induzidos e limitações do instrumento são considerados nos vários tipos que estão disponíveis no mercado.

Dependendo das melhorias em um projeto, em particular, os detalhes para o mostrador do instrumento e os controles na cabine variam de diferentes formas em diferentes instrumentos. Todos indicam, em um grau variado, as informações em cabragem para referencia em atitude do avião.

O indicador típico de atitude ou giro horizonte, como às vezes é conhecido, tem um giro que procura a posição vertical e o eixo de rotação com tendência a apontar ao centro da terra.

O giro está ligado a uma barra horizontal e estabiliza uma esfera onde encontram-se marcas de atitude.

A esfera, a barra horizontal e um ponteiro de referência, movem-se com mudanças na atitude da aeronave.

Leituras combinadas nestas indicações do instrumento fornecem uma apresentação contínua e ilustrada da posição do avião, inclinação e cabragem em relação a superfície da terra.

Um motor giroscópico é movido por corrente alternada, de 115 volts e 400 ciclos. O giro com uma rotação de 21.000 rpm é mantido por um eixo e anéis de montagem (ginbals), ligado ao eixo do rotor. Esta é a barra do horizonte, que se move para cima e para baixo em um arco de aproximadamente 27 graus de movimento. A esfera fornece um pano de fundo para a barra do horizonte, e tem as palavras subir e descer (climb, dive) e um olho pintado sobre a esfera. Subir e descer representa cerca de 60 graus de cabragem.

Ligado ao eixo do mecanismo de cabragem está o indicador de curva que é livre para movimentar-se em 360 graus.

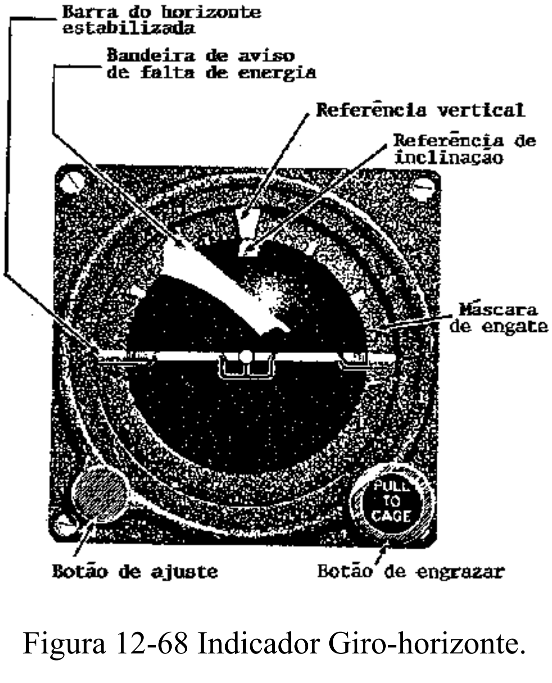


Figura 12-68 Indicador Giro-horizonte.

A face do mostrador do indicador de atitude tem marcas de 0, 10, 20, 30, 40 e 60 graus de inclinação e são usadas com um ponteiro indicador de curva, para indicar os ângulos de inclinação para a esquerda ou para a direita. A face de um tipo de giro-horizonte é mostrada na figura 12-68.

A função do mecanismo de ereção é manter o eixo do giroscópio verticalmente a superfície da terra.

Um imã ligado ao topo do eixo do giroscópio gira a aproximadamente 21.000 rpm. Em volta deste imã, mas não afixado, há uma luva que gira por tração magnética a aproximadamente 44 até 48 rpm. Conforme ilustra a figura 12-69, as esferas de aço estão livres para moverse ao redor da luva.

Se o efeito da força de gravidade não estiver alinhado com o eixo do giro, as esferas de aço cairão para o lado mais baixo. A precessão resultante realinha o eixo de rotação verticalmente.

O giro pode ser calibrado manualmente por um mecanismo que provoca a rápida ereção. Quando o instrumento não está obtendo força suficiente para a operação normal, uma bandeira (“OFF”) de instrumento inoperante, aparece na parte superior direita do instrumento.

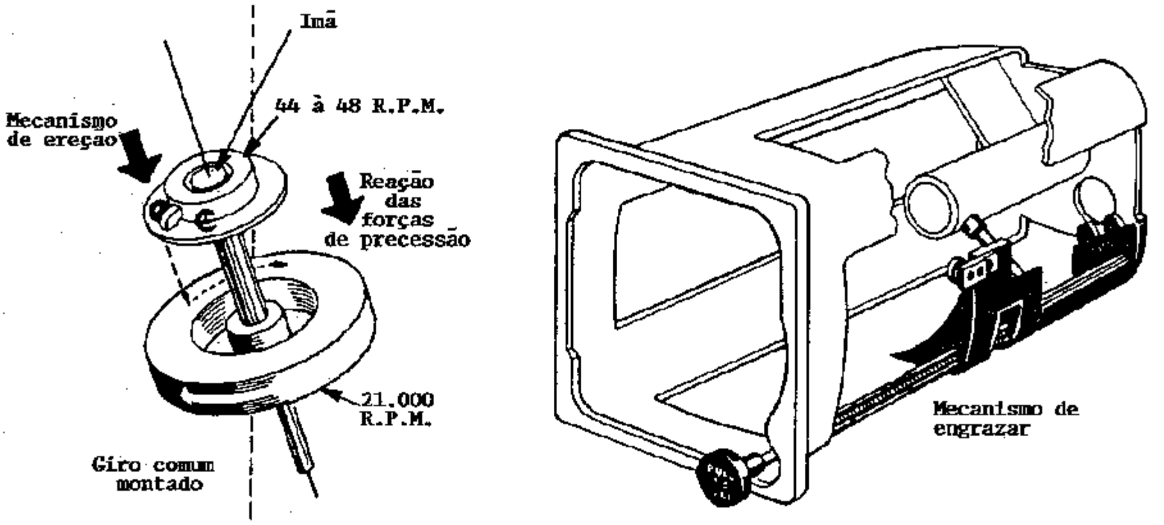


Figura 12-69 Mecanismo da ereção e de engrazamento de um indicador de atitude, elétrico.

Compasso magnético (Bússola)

O compasso magnético (bússola) é um instrumento simples que opera no princípio da atração magnética.

Se uma barra imantada é montada em um eixo para que esteja livre para girar num plano horizontal, sempre assumirá uma posição com uma de suas extremidades apontando para o pólo norte magnético da terra. Esta extremidade do imã é chamada de extremidade norte.

O compasso magnético consiste de uma caixa cheia de líquido, contendo um elemento que flutua, no qual uma ou mais barras magnéticas, chamadas agulhas, estão presas. O líquido dentro da caixa amortece as oscilações do elemento flutuador e diminui a fricção do eixo.

Um diafragma e um respiro permitem a expansão e contração do líquido, enquanto a altitude ou a temperatura muda.

Se mais do que um imã é usado num compasso, eles são montados em paralelo, como duas varas apontando para a mesma direção. O elemento nos quais os imãs estão montados, está construído de tal forma, que os imãs estão livres para se alinhar com a direção geral norte e sul magnética da terra.

Um cartão no compasso usualmente graduado em incrementos de 5 graus é ligado ao elemento flutuador. Uma marca fixa de referência chamada limbo é ligada a caixa do compasso.

A linha limbo e as graduações do cartão são visíveis através de uma janela de vidro. A proa magnética do avião em vôo é obtida verificando-se a graduação na qual a linha limbo se encontra. As duas vistas de um compasso magnético na figura 12-70, mostram a face e os componentes internos de um compasso magnético.

Um dispositivo de compensação contendo pequenos imãs permanentes é incorporado no compasso para corrigir desvios, que resultam das influências magnéticas da estrutura do avião e seu sistema elétrico. Dois parafusos na frente do instrumento são usados para movimentar os imãs, e desta forma contrabalançar as influências magnéticas locais que estão agindo nos imãs principais do compasso. Os dois parafusos são indicados N-S e E-W.

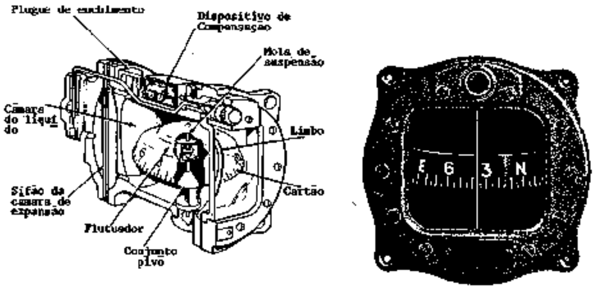


Figura 12-70 Compasso magnético (Bússola).

A variação magnética é a diferença angular em graus entre o pólo norte geográfico, e o pólo norte magnético. Esta variação é causada pelo campo magnético da terra que está constantemente mudando.

Como esta variação é diferente, dependendo da localização geográfica, o seu efeito no compasso não pode ser removido por qualquer tipo de compensação.

Esta variação é chamada de variação oeste, quando o campo magnético da terra desvia a agulha do compasso para a esquerda da direção do pólo norte geográfico; e chama-se declinação leste, quando a agulha é desviada para a direita do pólo norte geográfico.

A agulha do compasso não é afetada somente pelo campo magnético da terra, mas também pelos campos magnéticos criados quando o equipamento elétrico da aeronave é operado, e por componentes metálicos na estrutura.

Esses distúrbios magnéticos dentro do avião chamados desvios, defletem a agulha do compasso do alinhamento com o norte magnético.

Para reduzir este desvio, cada compasso em um avião é checado e compensado periodicamente, ajustando-se os imãs do sentido N-S e do E-W.

Os erros remanescentes, após os ajustes do compasso, são registrados num cartão de correção do compasso, montado próximo ao instrumento.

A calibração de um compasso pode ser realizada em vôo ou no solo. A calibração de um compasso feita no solo é usualmente feita com a aeronave sobre uma" rosa dos ventos". Uma rosa dos ventos (figura 12-71) é um símbolo pintado ou marcado sobre uma superfície plana no aeroporto, e graduado em graus.

As direções na rosa dos ventos são direções magnéticas, embora o norte verdadeiro seja indicado em alguma rosa dos ventos. O procedimento de compensação de um compasso depende do tipo da aeronave. A necessidade de calibração, e as suspeitas de mal funcionamento do compasso, são geralmente registrados no livro de bordo, ou efetuados em períodos programados no calendário.

A maioria das oficinas realizam checagens no compasso, a qualquer tempo que haja substituição, modificação ou colocação de equipamento ou equipamentos que possam causar desvio no compasso.

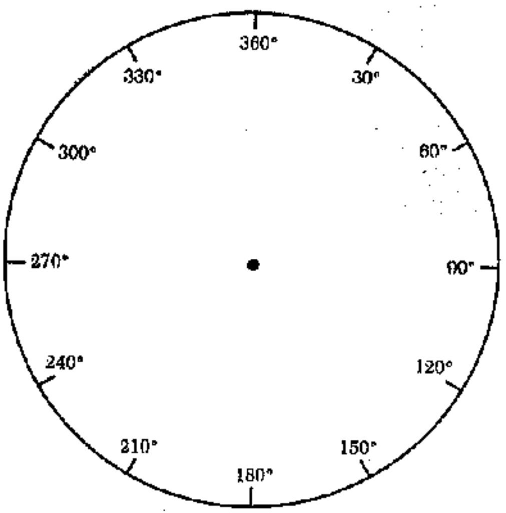


Figura 12-71 Rosa dos ventos típica.

Um exemplo de compensação de um compasso é descrito nos parágrafos seguintes. Estes procedimentos são gerais, e não tem aplicação específica:

1. O compensador deve ser colocado em uma posição que não tenha efeito nos imãs principais do compasso.
2. O avião é colocado diretamente na direção sul magnética da rosa dos ventos. A cauda da aeronave deverá ser elevada, no caso de avião convencional, para a posição de vôo nivelado.

3. Note-se a leitura do compasso, e registra-se esta leitura. O desvio é a diferença algébrica entre o rumo magnético e a leitura do compasso.

Exemplo: na proa sul (180 graus), a leitura é 175,5 graus. Isso deverá ser registrado como um desvio de + 4,5 graus (180 graus - 175,5 graus = 4,5 graus). Se a leitura do compasso é muito baixa, o desvio é maior; se a leitura é muito alta, o desvio é menor.

4. Alinha-se aeronave numa proa norte magnética.Registra-se a leitura do compasso computando o desvio.

   Exemplo: na proa norte (000 grau) o compasso indica 006,5 graus. Como este desvio é 6,5 graus muito alto, é registrado como um sinal de menos (-6,5º).

5. O coeficiente de desvio norte/sul é determinado subtraindo-se algebricamente o desvio sul do desvio norte, e dividindo-se o saldo por 2.

$$\text{coeficiente} = \frac{(-6{,}5^{\circ}) - (4{,}5^{\circ})}{2} = \frac{-11^{\circ}}{2} = -5{,}5^{\circ}$$

O coeficiente de desvio norte-sul, que é a media do desvio nos dois rumos é de -5,5º O compensador é ajustado neste valor e a leitura do rumo norte agora será 001 grau. Este ajuste também corrige o desvio sul pelo mesmo valor, de forma que numa proa sul, o compasso agora indicará 181 graus.

6. Alinha-se a aeronave numa proa oeste magnética (270 graus) sobre a rosa dos ventos. Registra-se a leitura do compasso, calculando o desvio.

Suponha-se que o compasso indique 276 graus, um desvio de -6 graus.

7. Alinha-se o avião numa linha leste magnética (090 graus de proa). Registra-se a leitura do compasso, calculando o desvio. Suponha-se que a leitura do compasso seja exatamente 90º na proa leste magnética um desvio 0º.

8. Calcula-se o coeficiente de desvio leste-oeste;

$$\text{coeficiente} = \frac{0^{\circ} - (-6^{\circ})}{2} = \frac{+6^{o}}{2} = +3^{o}$$

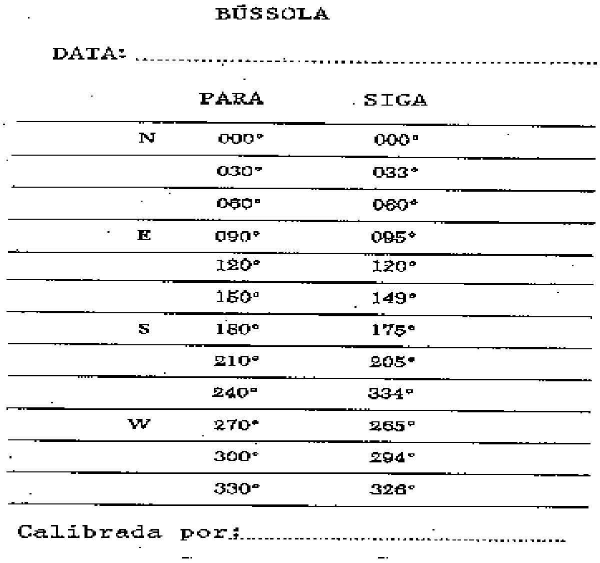
9. Enquanto a aeronave estiver na proa leste ajusta-se o compensador leste-oeste para adicionar 3º a leitura do compasso.

10. Esta leitura, então, torna-se 93º na proa leste e 273º no rumo oeste.

11. Deixando a aeronave no rumo leste magnético, calcula-se o coeficiente de desvio total. Este coeficiente é igual a soma algébrica dos desvios do compasso por todos os quatro pontos cardeais (norte, leste, sul e oeste) dividido por 4.
    Se o coeficiente for maior que 1 grau, a compensação adicional é comumente realizada. A compensação não é feita com o dispositivo de compensação magnética. Isto é conseguido alinhando-se novamente o compasso de forma que ele seja montado numa posição paralela ao eixo longitudinal da aeronave.

12. Após a compensação inicial ser completada, a aeronave será compensada novamente nos rumos de 30, 60, 120, 150, 210, 240, 300 e 330 graus. As leituras do compasso para cada rumo são registradas num cartão de correção do compasso. Este cartão é então montado tão próximo quanto possível do instrumento, para a leitura de referencia. Um exemplo de um cartão de correção de um compasso é mostrado na figura 12-72.

O procedimento descrito é básico para compensação. Circuitos adicionais ao redor da rosa dos ventos devem ser feitos com os motores, os equipamentos elétricos e radio operando, para verificar a exatidão das compensações básicas.



BŪSSOLA

DATA: ....

	PARA	SIGA
N	000°	000°
	030°	033°
	060°	060°
E	090°	095°
	120°	120°
	150°	149°
S	180°	175°
	210°	205°
	240°	334°
W	270°	265°
	300°	294°
	330°	326°

Calibrada por:..

Figura 12-72 Cartão de correção da bússola.

Macacos, guinchos, elevadores, ou quaisquer dispositivos necessários para movimentar e alinhar a aeronave nos vários rumos de uma rosa dos ventos, deveriam ser preferivelmente construídos de material não magnético.

Quando isto se tornar impossível, os dispositivos podem ser checados quanto a seus efeitos no compasso, movimentando-os ao redor da aeronave num círculo, na mesma distância que os separaria do compasso quando eles estiverem sendo usados.

O equipamento que causar uma mudança nas leituras do compasso de mais de 1 quarto de grau, não deverá ser usado. Adicionalmente, caminhões de combustível e tratores de reboque, ou outros aviões contendo metais magnéticos, não deverão estar estacionados numa distância da rosa dos ventos, que possa afetar o compasso do avião sendo calibrado. O compasso magnético é um instrumento simples que não necessita de um recurso de uma fonte de energia.

Um mínimo de manuntenção é necessário, mas o instrumento é delicado e deve ser cuidadosamente manuseado durante a inspeção. Os itens seguintes são usualmente incluídos em uma inspeção:

1. O indicador compasso deve ser checado para leituras corretas nos vários pontos cardeais, e novamente compensado, se necessário.
2. As partes moveis de um compasso devem mover-se facilmente.
3. O conjunto do compasso deve ser corretamente instalado num dispositivo antivibração, e não deve tocar qualquer parte de metal do avião.
4. O estojo do compasso deve estar sempre cheio com fluido. Este fluído não deve conter quaisquer bolhas e nem descoloração.
5. A escala deve ser legível e ter uma boa iluminação.

SISTEMA DE PILOTO AUTOMÁTICO

O sistema de piloto automático é um sistema de controle automático, que matém a aeronave voando em qualquer rumo magnético previamente selecionado, e faz com que o avião retorne àquele rumo quando for deslocado. O piloto automático também mantém o avião estabilizado sobre os eixos horizontal e lateral. A finalidade de um sistema de piloto automático é primariamente reduzir o trabalho, o esforço e fadiga no controle do avião, durante vôos muito longos.

` Para realizar isto, o sistema de piloto automático realiza diversas funções. Ele permite ao piloto manobrar o avião com o mínimo de operações manuais.

Enquanto sob o controle automático, o avião pode subir, descer e mergulhar, além de fazer curvas com pequenos movimentos de botões no controlador do piloto automático.

Os sistemas de piloto automático fornecem controles para 1, 2 ou 3 eixos dos aviões, conforme o tipo do sistema.

Alguns sistemas de piloto automático controlam somente os ailerons (um eixo), outros controlam os ailerons e profundores ou lemes (dois eixos). O sistema de piloto automático de três eixos controla ailerons, profundores e leme de direção.

Todos os sistemas de piloto automático contêm os mesmos componentes básicos:

1. Giros, para sentir o que o avião está fazendo.
2. Servos, para movimentar as superfícies de controle.
3. Amplificador, para aumentar a força dos sinais de giro numa amplitude suficiente para operar os servos.

Um controlador também é necessário para permitir o controle manual do avião através do sistema.

Principio de operação

O sistema de piloto automático voa o avião, utilizando sinais elétricos gerados em unidades sensíveis a informações giroscópicas.

Essas unidades estão conectadas a instrumentos de vôo que indicam direção, razão de inclinação, curvas, ou posição do nariz. Se a atitude do vôo ou rumo magnético é alterado, sinais elétricos são gerados nos giros. Estes sinais são usados para controlar a operação das unidades servo, que convertem energia elétrica em movimento mecânico.

O servo é conectado a superfície de controle, que converte os sinais elétricos em força mecânica que move a superfície de controle em resposta ao sinal de correção ou comandos do piloto. Um sistema básico de piloto automático é mostrado na figura 12-73.

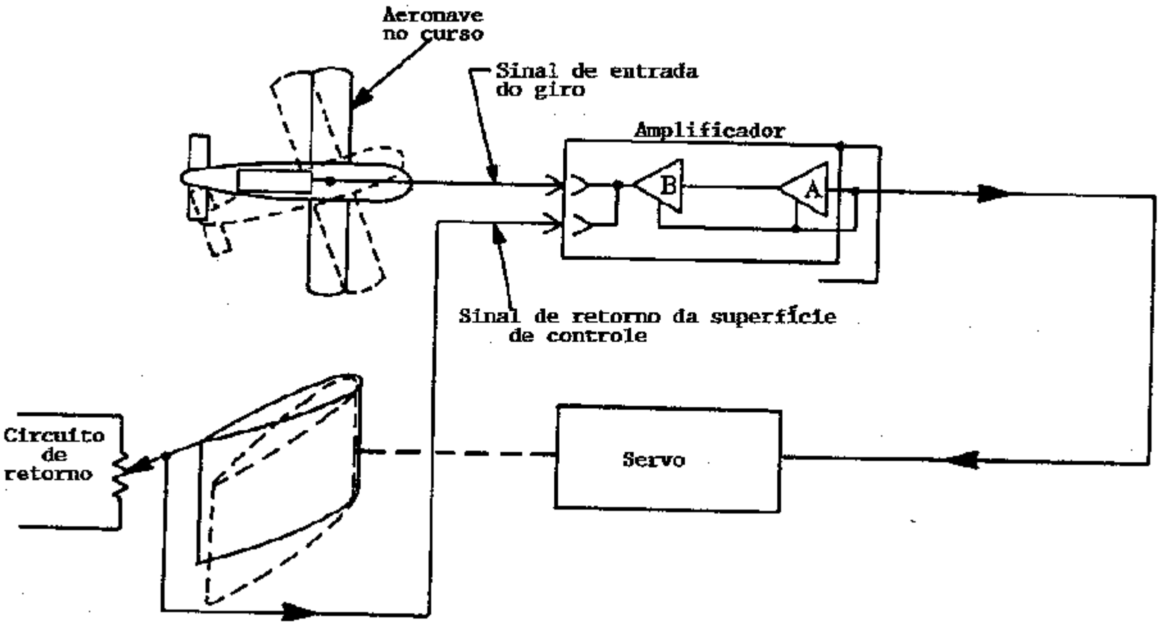


Figura 12-73 Sistema básico de piloto automático.

A maioria dos pilotos automáticos modernos podem ser descritos em termos dos seus três maiores canais:

1. O leme de direção.
2. O aileron.
3. Os canais dos profundores .

O canal do leme de direção recebe dois sinais que determinam quando e o quanto o leme de direção deverá mover-se.

O primeiro sinal é o sinal de direção, um sinal de curso, originado em um sistema de compasso.

Enquanto o avião permanece no rumo magnético em que estava, quando o piloto automático foi ligado, nenhum sinal aparecerá.

Entretanto, qualquer desvio do rumo faz com que o sistema compasso envie um sinal para um canal do leme de direção. Este sinal é proporcional ao desvio angular do avião, do rumo pré estabelecido.

O segundo sinal recebido do canal de leme de direção é o sinal de razão - é o canal que fornece informação sempre que o avião está cursando sobre o eixo vertical. Esta informação é fornecida pelo "turn - and - bank", que indica a razão de curva.

Quando o avião tenta sair do curso o giro de razão cria um sinal proporcional a razão de curva; e o giro de direção, giro direcional, desenvolve um giro proporcional a amplitude do desvio.

Os dois sinais são emitidos para o canal do leme de direção do amplificador, onde são combinados e têm sua potência aumentada. O sinal amplificado é então enviado ao servo do leme.

O servo gira o leme de dirão na apropriadamente para fazer com que o avião retorne ao curso magnético selecionado anteriormente. Assim que a superfície do leme de direção se move, um sinal de acompanhamento (follow up) é criado e se opõe ao sinal original. Quando os dois sinais são iguais em magnitude o servo pára de mover-se.

Assim que o avião estiver de volta ao curso desejado, o sinal de curso atingirá um valor zero, e o leme de direção voltará a posição neutra pelo sinal de acompanhamento (*follow up).*

O canal do aileron recebe seu sinal de informação de um transmissor localizado no indicador de giro horizonte.

Qualquer movimento do avião sobre seu eixo longitudinal causará a unidade sensível de giro, que desenvolva um sinal para corrigir aquele movimento.

Este sinal é amplificado, examinado e enviado ao servo dos ailerons, que move a superfície de comando dos ailerons para corrigir o erro. Assim que a superfície dos ailerons se move, um sinal de acompanhamento ocorre em oposição ao primeiro sinal de desvio.

Quando os dois sinais se eqüivalem em magnitude, o servo pára de mover-se.

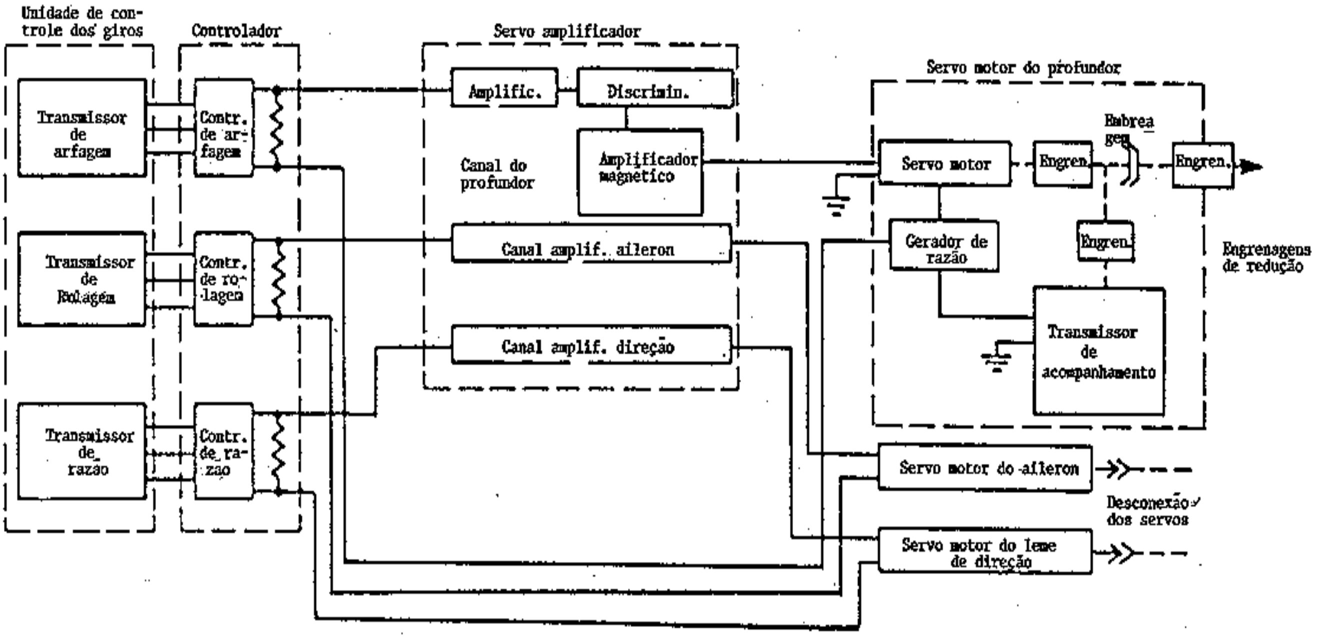

Unidade de controle dos giros
Controlador
Servo amplificador
Transmissor de arfagem
Contr. de arfagem
Amplific.
Discrimin.
Canal do profundor
Amplificador magnético
Servo motor do profundor
Embreagem
Servo motor
Engren.
Engren.
Gerador de razão
Engren.
Engrenagens de redução
Transmissor de rolagem
Contr. de rolagem
Canal amplif. aileron
Canal amplif. direção
Transmissor de acompanhamento
Transmissor de razão
Contr. de razão
Servo motor do aileron
Desconexão dos servos
Servo motor do leme de direção

Figura 12-74 Diagrama em bloco do piloto automático.

Assim que os ailerons são movidos fora de sua posição neutra, e enfrentam a posição do vento relativo, a aeronave voltará para sua posição de vôo nivelado, com o sinal de informação tornando-se menor; e o sinal de acompanhamento dirigindo as superfícies de comando do aileron de volta para a posição neutra

Quando o avião retornar ao nível de vôo, e atitude nivelada, o sinal de informação voltará a ter um valor zero. Ao mesmo tempo, as superfícies de comando dos ailerons estarão com posição neutra e o sinal de acompanhamento será zero.

Os circuitos que compõe o canal dos profundores funcionam de modo similar aos circuitos do canal do aileron com a exceção de que o canal dos profundores detecta mudanças na atitude do avião em vôo, isto é, a posição do nariz do avião em relação ao horizonte.

O circuito de todos os três canais pode ser observado em detalhes no desenho da figura 12-74.

O sistema do piloto automático, que foi descrito acima, foi usado para mostrar a função de um piloto automático simples. A maioria dos pilotos automáticos são, contudo, muito mais sofisticados; entretanto, muitas operações fundamentais são similares.

Os sistemas de piloto automático são capazes de efetuar uma variedade muito grande de tarefas em navegação, para o controle automático em vôo.

COMPONENTES BÁSICOS DE UM PILOTO AUTOMÁTICO

Os componentes de um sistema típico de piloto automático, estão ilustrados na figura 12-75. A maioria dos sistemas consiste de 4 tipos básicos de unidades, vários interruptores e unidades auxiliares.

Os 4 tipos de unidades básicas são:

1. Os elementos de comando.
2. Os elementos sensíveis.
3. Os elementos computadores.
4. Os elementos de atuação.

Elementos de comando

A unidade de comando (Controlador de Vôo) é manualmente operada para gerar sinais que farão com que o avião suba, desça, ou execute curvas coordenadas.

Sinais de comando adicional podem ser enviados ao sistema de piloto automático pelo equipamento de navegação da aeronave. O piloto automático é ligado ou desligado eletricamente ou mecanicamente, dependendo do projeto do sistema.

Quando o sistema de piloto automático está ligado, a operação manual dos vários botões de controle (figura 12-76) manobra o avião.

Operando-se o botão singular vertical (*pitch trim*), podemos fazer o avião subir ou descer.

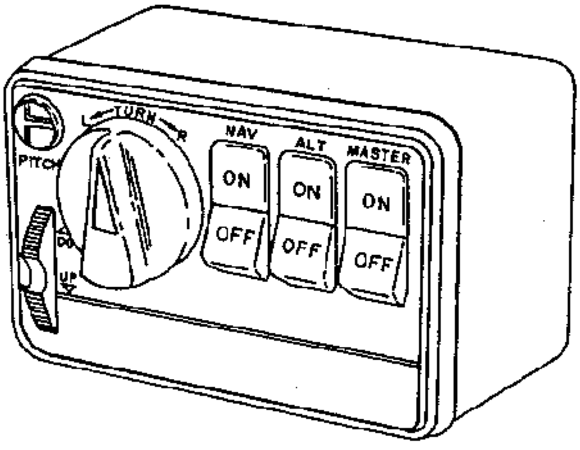

PITCH
L
TURN
R
NAV
ALT
MASTER
ON
OFF
ON
OFF
ON
OFF
DN
UP

Figura 12-76 Típico controlador de piloto automático.

Acionando-se o botão de curva, o avião poderá ser comandado a girar em qualquer direção.

O interruptor de ligar (engage) é usado para ligar ou desligar o piloto automático.

Além disso, a maioria dos sistemas tem um botão de desconexão do piloto automático no manche.

Este botão, operado por pressão dos dedos do piloto, pode ser usado para desconectar o sistema do piloto automático em caso da ocorrência de um mal funcionamento do sistema, ou emergência.

Um tipo de sistema de piloto automático tem uma chave de controle liga- desliga, que manualmente engraza o mecanismo de fricção do servo motor na embreagem dos cabos. A maneira de desconectar eletricamente a fricção é fornecida através de um botão de desconexão, localizado nos manches.

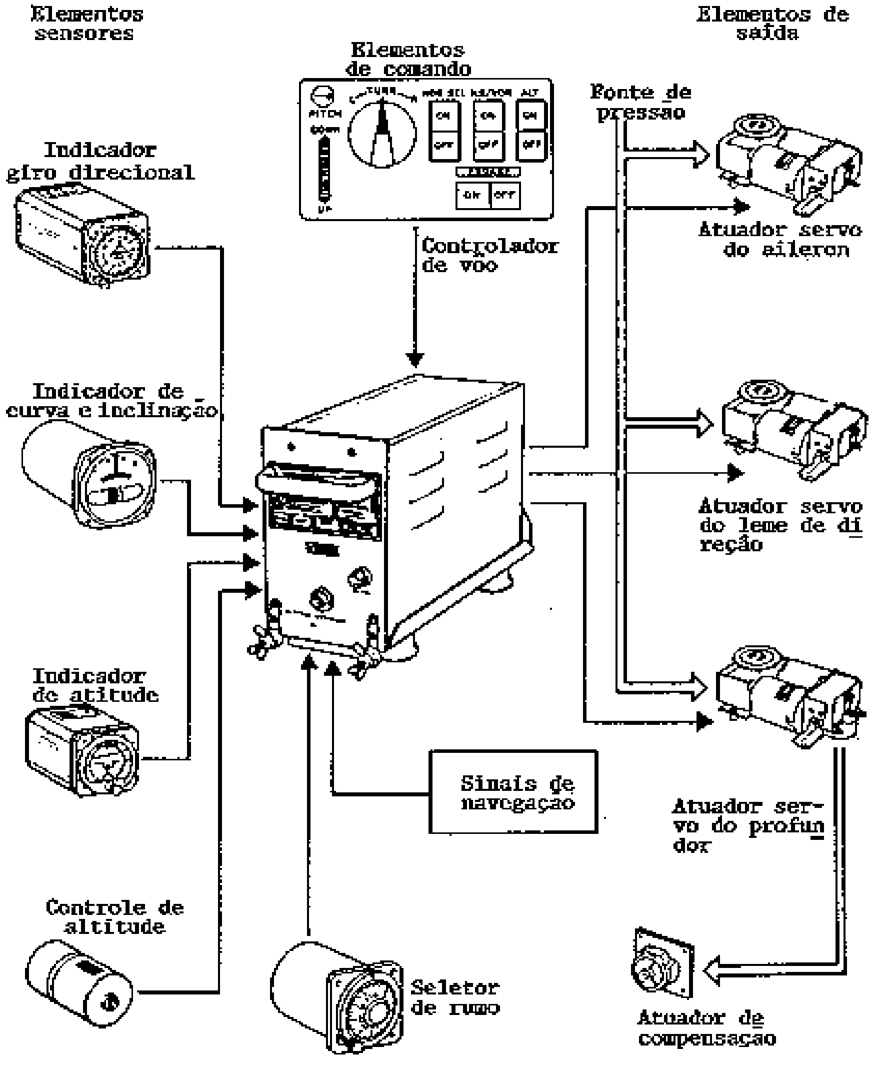

Elementos sensores
Elementos de comando
Elementos de saída
Fonte de pressão
Indicador giro direcional
Controlador de vôo
Atuador servo do aileron
Indicador de curva e inclinação
Atuador servo do leme de direção
Indicador de atitude
Sinais de navegação
Atuador servo do profundor
Controle de altitude
Seletor de rumo
Atuador de compensação

Figura 12-75 Componentes de um sistema típico de piloto automático.

Elementos sensíveis

O giro-direcional, giro "*turn - and - bank*", giro atitude e controle de altitude são os elementos sensíveis.

Essas unidades sentem os movimentos do avião, e automaticamente geram sinais para manter estes movimentos sob controle.

Computador ou amplificador

O elemento computador consiste de um amplificador ou pequeno computador de bordo.

O amplificador recebe as informações, determina que ação os sinais estão requerendo, e amplifica os sinais recebidos dos elementos sensíveis. Passa esses sinais para o leme de direção, ailerons, servos dos profundores para movimentar as superfícies de comando para as posições exigidas.

Elementos de atuação

Os elementos de atuação de um sistema de piloto automático são os servos que acionam as superfícies de comando. A maioria dos servos, em uso atualmente, são motores elétricos ou motores eletro-pneumáticos.

Um avião pode ter de um até três servos para operar os controles primários de vôo. Um servo opera os ailerons, um segundo servo opera o leme de direção, e o terceiro opera os profundores.

Cada servo aciona sua superfície de controle associada para obedecer as instruções do canal do piloto automático, no qual o servo esta conectado. Dois tipos de servos operados por motor elétrico estão em uso geral. Em um tipo o motor é conectado ao eixo de atuação do servo, através das engrenagens de redução. O motor é acionado, pára, e reverte a sua direção em resposta aos comandos dos giros ou controlador (controller).

Um outro tipo de servo elétrico usa um motor constantemente em rotação, ligado a um eixo de comando através de duas embreagens magnéticas.

As embreagens são dispostas de forma que uma embreagem, quando for energizada possa transmitir potência para girar o eixo em uma direção. Energizando-se a outra embreagem, esta gira o eixo na direção oposta.

Os servos eletro-pneumáticos são controlados por sinais elétricos do amplificador do piloto automático, e acionados por um recurso apropriado de pressão de ar. Este recurso pode ser uma bomba do sistema de sucção ou ar sangrado da turbina.

Cada servo consiste de uma válvula eletro/magnética montada em um sistema de conexão para transmitir as informações geradas no sistema.

SISTEMA DIRETOR DE VÔO

Um sistema diretor de vôo é um sistema eletrônico que consiste de componentes eletrônicos que computarão (calcularão) e indicarão a atitude da aeronave necessária para ser mantida em uma condição de vôo pré determinada.

Indicadores de comando no instrumento, indicam a quantidade e qual direção a atitude do avião deve ser movida para se obter o resultado desejado.

As indicações de comando calculadas dispensam o operador de muitos dos cálculos mentais exigidos nos vôos por instrumentos, tais como: ângulos de interceptação, correção de deriva e quantidade e razão de subida e descida.

Um sistema diretor de vôo tem vários componentes. Os componentes principais são: o giroscópio, o computador e o instrumento de apresentação na cabine.

O giro detecta desvios de uma atitude pré selecionada do avião. Qualquer força aplicada contra o giroscópio é eletricamente transmitida para o computador, que por sua vez envia um sinal ao indicador de vôo, informando ao operador o que deve ser feito com os controles. Ao usar um sistema diretor de vôo, o operador está, em outras palavras, atuando como um servo, seguindo ordens dadas pêlos indicadores de comando.

Os computadores usados nos vários tipos de sistemas diretores de vôo são basicamente os mesmos. Entretanto, o número e tipos de funções disponíveis vão variar entre os sistemas, em função das missões de um avião em particular, do limitado espaço disponível para instalação no avião, e o custo excessivo de funções que não são absolutamente necessárias.

As apresentações no painel de instrumentos, e os métodos de operação variam consideravelmente entre os sistemas. Indicações de comando podem ser apresentadas por diversos símbolos diferentes, tais como: indicadores tipo uma barra com diferentes tipos de movimentos, um símbolo representando o perfil de um avião, ou duas barras que se cruzam, ou ainda uma barra em forma de V (v-bar).

Muitos sistemas de diretor de vôo são equipados com uma função para "manter altitude", que permite a seleção de uma desejada altitude; o diretor de vôo calcula o ângulo necessário para manter esta altitude desejada.

Um diretor de vôo simplifica grandemente os problemas de navegação aérea. A seleção da função "VOR" eletronicamente conecta o computador do diretor de vôo ao receptor "VOR". O diretor de vôo dirige a atitude necessária para interceptar e manter este rumo selecionado. Os sistemas de diretor de vôo são projetados para oferecer a maior assistência durante a fase de aproximação do vôo por instrumentos. Sinais do "ILS" localizador e rampa, são transmitidos e levados através de receptores a bordo para o computador, e são apresentados como indicações de comando na função de manter altitude, vôo nivelado; e mantido durante as fases de espera e curvas do procedimento.

Uma vez que tenhamos interceptado o localizador do "ILS", os sinais de comando do diretor de vôo são mantidos centralizados, ou em uma condição zero. A compensação para o desvio causado pelo vento é automática. A interceptação do sinal da rampa do "ILS" causará uma indicação para baixo no indicador de atitude. Qualquer desvio da inclinação, conveniente para manter a rampa do "ILS", causará uma indicação para cima ou para baixo do símbolo indicador de informações no diretor de vôo.

Quando o botão de "manter altitude" está sendo pressionado, ele desligará automaticamente quando a rampa do "ILS" foi interceptada. Um sistema diretor de vôo não somente indica a situação presente mas também prevê as conseqüências futuras desta situação. Por exemplo: uma mudança momentânea em atitude é detectada pelo computador, e o movimento do símbolo de comando é criado para corrigir esta condição possivelmente antes que um erro de altitude possa ocorrer. Portanto, maior precisão é obtida com menos esforço manual, por parte do piloto do avião.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PILOTO AUTOMÁTICO

As informações contidas neste capitulo não se aplicam a qualquer sistema de piloto automático, em particular, mas dão uma informação em geral do que ocorre em todos os sistemas de piloto automático.

A manutenção de um sistema de piloto automático consiste de inspeção visual, substituição das partes componentes, limpeza, lubrificação, e uma verificação operacional do sistema.

Com o piloto automático desligado, os controles de vôo deverão funcionar suavemente. A resistência oferecida pelos servos do piloto automático não deverá afetar os comandos do avião. O mecanismo de interconexão entre o sistema de piloto automático e o sistema de controle de vôo, deve estar corretamente alinhado e em operação suave.

Quando necessário, os cabos de operação das superfícies de comando deverão ser verificados quanto a tensão.

Uma verificação operacional é importante para assegurar-se que cada circuito do piloto automático esta funcionando adequadamente.

Uma verificação operacional do piloto automático deve ser realizada em novas instalações, após a substituição de um componente do sistema, ou sempre que um mal funcionamento do piloto automático seja suspeito.

Após se ligar as chaves mestres (*master*) do avião, é permito que os giros tenham tempo suficiente para adquirir rotação necessária para a operação normal, e que o amplificador se aqueça adequadamente antes de ligar o piloto automático. Alguns sistemas são protegidos com dispositivos que previnem a ligação muito cedo do sistema automático.

Enquanto se mantém a coluna de controle na posição normal de vôo, o sistema, usando o botão de controle do piloto automático e ligado. Após a ligação do sistema, executa-se as checagens de verificação, especificadas para o avião em particular.

Em geral as verificações consistem de:

1. Girar o botão de curva para a esquerda; o pedal de comando do leme esquerdo deverá mover-se para frente, e o manche na coluna de controle deverá mover-se para a esquerda, e a coluna de controle deverá mover-se levemente para trás.

2. Girar o botão de comando de curva para a direita; o pedal direito que comanda o leme deverá mover-se para a frente, e o manche da coluna de controle move-se a para a direita, a

coluna de controle deverá mover-se levemente para trás. Retornar o botão de curva para a posição central. Os controles deverão voltar para a posição de vôo nivelado.

3. Girar o botão de controle de "*pitch*" (comando de nariz); a coluna de controle deverá mover-se para a frente.

4. Girar o botão de controle de "pitch" para trás; a coluna de controle deverá mover-se para trás.

Durante essa checagem de mudança de atitude da aeronave (cabrar/picar) a roda estabilizadora deverá mover-se enquanto a coluna move-se para frente; mover-se-á para trás acompanhando o movimento da coluna para trás. Muitos sistemas têm uma operação automática e uma operação manual.

A ação descrita acima ocorrerá somente no modo automático. Verifica-se se é possível sobrepujar manualmente ou sobrecomandar a força exercida pelo sistema de piloto automático. Em todas as posições de controle, todos os comandos deverão estar centralizados quando as verificações operacionais tiverem sido completadas.

Desliga-se o sistema de piloto automático, e verifica-se se todas as superfícies de comando estão livres movendo-se as colunas de controle com os seus respectivos manches, e os pedais do leme de direção. Então, religa-se o sistema, e verificando o circuito que livra e desconecta todo o sistema em caso de emergência. O sistema de piloto automático deve desligar-se sempre que o botão de desengate é ativado. Quando se realiza manutenção e verificações operacionais, num especifico sistema de piloto automático, os procedimentos recomendados pelo fabricante do avião ou do equipamento são seguidos.

SISTEMA ANUNCIADOR

Os instrumentos são instalados para dois propósitos, um é para mostrar as condições vigentes, outro para notificar as condições insatisfatórias. Mostradores coloridos são utilizados; usualmente lâmpadas verdes para condições satisfatórias; amarelas para condições de alerta ou para condições limites de operação; lâmpadas vermelhas para condições insatisfatórias.

À medida que os aviões tornaram-se mais complexos com muitos sistemas para serem controlados, a necessidade de um sistema controlado de alerta tornou-se evidente. As necessidades para coordenar o motor e os controles de vôo evidenciaram essa necessidade. O que evoluiu, foi um sistema mestre de alerta ou anunciador (figura 12-77). Certas falhas de sistemas são imediatamente indicadas num painel anunciador, no painel principal de instrumentos.

Uma luz mestre de alerta (master caution) e uma luz indicando a falha do sistema começam a piscar.

SISTEMA	NÚMERO A.T.A.	INDICAÇÃO
Combustivel da aeronave	2800	Baixa pressão de combustível
Combustível do motor	7300	Baixa pressào de combustível
Elétrico	2400	Inversor inoperante
Gerador	2400	Gerador inoperante
Gerador	2400	Gerador de suprimento
Partida	8000	Motor de partida engrezado
Oléo do motor	7900	Baixa pressão de óleo
Trem de pouso	3200	Baixa pressão dos freios
Trem de pouso	3200	Não trava em baixo
Trem de pouso	3200	Anti-derapante inoperante
Ar condicionado	2100	Alta pressão da cabide
Ar condicionado	2100	Baixa pressão da cabide
Controles de vôo	2700	Flape de mergulho extendido
Extabilizador	5500	Não seleciona para decolagem
Escapamento do motor	7800	Baixa pressão no reverso
Unidade de força auxiliar	4900	Porta de escap. do APU não abre
Portas	5200	Porta da cabide destravada
Portas	5200	Porta de carga destravada
Navegação	3400	Computador de ajuste Mach inop.
Elétrico	2400	Ligação das barras (BUS TIE) aberta
Piloto automático	2200	Piloto automático desligado
Hidráulico	2900	Baixa pressão hidráulica
Aviso de fogo	2600	Superaquecimento do compart. trazeiro

Figura 12-77 Sistema anunciador de alarme.

A luz master do painel anunciador poderá ser desligada sendo pressionada, mas a luz indicadora permanecerá acesa até que a falha seja corrigida, ou o equipamento em pane seja desligado.

Uma vez "resetada" a luz mestre de alerta está pronta para avisar de uma falha subsequente, mesmo antes da correção daquela falha inicial. Com uma pressão para testar o funcionamento da luz, é possível checar-se todos os circuitos deste sistema. Os modelos mais modernos de jatos executivos têm os dispositivos sensíveis divididos em grupos, de acordo com o seu método de operação. O grupo mais rápido responde ao calor e usa material bimetálico calibrado a predeterminadas temperaturas. O segundo grupo responde a mudanças de pressão e utiliza uma câmara flexível que se move quando pressurizada. O terceiro grupo consiste de chaves mecanicamente operadas e/ou contatos em um relê.

Um sistema indicador pode incluir qualquer uma ou todas as indicações, ou outras quando necessário.

SISTEMA DE ALERTA AUDITIVO

Aviões com trem de pouso retrátil usam um sistema de alerta auditivo, para alertar a tripulação de uma condição insegura.

ESTÁGIO DA OPERAÇÃO	SISTEMA DE AVISO	SINAL DE AVISO	CAUSA DA ATIVAÇÃO DO SINAL	AÇÃO CORRETIVA
Pouso	Trem de pouso ATA 3.200	Buzina contínua	Trem de pouso não travou "em baixo" quando os flapes estão fora da posição "em cima" e as manetes retardadas para a marcha lenta.	Recolha os flapes e avance as manetes.
Em vôo	Aviso de Mach ATA 3400	"Clacker"	Nº Mach ou velocidade equivalente fora dos limites	Reduza a velocidade da aeronave
Decolagem	Controle de vôo ATA 2700. Força aux. ATA 4900	Buzina intermitente	As manetes estão avançadas e existe uma das seguintes condições: 1- Freios aerodinâmicos não estão recolhidos 2- Flapes fora da posição de decolagem 3- Porta do escapamento da força auxiliar, aberta.	Corrija a aeronave para as condições adequadas à decolagem.
Em vôo	Pressurização ATA 2100	Buzina intermitente.	Se a pressão da cabine torna-se igual à atmosférica numa específica altitude(altitude no momento da ocorrência).	Corrija a condição.
Qualquer estágio	Aviso de fogo ATA 2600	Campainha contínua	Alguma condição de superaquecimento ou fogo em algum motor ou no alojamento das rodas principais ou do nariz. Motor auxiliar (APU) ou algum compartimento com instalação de aviso de fogo. Também quando o sistema de aviso de fogo e testado.	1- Reduza o aquecimento da área onde o sistema de aviso de fogo foi ativado. 2- O sistema pode ser silenciado empurrando-se o interruptor de corte da campainha de aviso de fogo ou de corte do APU.
Qualquer estágio	Comunicações ATA 2300	Toque muito alto	Em qualquer tempo que o botão de chamada do comandante é pressionado para um painel de força do comissário(a) da parte dianteira ou traseira da cabine.	Solte o botão ou se ele permanecer travado puxe-o para fora.
Qualquer está-	Comunica-	Tonalidade de	Sempre que um sinal tenha sido	Pressione o botão rearmar,

gio	ções sistema Secal ATA 2300	chamada muito baixa ou simplesmente baixa	recebido por um sistema de comunicação HF ou VHF e decodificado pelo sistema "Secal"	no painel de controle do sistema "Secal"

NOTA: O sistema "Secal" é o "*Selective Calling System*": Cada aeronave recebe uma combinação de quatro tons de audio com a finalidade de identificação. Uma estação terrestre possui a chave do código, sempre que for desejado um contato com determinada aeronave. O sinal será descodificado pelo sistema "Secal" a bordo e a tripulação alertada pelo sistema de aviso.

Figura 12-78 Sistema de alarme auditivo.

Uma buzina soará se as manetes estiverem retardadas e o trem de pouso não estiver numa condição embaixo e travada (figura 12-78).Os sistemas de alerta auditivo são os mais variados em complexidade, desde o mais simples descrito acima até um sistema necessário para a operação segura dos mais complexos aviões de transporte. Um avião típico de transporte tem um sistema de alerta auditivo que alertará o piloto com sinais sonoros para:

- Uma condição de decolagem anormal, condição de pouso, condição de pressurização, excesso de velocidade Mach, fogo no motor ou nas gondolas do alojamento do trem, chamadas no radio para a tripulação, e chamadas do sistema "Secal" (pouso). Mostrados na figura 12-78 estão alguns dos problemas que produzem sinais de alerta no sistema auditivo de alerta. Por exemplo: uma buzina constante soando durante a operação de pouso indicaria que o trem de pouso não está baixado e travado, quando a posição do flape já é embaixo e o acelerador está todo atrasado. A ação corretiva seria recolher os flapes e avançar o acelerador.

CAPÍTULO 13

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E NAVEGAÇÃO

INTRODUÇÃO

Comunicação e navegação são as principais funções do rádio na aeronave. Os sistemas de comunicação compreendem basicamente transmissão e recepção em fonia entre o avião e a terra ou outro avião.

Receptores são utilizados no avião como auxílio à navegação em diversas aplicações; desde um simples detetor automático da direção (ADF) até sistemas de navegação que usam computadores e outras avançadas técnicas eletrônicas, para resolver automaticamente os problemas de navegação durante todo o vôo.

Receptores de balizamento (MARKER BEACON), sistemas de pouso por instrumentos (ILS, compreendendo sinais de rádio para aproximação e pouso: LOCALIZER e GLIDE SLOPE), equipamento de detecção da distância (DME), radar meteorológico, e sistemas de navegação por sinais de VHF (VOR), são algumas das aplicações básicas dos sistemas de navegação por rádio em uso nas aeronaves.

A operação segura da aeronave depende em alto grau do desempenho satisfatório dos sistemas de comunicação e navegação, que por seu turno, está diretamente ligado à perícia daqueles que fazem a sua manutenção.

Os órgãos federais, responsáveis pela segurança da aviação, recomendam uma inspeção das instalações de equipamento de rádio a intervalos regulares.

Essas inspeções incluem um exame visual da fixação dos componentes, condições da fiação, ligações à massa, amortecedores, prateleiras e estruturas de suporte.

Além disso, um teste funcional é comumente executado para verificar se o equipamento está operando adequadamente e se não está interferindo na operação de outros sistemas.

As responsabilidades do técnico de aeronave incluem a instalação e inspeção dos equipamentos de comunicação, navegação e a fiação correspondente.

As oficinas para manutenção de sistemas de rádio devem, também, ser submetidas à aprovação dos órgãos federais. O equipamento para transmissão deve ser calibrado somente por pessoas devidamente licenciadas.

Para desempenhar devidamente sua tarefa de inspecionar as instalações dos sistemas, o técnico deve possuir algum conhecimento básico, a compreensão dos princípios, finalidades e operação do equipamento de rádio utilizado na aeronave.

Em virtude dos vários fabricantes e modelos de equipamento, e dos diversos sistemas em uso, não é possível descrever todos neste manual. A informação aqui apresentada tem caráter geral, proporcionando uma ampla introdução ao rádio, princípio e aplicações na aeronave, tendo em vista o interesse do técnico.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DO RÁDIO

O princípio da comunicação pelo rádio pode ser ilustrado através de um simples transformador.

Como é visto na figura 13-1, ligando-se o interruptor no circuito primário provoca-se o acendimento da lâmpada no circuito secundário. Desligando-se o interruptor, apaga-se a lâmpada.

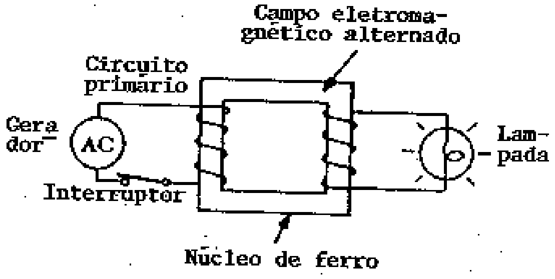


Figura 13-1 Um circuito transformador simples.

Não há qualquer ligação direta entre os circuitos primário e secundário. A energia que ilumina a luz é transmitida por um campo eletromagnético, alternado no núcleo do transformador.

Este é um processo simples de controle sem-fio de um circuito (o secundário) por outro circuito (o primário).

O conceito básico da comunicação por rádio envolve a transmissão e recepção de ondas, de energia eletromagnética (rádio), através do espaço.

A corrente alternada que passa por um condutor, cria campos eletromagnéticos que o envolvem .

A energia é alternadamente depositada nestes campos e devolvida ao condutor.

À medida que a freqüência da corrente alternada aumenta, a energia depositada no campo retorna cada vez menos ao condutor. Em vez de retornar, a energia é irradiada no espaço em forma de ondas eletromagnéticas. Um condutor que irradia deste modo é chamado de antena transmissora.

Para que uma antena irradie eficientemente, é necessário que um transmissor forneça uma corrente alternada na freqüência selecionada.

A freqüência da onda de rádio irradiada será igual a freqüência da corrente aplicada. Quando a corrente circula na antena transmissora, as ondas de rádio são irradiadas em todas as direções, da mesma forma em que as ondas se desenvolvem na superfície de um lago, onde se joga uma pedra.

As ondas de rádio se propagam na velocidade aproximada de 186.000 milhas por segundo (300.000 quilômetros por segundo).

Se um campo eletromagnético irradiado passar por um condutor, parte da energia do campo provocará a movimentação de elétrons no condutor. Esta circulação de elétrons constitui uma corrente que varia com as oscilações no campo magnético.

Desta forma, uma variação da corrente na antena irradiante, provoca uma variação semelhante da corrente num condutor (antena receptora) localizado à distância.

Qualquer que seja a freqüência da corrente circulante na antena transmissora, ela provocará a circulação de corrente da mesma freqüência na antena receptora.

Faixas de Frequência

O espaçamento de freqüência de rádio na gama eletromagnética se estende de aproximadamente 30 KHz (QUILOHERTZ) a 30.000 MHz (MEGAHERTZ). Por conveniência de classificação, esta gama foi dividida em faixas de freqüência.

Cada faixa produz diferentes efeitos na transmissão, sendo que as mais úteis e presentemente utilizadas são:

GAMA DE FREQÜÊNCIA	FAIXA
Baixa Freqüência (L/F)..................	30 a 300 KHz
Freqüência Média (M/F)..............	300 a 3000 KHz
Alta Freqüência (H/F)..................	3 a 30 MHz
Freqüência Muito Alta (VHF).......	30 a 300 MHz
Freqüência Ultra Alta(UHF)..........	300 a 3000 MHz
Frequência Super Alta(SHF)..........	3.000 a 30.000 MHz

Na prática, os equipamentos de rádio usam somente uma parte da gama designada. Por exemplo, o equipamento de VHF opera normalmente nas freqüências entre 108,0 e 135,95 MHz.

COMPONENTES BÁSICOS DOS EQUIPAMENTOS

Os componentes básicos (figura 13-2) de um sistema de comunicações são: microfone, transmissor, antena transmissora, antena receptora, receptor e fones, ou alto-falante.

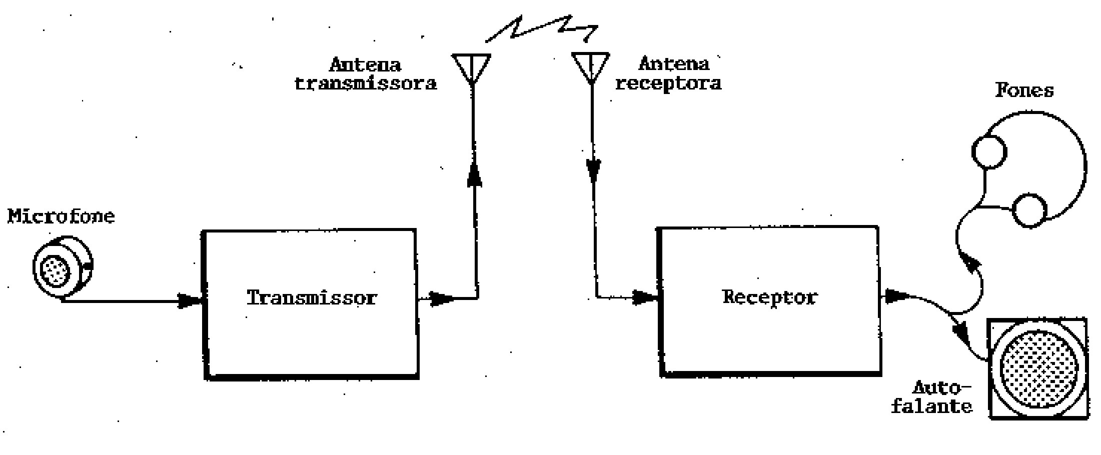


Figura 13-2 Equipamento básico de comunicação.

Transmissores

Um transmissor pode ser considerado como um gerador, que converte energia elétrica em ondas de rádio. Um transmissor deve desempenhar as funções: (1) Gerar um sinal de RF (freqüência de rádio), (2) Amplificar o sinal de RF; e (3) Proporcionar um meio de modular o sinal de RF.

O transmissor possui um circuito oscilador para gerar o sinal de RF (ou uma subharmônica da freqüência de transmissão, caso sejam utilizados duplicadores ou multiplicadores de freqüência), e circuitos amplificadores para elevar a saída do oscilador ao nível de potência necessária à operação adequada.

A fonia (áudio) é adicionada ao sinal de RF por um circuito especial chamado modulador. O modulador utiliza o sinal de áudio para variar a amplitude ou a freqüência do sinal de RF. Se for variada a amplitude, o processo é denominado modulação em amplitude ou AM. Se for variada a freqüência, o processo é conhecido como modulação em freqüência ou FM.

Os transmissores apresentam diversos formatos, possuem um variado grau de complexidade, e desenvolvem diferentes níveis de potência.

O nível de potência, gerado por um transmissor, afeta a força do campo magnético irradiado pela antena. Desta forma, conclui-se que, quanto maior for a potência de saída de um transmissor, maior será a distância que o seu sinal será recebido.

Os transmissores de VHF usados nos aviões monomotores, ou mesmo bimotores leves, variam em potência de 1 a 30 watts, dependendo do modelo específico do rádio. Entretando, os equipamentos mais utilizados têm potência de 3 a 5 watts. Os aviões executivos e os de transporte comercial são equipados com transmissores de VHF, com uma potência de saída de 20 a 30 watts.

Os transmissores de comunicação para a aviação são controlados a cristal; obedecendo às especificações dos órgãos governamentais, no que diz respeito à tolerância da freqüência utilizada.

A maior parte dos transmissores apresentam seleção para mais de uma freqüência. A freqüência do canal selecionado é determinada por um cristal. Os transmissores podem possuir até 680 canais.

Receptores

O receptor de comunicação deve selecionar os sinais de radiofreqüência, e converter a informação neles contida, de forma que se possa utilizá-la, quer em sinais de áudio para comunicação, ou em sinais de áudio ou visuais para navegação.

Ondas de rádio de muitas freqüências estão presentes no ar. Um receptor deve ser capaz de selecionar a freqüência desejada dentre as demais, e amplificar a baixa voltagem do sinal AC.

O receptor possui um circuito demodulador para obter a informação. Se o ciruito demodulador é sensível a mudanças de amplitude, ele é usado em aparelhos AM e denominado detector.

Um circuito demodulador, que é sensível a mudanças de freqüência, é utilizado para recepção FM, e é conhecido como discriminador.

Circuitos amplificadores no receptor elevam o sinal de áudio a um nível de potência, capaz de acionar devidamente os fones ou alto-falante.

ANTENAS

Uma antena é um tipo especial de circuito elétrico, elaborado para irradiar e receber energia eletromagnética.

Como foi mencionado anteriormente, uma antena transmissora é um condutor que irradia ondas eletromagnéticas quando por ele circula uma corrente de rádiofreqüência. As antenas se apresentam em vários formatos, dependendo da utilização para a qual foram construídas e, também, da freqüência de transmissão.

Em geral, as antenas transmissoras de comunicação irradiam os sinais em todas as direções. Entretanto, constroem-se antenas especiais para irradiar especificamente numa certa direção, ou obedecendo a um determinado padrão de emissão.

A antena receptora deve deter as ondas eletromagnéticas presentes no ar. A forma e tamanho da antena receptora varia de acordo com a utilização específica, para a qual ela foi projetada.

Nos equipamentos de comunicação instalados a bordo, a mesma antena é normalmente utilizada para a recepção e transmissão de sinais.

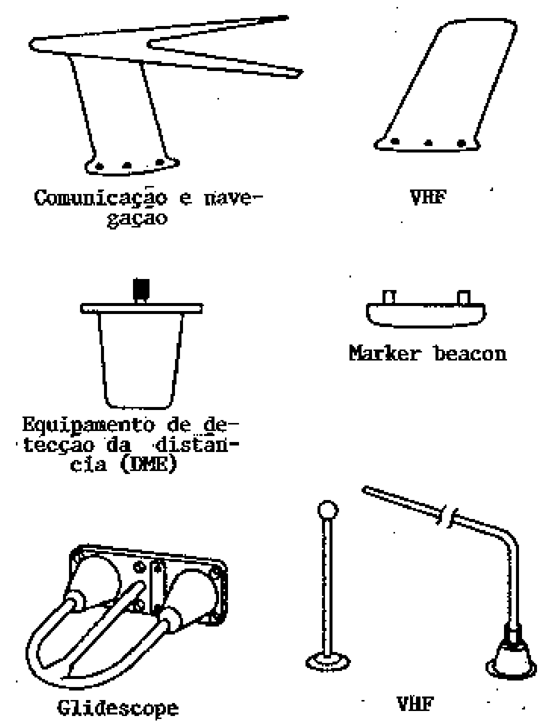


Figura 13-3 Antenas.

Microfones

O microfone é essencialmente um conversor de energia, que transforma a energia acústica (som) em energia elétrica.

Quando se fala no microfone, as ondas de pressão acústicas geradas atingem o diafragma do microfone, fazendo-o movimentar-se para dentro e para fora (vibrar), de acordo com a pressão instantânea aplicada. O diafragma está conectado a um dispositivo que provoca um fluxo de corrente, proporcional à pressão aplicada. Para se obter uma boa qualidade sonora, as oscilações elétricas geradas num microfone devem corresponder corretamente em amplitude e freqüência às ondas sonoras que as originaram, sem que sejam introduzidas novas freqüências.

Uma característica desejável está na capacidade do microfone em ser mais sensível a sons provenientes de uma fonte próxima, do que a sons originários de uma distância relativamente afastada. Ao se falar neste tipo de microfone, os lábios devem permanecer tão próximo quanto possível do diafragma.

As pessoas inexperientes no uso do microfone ficam geralmente surpreendidas pela reprodução de suas vozes através de aparelhos gravadores. Palavras perfeitamente claras, quando dirigidas a outra pessoa, podem tornar-se quase inintelegíveis ao serem ouvidas no receptor de um rádio.

As transmissões de rádio de boa qualidade dependem dos seguintes fatores: (1) intensidade da voz, (2) velocidade da fala, (3) pronúncia e fraseologia. A clareza da voz aumenta com a intensidade até um nível próximo ao de um grito. Ao se usar um microfone, fala-se alto, sem esforço demasiado. Fala-se devagar para que cada palavra seja pronunciada distintamente, evitando usar palavras desnecessárias.

FONTES DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação é o componente que fornece as voltagens e as correntes corretas, para operar o equipamento de comunicações. A fonte de alimentação pode ser um componente isolado, ou pode estar contido no equipamento por ele alimentado. Dispositivos eletromecânicos, utilizados como fonte de alimentação eletrônica, incluem os dinamotores e inversores.

O dinamotor desempenha a função dupla de motor e gerador, transformando a voltagem muito mais baixa do sistema elétrico da aeronave, numa voltagem relativamente elevada. O multivibrador é outro tipo de fonte de voltagem, utilizado para obter uma alta voltagem CA ou CC, a partir de uma voltagem CC relativamente baixa.

Em muitas aeronaves, a fonte primária de energia elétrica é de corrente contínua. Utiliza-se um inversor para suprir a corrente alternada necessária. Os inversores comuns de uma aeronave consistem de um motor CC que aciona um gerador CA. Inversores estáticos ou de estado sólido estão substituindo os inversores eletro-mecânicos em muitas aplicações.

Os inversores estáticos não possuem partes móveis, utilizando elementos semicondutores e circuitos que, periodicamente, fazem passar pulsos de uma corrente CC através do primário de um transformador, obtendo-se uma saída CA no secundário do mesmo.

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

O sistema mais comum de comunicação hoje em dia é o sistema VHF. Além deste equipamento, as aeronaves de grande porte são geralmente equipadas com sistema HF de comunicações.

Os sistemas de comunicações das aeronaves variam consideravelmente em tamanho, peso, consumo de energia, qualidade de operação e custo, dependendo da operação desejada.

Muitos sistemas de comunicações VHF e HF das aeronaves utilizam transceptores. Um transceptor comporta simultaneamente o transmissor e o receptor, e apresenta circuitos comuns tais como: a fonte de alimentação, a antena e o sistema de sintonia.

O transmissor e o receptor operam ambos na mesma freqüência, sendo que, o botão do microfone controla o momento em que o transmissor deve operar. Na ausência de transmissão, o receptor opera normalmente. Considerando que peso e espaço são fatores de importância numa aeronave, o transceptor é largamente utilizado.

As grandes aeronaves podem ser equipadas com transceptores ou um sistema de comunicação, usando separadamente transmissores e receptores. A operação do equipamento rádio é basicamente a mesma, quer esteja ele instalado em grandes ou pequenas aeronaves. Em algumas instalações, os controles para seleção da freqüência, volume, e interruptor LIGA-DESLIGA, são partes integrantes da unidade de comunicação.

Em outras instalações, os controles acham-se montados num painel localizado na cabine de comando, ficando o equipamento de comunicação localizado em prateleiras situadas em outros locais da aeronave.

Considerando a grande variedade de tipos e modelos de rádios em uso, torna-se impossível apresentar a técnica específica para a operação de todos os modelos neste manual.

Entretanto, há várias operações de natureza não específica que se aplicam a todos os rádios. Estas serão descritas a seguir.

Comunicações VHF (Frequência Muito Alta)

Os equipamentos de comunicações VHF nas aeronaves operam na faixa de freqüência compreendida entre 108,0 MHz e 135,95 MHz.

Alguns receptores de VHF são construídos para cobrir somente as freqüências de comunicações, outros cobrem tanto as freqüências de comunicações como as de navegação. Em geral, as ondas de VHF propagam-se aproximadamente em linha reta.

Teoricamente, o alcance é limitado à distância ao horizonte, sendo esta determinada pelas alturas das antenas transmissoras e receptoras.

No entanto, a comunicação algumas vezes torna-se possível muitas centenas de milhas, além da suposta distância ao horizonte.

Muitos rádios VHF possuem o transmissor, receptor, fonte de alimentação e os controles operacionais, instalados numa unidade única. Essa unidade é frequentemente instalada num recorte do painel de instrumentos.

Um diagrama do sistema típico de transceptor VHF, montado no painel acha-se apresentado na figura 13-4.

Outros sistemas de comunicação VHF possuem alguns componentes instalados na cabine de comando, e o restante do equipamento instalado remotamente no compartimento do rádio ou no de bagagem.

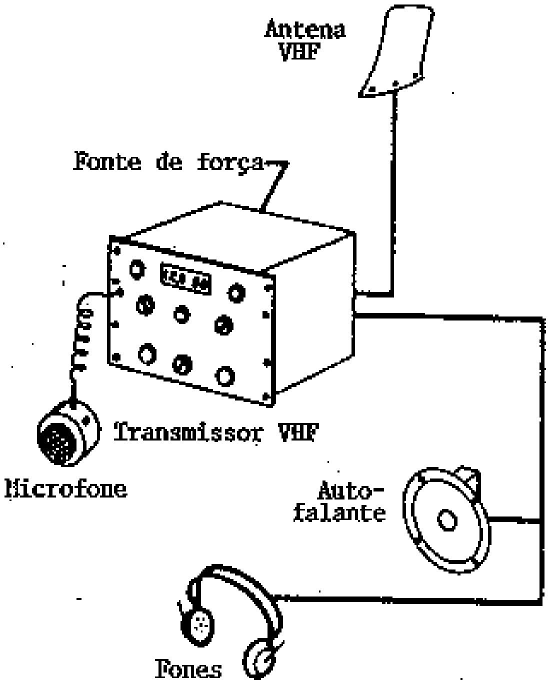


Figura 13-4 Diagrama do sistema VHF.

Para realizar um teste operacional do sistema de comunicações VHF, torna-se necessária uma fonte de energia elétrica.

Após ligar o interruptor de controle LIGA-DESLIGA, aguarda-se o tempo necessário para aquecer o equipamento, antes de iniciar os testes operacionais.

Utilizando o seletor de freqüência, seleciona-se a freqüência da estação de terra que será chamada; e ajusta-se o controle de volume para o nível desejado.

Com o microfone seguro, próximo à boca, comprime-se o botão, e fala-se diretamente no microfone ao receptor, quando se termina a mensagem, o botão do microfone é liberado. Esta ação reativará o receptor de comunicação. Quando a estação de terra responder à chamada inicial, volta-se a transmitir, acusando o recebimento da mensagem.

O mesmo teste É FEITO selecionando outras freqüências de estações de terra disponíveis.

Todas as aeronaves comerciais possuem uma licença, pelo órgão governamental competente, para utilização dos sistemas de comunicação. Esta licença emitida permanece junto à pasta de documentos; que normalmente acompanha a aeronave, e deve ser renovada periodicamente.

Comunicações HF (Alta Frequência)

O sistema de comunicações HF (figura 13-5) é utilizado para comunicações a longa distância.

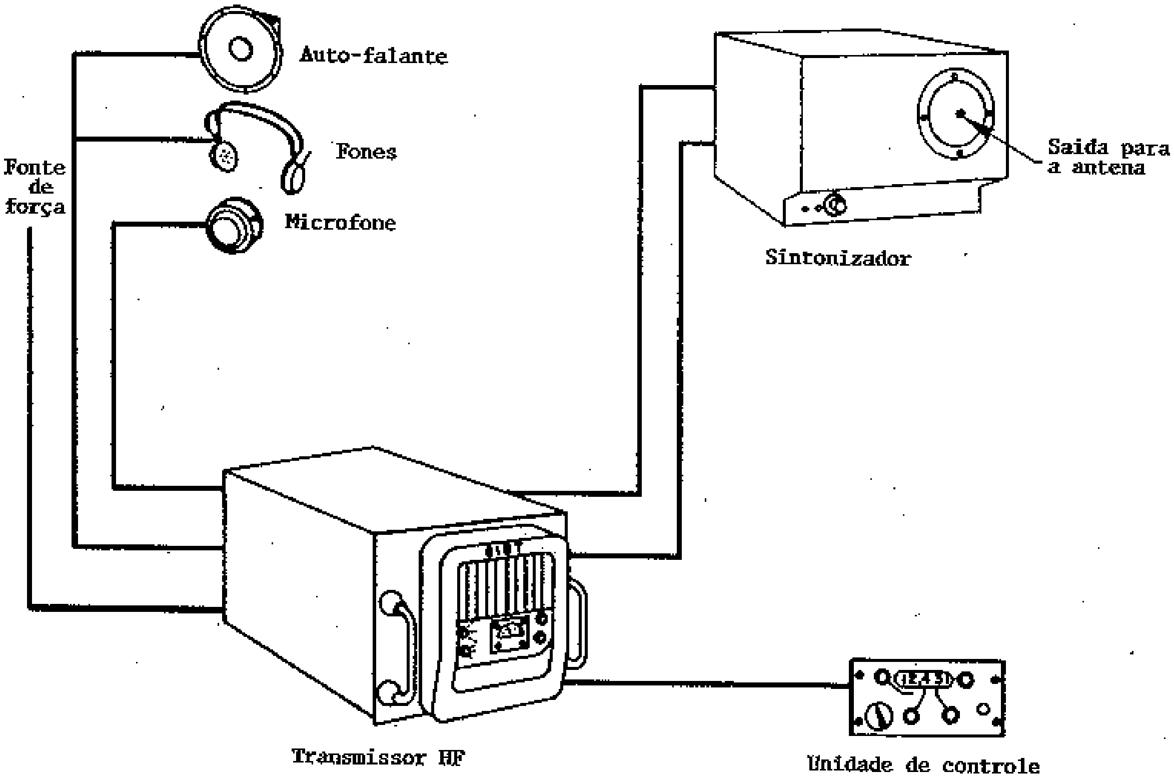


Figura 13-5 Diagrama do sistema de HF

Os sistemas HF operam basicamente da mesma forma que os de VHF, utilizando, porém, a faixa de freqüência entre 3 MHz e 30 MHz.

A comunicação a longa distância é possível com o rádio HF, devido o alcance maior das transmissões. Os transmissores de HF possuem maior potência de saída que os de VHF.

O tipo de antena usada com os sistemas HF de comunicação, varia com o tamanho e o formato da aeronave.

Aeronave com velocidade de cruzeiro abaixo de 300 m.p.h. utiliza, geralmente, um fio comprido como antena.

Aeronave com velocidade mais elevadas possue tubos (probes) especialmente projetados como antenas, e instalados no estabilizador vertical. Independentemente do tipo de antena, é utilizado um sintonizador para casar as impedâncias do transceptor e da antena.

O teste operacional do equipamento rádio HF consiste em ligar o interruptor LIGA-DESLIGA; ajustar os controles de ganho de RF e volume; selecionar o canal desejado; e transmitir a mensagem apropriada para a estação chamada. O melhor ajuste do controle de ganho pode ser obtido com o controle de volume, ajustado para meio curso.

O controle de ganho é usado para permitir a recepção do sinal mais forte com o menor nível de ruído

.O controle de volume é usado para ajustar o nível do som, afetando somente a saída do altofalante.

EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO DE BORDO

"Equipamentos de Navegação de Bordo" é uma expressão que envolve muitos sistemas e instrumentos. Esses sistemas incluem o de navegação VHF (VOR), o de pouso por instrumentos (ILS), o de detecção da distância (DME), o de detecção automática das estações (ADF), o DOPPLER e o de navegação inercial (INS).

Quando aplicados à navegação, os receptores e transmissores operam com sinais utilizados para detectar o rumo e, em alguns casos, a distância em relação a pontos geográficos ou a estações de rádio.

Sistema de navegação VHF (VOR)

O sistema de navegação VHF(VOR omnidirecional range) possibilita ao piloto a escolha do rumo, em relação à estação selecionada dentro do alcance da aeronave, recebendo por este motivo a denominação VOR, ou seja, faixas omnidirecionais.

A estação de VOR, na realidade, coloca a disposição do piloto 360 radiais ou rumos, correspondendo a feixes de rádio emitidos pela estação.

As radiais podem ser consideradas linhas que se irradiam da antena transmissora como os raios de uma roda.

A operação é realizada dentro da gama de freqüência de VHF, 108,0 MHz e 117,95 MHz, o que permite uma boa imunidade às interferências provocadas pela estática atmosférica ou de precipitações.

A informação para navegação é apresentada visualmente num instrumento do painel.

O sistema típico de recepção VOR usado na aeronave (figura 13-6) consiste de receptor, indicador visual, antena, e uma fonte de alimentação.

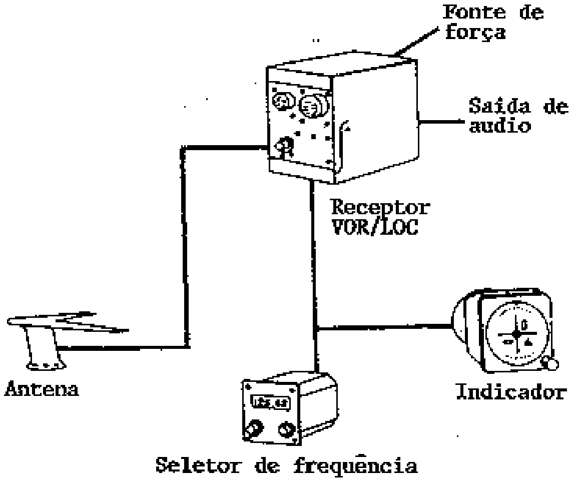

Fonte de força
Saida de audio
Receptor VOR/LOC
Antena
Indicador
Seletor de frequência

Figura 13-6 Diagrama do sistema VOR.

Adicionalmente é utilizada uma unidade seletora de freqüência, que em alguns casos, acha-se localizada no painel frontal do receptor. Alguns fabricantes projetam um controle remoto de seleção de freqüência, de modo que o equipamento possa ser instalado em outro local da aeronave. Este seletor é utilizado para sintonizar o receptor numa estação VOR de terra.

O receptor VOR, além da navegação radial, funciona como receptor "localizador" (sinal do LOCALIZER) durante a operação ILS (sistema de pouso por instrumento).

Alguns receptores VOR incluem também um receptor de ângulo de planeio ("glide slope") numa única unidade. Independente do modo pelo qual o equipamento VOR seja projetado, a informação do receptor VOR é apresentado no instrumento CDI (indicador de desvio do rumo).

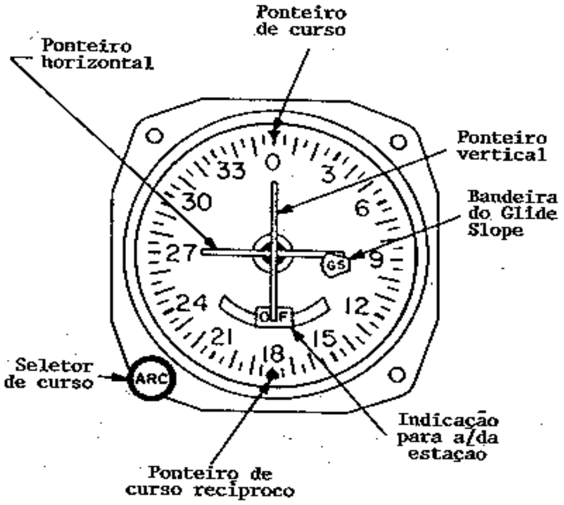

Ponteiro de curso
Ponteiro horizontal
Ponteiro vertical
Bandeira do Glide Slope
33
0
3
30
6
27
9
24
12
21
18
15
GS
OFF
ARC
Seletor de curso
Indicação para a/da estaçao
Ponteiro de curso reciproco

Figura 13-7 Indicador de desvio de rumo (CDI).

O CDI, figura 13-7, desempenha diversas funções. Durante a operação VOR, o ponteiro vertical é utilizado como indicador do rumo. Ele também indica quando a aeronave desvia do rumo, bem como a direção que a aeronave deve tomar para atingir o rumo desejado.

O indicador TO-FROM mostra se a direção do rumo apresentado é "para" (TO) a estação ou "afastando-se" (FROM) da estação. O indicador de desvio do rumo também apresenta uma bandeira de alarme "VOR-LOC".

Normalmente ela é uma pequena haste, que aparece somente em caso de mau funcionamento do receptor ou falha do sinal transmitido.

Quando sinais de "LOCALIZER" são selecionados no receptor de VOR, o indicador apresenta a posição relativa do feixe do localizador para a aeronave, e a direção que a aeronave deve tomar para interceptá-lo.

Durante a operação VOR, a radial da estação é selecionada girando-se o seletor OBS (seletor omnidirecional). Este seletor está normalmente localizado no CDI; entretanto, em algumas instalações ele faz parte do receptor de navegação. O OBS é graduado de zero a 360°, sendo que cada grau corresponde a um rumo de VOR a ser seguido para se voar em relação à estação de terra.

Os ítens a seguir são tipicamente dos executados durante um teste operacional de terra.

Ao testar um sistema VOR, segue-se os procedimentos específicos recomendados pelo fabricante do equipamento. O teste operacional pode ser executado, utilizando-se o equipamento de teste adequado ou estação de terra disponível.

1) Colocar o interruptor LIGA-DESLIGA na posição "ON".

2) Ajustar o seletor de freqüência para a estação desejada.

3) Aguardar o tempo necessário para aquecer o equipamento.

4) A bandeira de alarme VOR desaparecerá quando for recebido o sinal da estação VOR.

5) Ajustar o controle de volume no nível desejado; observar se a identificação da estação VOR selecionada é clara e correta (sinal sonoro similar a código Morse).

6) Verifica-se se há deflexão do ponteiro vertical do CDI.

7) Centralizar o ponteiro vertical através do seletor OBS.

8) Verifica-se se o indicador "TO-FROM" apresenta "TO".

9) Girar o seletor OBS 10° acima da indicação na qual o ponteiro vertical foi centrado. Este último deve mover-se à esquerda e cobrir o último ponto (DOT), que corresponde a um desvio de 10° do rumo.

10) Girar o seletor OBS para a posição original. O ponteiro vertical deve retornar ao centro.

11) Girar o seletor OBS 10° abaixo da posição original. O ponteiro vertical deve mover-se à direita e cobrir o último ponto, que corresponde a um desvio de 10° do rumo.

12) O ponteiro vertical deve se deslocar com a mesma deflexão em ambas as direções. O desvio ou sensibilidade total de desvio do rumo deve ser, portanto, 20°.

NOTA: Quando o indicador "TO-FROM" apresentar "FROM", o ponteiro vertical se deslocará na direção oposta àquela descrita nos testes acima.

Caso o teste operacional não seja satisfatório, será necessário retirar da aeronave o receptor de VOR e os instrumentos associados, para serem verificados na bancada.

SISTEMA DE POUSO POR INSTRUMENTOS (ILS)

O ILS (INSTRUMENT LANDING SYSTEM) opera na faixa de VHF da gama de frequência de rádio. O ILS pode ser visualizado como uma "rampa" de sinais de rádio, na qual o avião pode "deslizar" com segurança para a pista.

O sistema completo é constituído por um transmissor localizador da pista (LOCALIZER), um transmissor de ângulo de descida (GLIDE SLOPE) e feixes balizadores (MARKER BEACONS) para detecção de posição.

O equipamento "LOCALIZER" produz um feixe de rádio cujo centro é alinhado com o centro da pista. Para que o sinal correspondente à situação da aeronave esteja no curso correto (ON-COURSE) o resultado é a recepção de dois sinais, com igual intensidade: um modulado numa frequência de 90Hz; e o outro modulado a 150Hz.

Estando-se em um dos lados da linha central da pista, o sinal de saída do receptor apresenta uma predominância no tom de 150 Hz. Esta área é denominada "setor azul".

No outro lado da linha central da pista predomina o sinal de 90 Hz. Este é o "setor amarelo".

As estações de "LOCALIZER" operam na freqüência de 108,0 MHz a 112,0 MHz, porém, só incluindo as decimais ímpares. As freqüências, neste espaçamento, com as decimais pares são dedicadas à operação VOR. O receptor de navegação VOR funciona como receptor de "LOCALIZER" durante a operação ILS.

O "GLIDE SLOPE" é um feixe de rádio que fornece ao piloto orientação vertical, auxiliando-o a manter o ângulo correto de descida até a pista. Os sinais de "GLIDE SLOPE" são irradiados por duas antenas adjacentes ao "ponto de contato", operando na faixa de freqüência UHF de 339,3 MHz a 335,0 MHz.

Os receptores de "GLIDE SLOPE" e "LOCALIZER"/VOR podem estar em unidades separadas ou combinados numa unidade única.

No que diz respeito a seleção de freqüência, os receptores de "LOCALIZER" e "GLIDE SLOPE" são controlados por um único seletor, porquanto, a cada freqüência selecionada para "LOCALIZER" corresponderá sempre uma determinada freqüência para "GLIDE SLOPE". Um diagrama dos componentes do ILS acha-se apresentado na figura 13-8.

As informações provenientes dos receptores de "LOCALIZER" e "GLIDE SLOPE" são apresentadas no CDI (Indicador de Desvio do Rumo); o ponteiro vertical fornece a informação do "LOCALIZER", e o horizontal a informação de "GLIDE SLOPE".

Quando ambos os ponteiros estão centralizados, a aeronave acha-se no alinhamento central da pista, e descendo no ângulo correto.

O CDI possui ainda uma bandeira de alarme vermelha para cada sistema, que aparece quando ocorrer falha do receptor ou ausência do sinal transmitido.

Duas antenas são normalmente necessárias para a operação ILS: uma para o receptor de "LOCALIZER", também utilizada para navegação VOR; e a outra para o "GLIDE SLOPE".

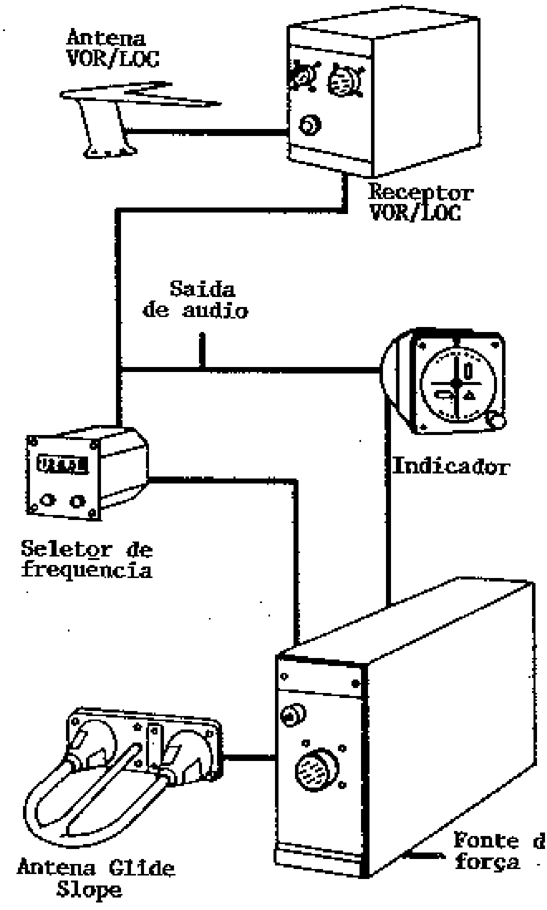


Figura 13-8 Diagrama dos componentes do ILS.

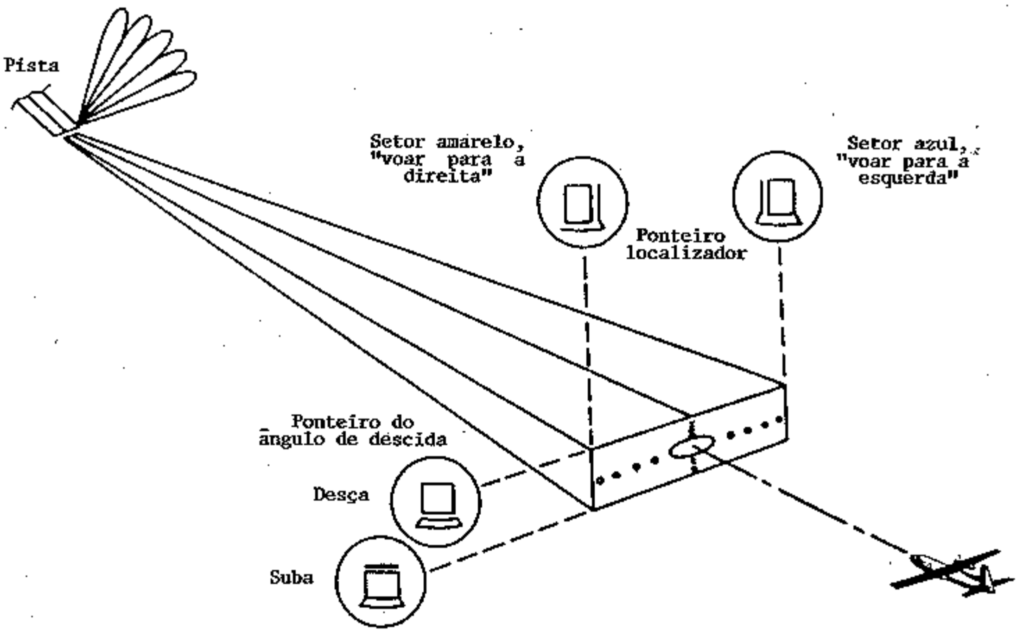

Pista
Setor amarelo, "voar para a direita"
Setor azul, "voar para a esquerda"
Ponteiro localizador
Ponteiro do ângulo de descida
Desça
Suba

Figura 13-9 informações de ILS.

Algumas aeronaves pequenas usam uma antena de multi-elementos, tanto para a operação VOR/LOC como para a de "GLIDE SLOPE".

A antena para VOR/LOC acha-se normalmente instalada na parte superior da fuselagem ou embutida na chapa do estabilizador vertical. A antena de "GLIDE SLOPE", na maior parte das aeronaves, acha-se instalada no nariz. Nas aeronaves equipadas com radar, a antena de "GLIDE SLOPE" acha-se instalada no interior do radome.

FEIXES BALIZADORES (Marker Beacons)

Os "MARKER BEACONS" são utilizados conjuntamente com o sistema de pouso por instrumentos. Os "MARKERS" são sinais de rádio que indicam a posição da aeronave ao longo de sua descida em direção à pista.

Dois "MARKERS" são empregados em cada instalação. A localização de cada um deles é identificada por um tom audível e pelo acendimento de uma lâmpada.

Os transmissores dos "MARKER BEACONS" operam na freqüência fixa de 75 MHz, e são instalados em locais específicos, ao longo da rota do procedimento para pouso, por instrumento estabelecido para estação ILS. O feixe de irradiação da antena é orientado diretamente para cima.

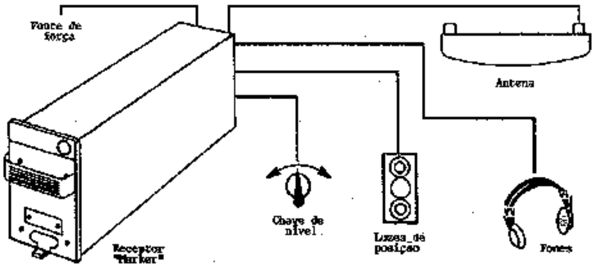

Fonte de força
Antena
Chave de nível
Luzes de posição
Fones
Receptor "Marker"

Figura 13-10 Diagrama do sistema receptor de MARKER.

Um receptor de "MARKER" (figura 13-10) instalado na aeronave recebe os sinais da antena e os converte em energia, para iluminar uma lâmpada e produzir um tom audível nos fones.

O "MARKER" externo (OUTER) sinaliza o início da descida para o pouso pelo ILS. O sinal do "MARKER" externo é modulado por 400 Hz, produzindo nos fones um tom (traço) longo intermitente. Além desta identificação audível, o sinal do "MARKER" externo provoca ainda a iluminação de uma lâmpada azul localizada no painel de comando.

O "MARKER" intermediário (MIDDLE) acha-se normalmente instalado a cerca de 3.500 pés do final da pista e é modulado por um sinal de 1.300 Hz, que produz um tom mais agudo, intermitentemente curto e longo (pontos e traços). Uma lâmpada âmbar pisca para indicar que o avião está passando sobre o "MIDDLE MARKER".

Os receptores "MARKERS" variam em apresentação desde os simples receptores, que não possuem quaisquer controles operacionais, até os mais sofisticados, que fornecem um tom audível, e têm um interruptor LIGA-DESLIGA, e um controle de volume para ajustar o nível sonoro do código de identificação. Nas instalações que utilizam três lâmpadas, uma luz branca indica as posições da aeronave ao longo dos vários pontos das aerovias.

Além da lâmpada, uma série rápida de tons (seis "pontos" por segundo) na freqüência de 3.000 Hz são ouvidos nos fones.

O equipamento de detecção de distância (DME) está rapidamente substituindo o "MARKER" de aerovias.

Este "MARKER" de 3,000 Hz e sua luz branca têm ainda aplicação como "MARKER" interno (INNER) em algumas pistas equipadas com ILS, categoria II, para sinalizar os locais que correspondem ao ponto de arremetida.

O sistema de ILS não pode ser completamente testado no solo sem o equipamento de teste para simular os sinais de "LOCALIZER" e "GLIDE SLOPE".

Se uma aeronave estiver num aeroporto que possua pista equipada com ILS, deve-se observar se o receptor está funcionando, procedendo-se da seguinte forma: (1) ligar o equipamento e ajustar o seletor de freqüência para o canal de ILS do aeroporto. (2) aguardar o tempo necessário para o aquecimento do equipamento. Num local de sinal forte, ambas as bandeiras de alarme começarão a se movimentar ou serão recolhidas. (3) observar se ambos os ponteiros cruzados acham-se inteiramente deflexionados. Alguns equipamentos ILS, de estado-sólido, mais sofisticados possuem circuitos de automonitoramento.

Esses circuitos podem ser utilizados para a execução de um teste operacional, seguindo os procedimentos adequados descritos pelos manuais de serviço do fabricante, do equipamento ou da aeronave.

EQUIPAMENTO DE DETECÇÃO DA DISTÂNCIA (DME)

O objetivo do DME (DISTANCE MEASURING EQUIPMENT) é fornecer uma indicação visual constante da distância que o avião se encontra de uma estação de terra.

A leitura apresentada pelo DME não é uma indicação verdadeira da distância, ponto a ponto, medida sobre a terra. O DME indica a distância direta entre a aeronave e a estação de terra. O erro da distância aumenta à medida que a aeronave se aproxima da estação. Entretanto, entre 30 e 60 milhas este erro é desprezível.

O DME opera na gama de frequência UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY) do espectro de rádio. As freqüências de transmissão compreendem dois grupos: de 962 MHz a 1.024 MHz e de 1.151 MHz a 1.212 MHz; as freqüências de recepção estão entre 1.025 MHz e 1.149 MHz. As freqüências de transmissão e sua recepção formam um par que corresponde a uma freqüência de VOR.

Em algumas instalações, o seletor de sinais do DME é operado conjuntamente com o seletor do VOR, simplificando, assim, a operação. A figura 13-11 apresenta um painel típico de controle do DME.

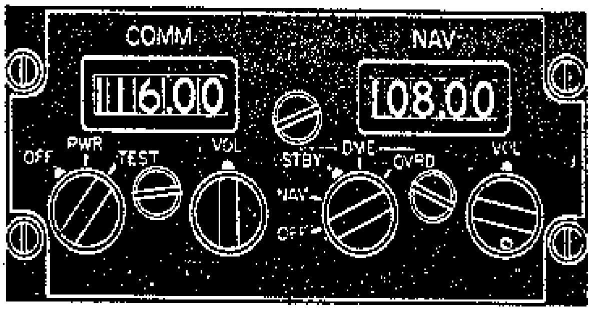


Figura 13-11 Controle típico de navegação DME.

A aeronave acha-se equipada com um transceptor DME, que é sintonizado para a estação de terra DME correpondente, comumente localizada junto a uma estação VOR. Este conjunto é denominado VORTAC.

O transceptor de bordo transmite um par de pulsos espaçados para a estação de terra. O espaçamento entre os pulsos é utilizado para identificar o sinal como uma interrogação válida de DME. Após a recepção destes pulsos, a estação de terra transmite, também, pulsos, utilizando uma freqüência diferente.

O tempo compreendido entre a interrogação do avião e a chegada da transmissão (réplica) da estação de terra é computado pelo transceptor. O resultado corresponde à distância que separa a aeronave da estação de terra.

Esta distância é indicada em milhas náuticas num instrumento do painel, semelhante ao apresentado na figura 13-12.

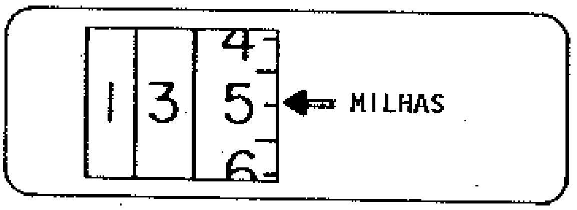


Figura 13-12 Indicador digital do DME.

Uma antena típica do DME acha-se apresentada na figura 13-13. A maioria das antenas do DME possui uma cobertura de proteção, tendo o formato chato e curto, montada na parte inferior da fuselagem.

A fim de evitar interrupção na operação DME, a antena deve ser instalada num ponto que não fique bloqueado pela asa, quando a aeronave estiver inclinada.

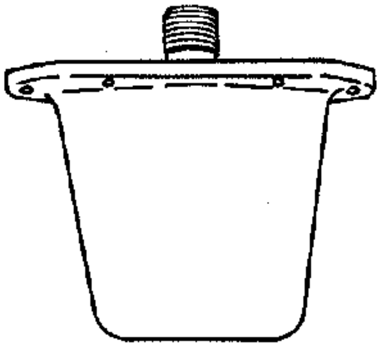


Figura 13-13 Antena típica de DME.

Para testar a operação do DME, liga-se o seletor na posição STBY e seleciona-se a freqüência do VOR local.

É aguardado o tempo suficiente para aquecer o equipamento.

Seleciona-se a posição DME na caixa seletora de áudio para identificar a estação DME correspondente; passando o seletor da caixa de controle do DME para a posição "DME".

O indicador digital do DME se deslocará da leitura mínima para a máxima, que corresponde à fase de procura ("SEARCH"). Quando o transceptor DME sincronizar-se com a "réplica" da estação transmissora, o indicador apresentará a distância entre a aeronave e a estação DME.

Se o indicador possuir uma bandeira de alarme, esta será recolhida neste momento. Na maioria das instalações, não é possível realizar testes funcionais no solo sem um equipamento de teste do DME.

DETECTOR AUTOMÁTICO DA DIREÇÃO (ADF)

O equipamento de navegação ADF é constituído basicamente por um receptor (rádio) equipado com antena direcionais, e utilizadas para determinar a direção da origem do sinal recebido.

A maioria dos receptores ADF possui provisão para a operação manual, além da detecção automática de direção. Estando a aeronave dentro do alcance da estação de rádio, o equipamento ADF fornecerá, com apreciável precisão, sua posição em relação à estação. O ADF opera no espectro de baixa e média freqüência: de 190 KHz a 1.750 KHz. A direção da estação é apresentada por um indicador localizado no painel de instrumento, e que fornece a proa da aeronave em relação à estação.

O equipamento ADF é constituído por um receptor, antena direcional ("LOOP"), antena não-direcional ("SENSE"), indicador e caixa de controle. Em aviões de pequeno porte, o receptor de ADF acha-se montado no painel de instrumentos. Seus controles e o indicador acham-se na parte frontal da unidade.

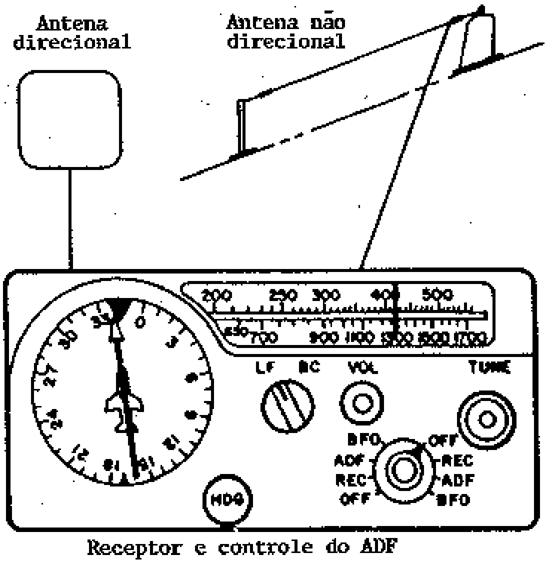


Figura 13-14 Instalação típica do ADF.

Num tipo de sistema ADF, o "LOOP" (figura 13-15) gira 360°, e recebe o sinal com maior intensidade, quando o seu plano se apresenta paralelo à direção do sinal transmitido. À medida que o "LOOP" é movimentado desta posição, o sinal torna-se mais fraco e atinge o nível mínimo quando o plano da antena fica perpendicular a direção do sinal transmitido. Esta posição do "LOOP" é chamada "mínimo" ("NULL"), sendo utilizada para a obtenção da direção da estação.

Entretanto, se o "LOOP" continuar a ser movimentado, observar-se-á outro "mínimo" ao atingir 180° do "mínimo" anterior. Para sanar esta ambigüidade de direções, o sistema ADF utiliza, além do "LOOP", uma antena não direcional ("SENSE"). Utilizando circuitos especiais, no receptor do ADF, é possível determinar a direção correta da estação sintonizada.

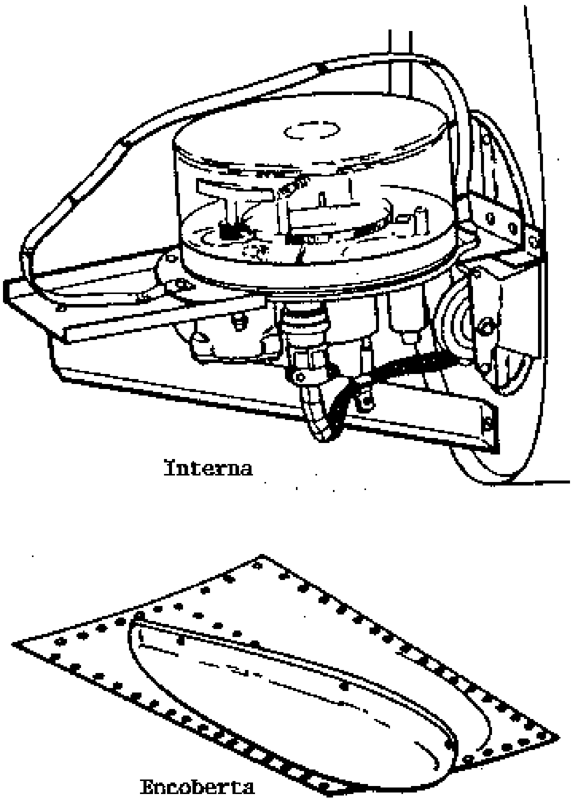


Figura 13-15 Antenas típicas de ADF.

Outro tipo de sistema ADF utiliza "LOOP" fixo, com núcleo de ferrite, que funciona conjugado a um transformador rotativo chamado "RESOLVER"(ou goniômetro).

O funcionamento deste ADF é o mesmo que o descrito acima, excetuando-se a parte móvel que neste caso é a bobina rotativa do "RESOLVER".

Para a realização do teste operacional do sistema ADF, procede-se da seguinte forma:

1) Ligar o interruptor LIGA-DESLIGA e aguardar o aquecimento do receptor. Nas instalações que utilizam o ponteiro do RMI ("RADIO MAGNETIC INDICATOR") como indicador do ADF, verificar se o seletor "ADF-VOR" do instrumento está na posição "ADF".

2) Sintonizar a estação desejada.

3) Ajustar o controle de volume adequadamente.

4) Girar o "LOOP" através do controle correspondente, observando se apenas um nulo é recebido.

5) Verificar se o ponteiro do ADF indica a direção da estação, coincidindo com o "mínimo" obtido.

Se a aeronave estiver localizada próximo a edifícios, hangares ou qualquer grande superfície refletora, o ponteiro do ADF pode acusar uma direção errada, resultante de sinal refletido.

SISTEMA ATC (AIR TRAFFIC CONTROL)

O sistema ATC, também conhecido como "TRANSPONDER", é utilizado em conjunto com o radar de observação de terra, com a finalidade de fornecer uma identificação positiva da aeronave na tela de radar do controlador.

O equipamento ATC instalado a bordo recebe uma "interrogação" do radar de terra em cada "varredura" da antena deste, e automaticamente transmite um sinal codificado, conhecido como "réplica" (REPLY).

Os TRANSPONDERS instalados nas aeronaves geralmente operam com dois tipos de códigos: A e B.

O código da identificação de vôo (um dígito de quatro números) é designado para a aeronave durante o procedimento do plano de vôo.

Alguns TRANSPONDERS são também dotados de um codificador da altitude em que se encontra a aeronave, de modo que possa informá-la ao controlador do radar de terra sempre que for devidamente interrogado.

Há vários tipos de sistemas ATC utilizados a bordo. Todos desempenham a mesma função e possuem circuitos básicos idênticos. A diferença maior está na construção: uma única unidade ou uma unidade extra para o controle remoto do TRANSPONDER.

A figura 13-16 apresenta uma instalação típica do sistema ATC. O painel de controle possui todos os dispositivos necessários à operação.

A antena utilizada no sistema ATC é do tipo curto e chato (coberta ou não), sendo geralmente instalada na superfície inferior da aeronave.

Para um teste operacional do sistema ATC é aconselhável o uso do equipamento de teste adequado.

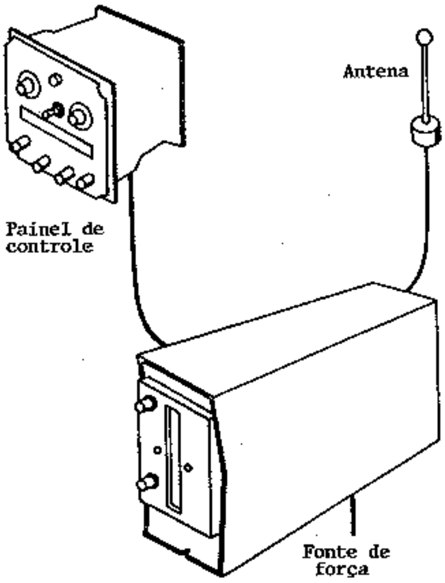


Figura 13-16 Sistema típico de ATC.

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DOPPLER

O sistema de navegação DOPPLER computa e apresenta, contínua e automaticamente, a velocidade em relação à terra ("GROUND SPEED") e o ângulo de deriva (DRIFT ANGLE) de uma aeronave em vôo. Estas informações são fornecidas sem o auxílio de estações de terra, estimativa do vento ou qualquer outro dado. O DOPPLER emite continuamente uma onda eletromagnética "portadora", e determina as componentes de velocidade frontal e lateral da aeronave, utilizando o princípio conhecido como "efeito DOPPLER". O efeito DOPPLER, ou mudança da freqüência de um sinal, pode ser explicado em termos. Na figura 13-17, o emissor do som é uma sirene localizada na ambulância em movimento, e o receptor é o ouvido de uma pessoa parada.

Observa-se o espaçamento entre as ondas sonoras quando o emissor está se aproximando e quando está se afastando do receptor. Quando o espaçamento entre as ondas sonoras é menor, a pessoa escuta um som mais agudo.

O sistema DOPPLER faz uso do fenômeno de mudança da freqüência descrita acima, com a diferença que utiliza ondas de radiofreqüência.

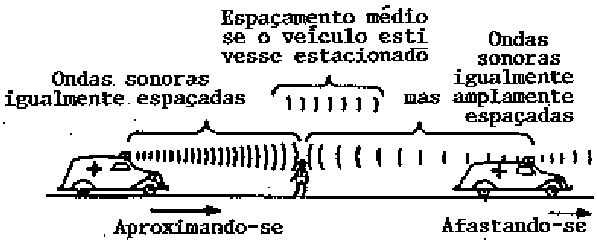

Espaçamento médio se o veículo esti vesse estacionado
Ondas sonoras igualmente espaçadas
Ondas sonoras igualmente mas amplamente espaçadas
Aproximando-se
Afastando-se

Figura 13-17 Efeito doppler nas ondas sonoras.

O sistema DOPPLER da aeronave emite feixes concentrados de energia eletromagnética numa determinada freqüência. Ao atingir a superfície da terra, estas ondas são refletidas. As ondas da energia refletida são espaçadas diferentemente em relação às ondas que atingiram a terra.

O sinal refletido é interceptado e comparado com o sinal emitido. A diferença entre eles, devido ao efeito DOPPLER, é computada para fornecer as informações de velocidade e deriva.

O teste operacional do DOPPLER no solo consiste em ajustar uma determinada indicação do "GROUND SPEED" e "DRIFT ANGLE" que resulta numa leitura determinada de erro de curso (distance-off-course).

Segue-se as instruções contidas no manual do fabricante do equipamento, ou no manual de operação da aeronave, são sempre seguidas quanto ao procedimento correto para o teste.

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

O sistema de Navegação Inercial está sendo bastante utilizado em aeronaves de grande porte, como um auxílio à navegação de longo curso. Ele é um sistema auto-suficiente, não necessitando de qualquer sinal externo. O sistema obtém informações de atitude, velocidade e rumo, medindo as acelerações da aeronave.

Para isto é necessário o uso de dois acelerômetros: um orientado para o Norte e o outro para leste. Os acelerômetros (figura 13-18) são instalados numa unidade estabilizada por giroscópios, denominada plataforma estável, para eliminar os erros resultantes da aceleração devido à gravidade.

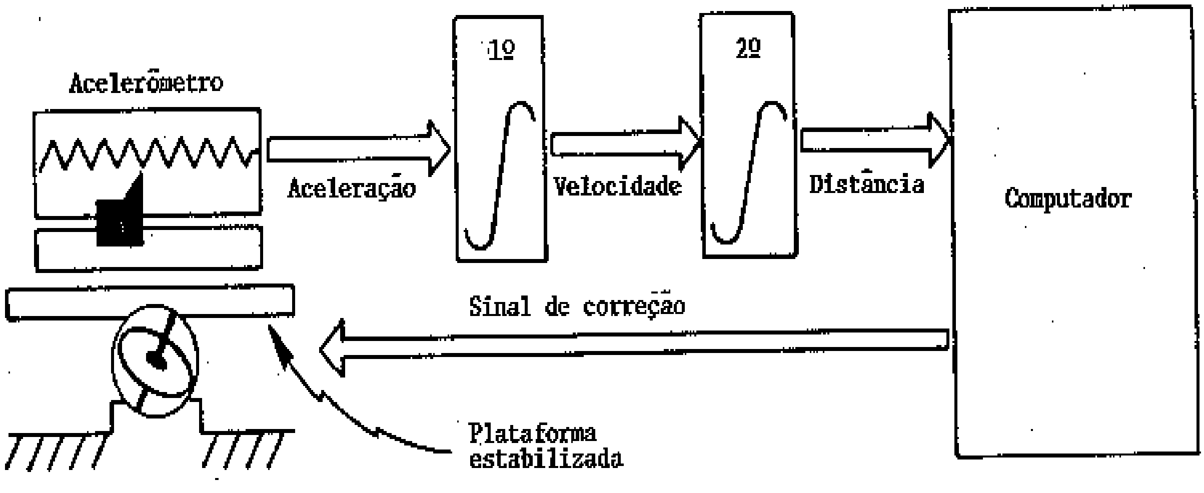


Figura 13-18 Sistema básico de navegação inercial.

Um sistema de navegação inercial é de relativa complexidade e contém quatro componentes básicos, a saber:

1) Uma plataforma estável que é orientada para manter os acelerômetros paralelos à superfície da terra, e fornecer orientação de azimute.

2) Acelerômetros montados sobre a plataforma para fornecerem as componentes específicas da aceleração.

3) Integradores que recebem sinais dos acelerômetros para fornecer velocidade e distância.

4) Um computador que receba os dados dos integradores, e converta a distância percorrida em "posição" da aeronave, apresentada pelas coordenadas latitude e longitude.

O diagrama da figura 13-18 mostra como esses componentes acham-se interligados para resolver um problema de navegação. As condições iniciais (coordenadas geográficas do local) são fornecidas ao sistema.

Na navegação inercial o termo "inicialização" é empregado com referência ao método de levar o sistema a um conjunto de condições iniciais, a partir das quais ele possa prosseguir o processo da navegação.

Essas condições iniciais compreendem o nivelamento da plataforma, o alinhamento da referência de azimute, e o fornecimento das coordenadas locais ("PRESENT POSITION"), dos "fixos" ("WAY POINTS") a atingir durante a navegação, e de velocidade atual.

Embora todos os sistemas de navegação inercial precisem ser "inicializados", o método varia de acordo com o equipamento e o tipo de aeronave no qual ele está instalado.

Os procedimentos adequados para a "inicialização" acham-se descritos nos manuais dos fabricantes. Observando-se o diagrama (figura 13-18), vê-se que os acelerômetros são mantidos na posição horizontal (paralela à superfície da terra) por uma plataforma estabilizada pelos giroscópios.

À medida que a aeronave acelera, os acelerômetros enviam um sinal aos integradores. A saída destes (distância) é então enviada ao computador, onde são realizadas duas operações: em primeiro lugar, é determinada uma "posição" em relação às informações já introduzidas; em segundo lugar, um sinal é enviado à plataforma no sentido de posicionar os acelerômetros paralelamente à superfície da terra.

Os sinais dos giroscópios de alta velocidade e dos acelerômetros acoplados aos controles de vôo permanecem inalteráveis, independentemente da atitude da aeronave.

SISTEMA DE RADAR METEOROLÓGICO

O radar ("RADIO DETECTION AND RANGING") é um equipamento destinado a detectar determinados alvos na escuridão, nevoeiro ou tempestades, bem como em tempo claro. Além do aparecimento destes alvos na tela do radar, suas distâncias e azimute são também apresentadas.

O radar é um sistema eletrônico que transmite pulsos de energia eletromagnética (RADIO), recebendo o sinal refletido do alvo. Esse sinal recebido é conhecido como "eco": o tempo compreendido entre a emissão do pulso e o recebimento do eco é computado eletronicamente, e apresentado na tela do radar (PPI) em termos de milhas náuticas.

Um sistema radar (figura 13-19) é constituído pelo transceptor/sincronizador, por uma antena parabólica instalada no nariz do avião, uma unidade de controle e um indicador ou tela fosforescente, instalados na cabine de comando. Um guia de onda interliga o transceptor à antena.

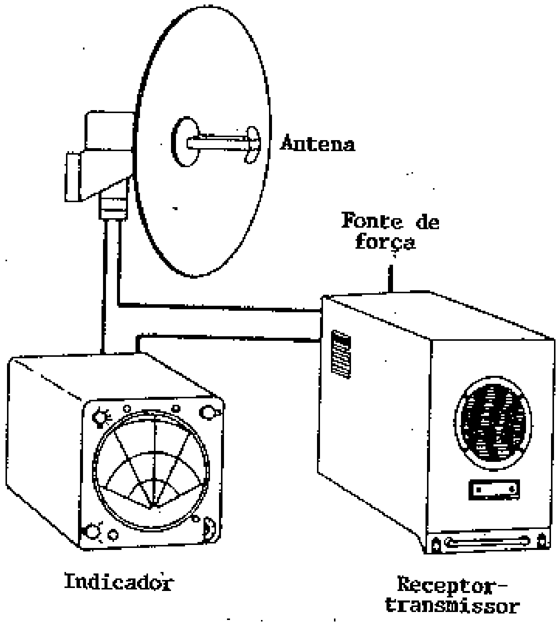


Figura 13-19 Diagrama do sistema radar meteorológico.

Durante a operação de um sistema típico de radar, o transmissor envia pulsos curtos de energia de radiofreqüência através do guia de onda à antena parabólica. Numa instalação padrão a antena irradia esta energia, concentrando-a num feixe de 3,8° de largura.

Parte da energia transmitida é refletida por objetos (alvos) situados ao alcance do feixe, e é recebida pela antena parabólica. Durante a transmissão do pulso, a antena é simultaneamente ligada ao transmissor, e desligada do receptor por comutação eletrônica.

Após a transmissão do pulso, a antena é comutada do transmissor para o receptor. O ciclo de comutação é realizado para cada pulso transmitido.

O tempo necessário para que as ondas do radar alcancem o alvo e sejam refletidas para a antena da aeronave, é diretamente proporcional à distância entre eles. O receptor mede o intervalo de tempo entre a transmissão dos sinais de radar e a recepção da energia refletida, utilizando esta informação para apresentar a distância do alvo.

A rotação ou varredura da antena e, consequentemente, do feixe de radar, proporciona as indicações de azimute. No indicador, um feixe luminoso gira em sincronismo com a antena. O indicador apresenta o local e tamanho relativo do alvo, e também sua posição em azimute relativa à direção do vôo.

O radar meteorológico aumenta a segurança do vôo, pois permite ao piloto detectar tempestades na sua rota e, conseqüentemente, contorná-las

O radar ainda possibilita o mapeamento do terreno, mostrando a linha da costa. ilhas ou outros acidentes geográficos ao longo da rota. Estas indicações são apresentadas no indicador visual (PPI) com à distância e o azimute relativo à proa da aeronave.

O teste operacional do sistema radar consiste no seguinte:

1) Posicionar a aeronave em local afastado de edifícios ou aeronaves estacionadas.

2) Ligar o equipamento (STBY), e aguardar o tempo necessário para o aquecimento do equipamento.

3) Movimentar a antena para cima.

4) Iniciar a operação do radar, observando o indicador quanto a apresentação de possíveis alvos.

SISTEMA RÁDIO-ALTÍMETRO

Os rádio-altímetros são utilizados para medir a distância da aeronave à terra. Isto é realizado transmitindo-se energia de radiofreqüência, e recebendo o sinal refletido. Os rádio-altímetros modernos são em sua maioria do tipo de emissão de pulso, sendo a altitude calculada pela medição do tempo necessário para o pulso transmitido atingir a terra e retornar à aeronave. O indicador do radio-altímetro apresentará a altitude verdadeira da aeronave, seja sobre água, montanhas, edifícios ou outros objetos sobre a superfície da terra. Atualmente, os radio-altímetros são basicamente utilizados durante o pouso, sendo uma exigência para a Categoria II.

As indicações do altímetro determinam o ponto de decisão para continuar o pouso ou arremeter.

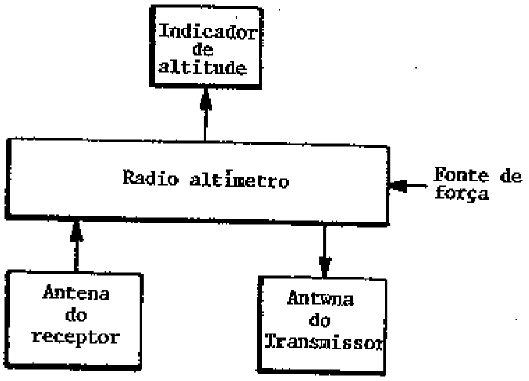


Figura 13-20 Diagrama típico do sistema radio-altímetro.

O sistema radio-altímetro (figura 13-20) consiste de um transceptor, normalmente localizado no compartimento eletrônico, um indicador instalado no painel de instrumento, e duas antenas localizadas na parte inferior da fuselagem.

TRANSMISSOR LOCALIZADOR

O transmissor localizador de emergência (ELT) é um transmissor que emite um sinal de alarme nas freqüências de emergência civil ou militar. Sua operação é automática na ocorrência de um impacto, podendo ainda ser iniciada através de um controle na cabine de comando ou interruptor no próprio transmissor.

O transmissor localizador de emergência (figura 13-21) acha-se normalmente instalado no estabilizador vertical do avião; e no caso de acionamento por impacto (através do sensor localizado no transmissor), só poderá ser desligado por um controle localizado no próprio transmissor.

O transmissor pode estar localizado em qualquer lugar da aeronave. No entanto, a localização ideal é o mais próximo possível da cauda, perto ou no estabilizador vertical.

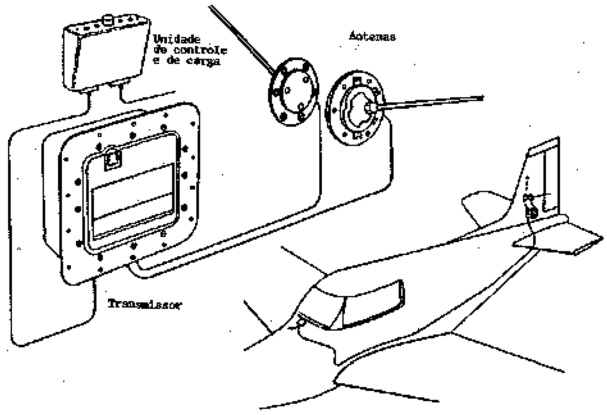


Figura 13-21 Transmissor localizador de emergência.

O equipamento deve estar acessível para permitir o monitoramento da data de substituição da bateria, e para armar ou desarmar a unidade. Um controle adicional para armar/desarmar pode ser instalado na cabine do piloto.

As baterias são a fonte de energia dos transmissores localizadores de emergência. Quando ativada, a bateria deve ser capaz de fornecer energia para a transmissão do sinal por no mínimo 48 horas.

A vida útil da bateria é o período de tempo durante o qual ela pode ser estocada sem perder capacidade de operar continuamente o ELT por 48 horas, sendo estabelecido pelo fabricante da bateria.

As baterias devem ser trocadas ou recarregadas, conforme requerido, quando atingirem 50% de suas vidas úteis.

Isto faz com que o ELT opere adequadamente, se ativado. A data de substituição da bateria deve estar visível no exterior do transmissor, sendo calculada a partir dos dados do fabricante.

As baterias podem ser de níquel-cádmio, lítio, dióxido de magnésio, ou do tipo "célula-secas".

A bateria que utiliza água tem um tempo de estocagem limitada, até que seja necessário adicionar a água.

Este ponto é a referência para calcular a sua permanência num ELT; ou seja, deverá ser trocada ou recarregada com 50% do seu tempo de estocagem, sem requerer adição de água.

Quando se substituir baterias, deve-se sempre usar as recomendadas pelo fabricante do ELT. Não se deve usar baterias do tipo utilizado em lanternas, uma vez que suas condições e vida útil são desconhecidas.

O teste operacional do transmissor de emergência pode ser executado sintonizando-se um receptor de comunicações na freqüência de emergência (121,5 MHz) e ativando-se o transmissor através do controle remoto. Desliga-se o equipamento logo que o sinal de emergência seja ouvido.

INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE COMUNICAÇÃO E NAVEGAÇÃO

Antes de qualquer modificação ser realizada no equipamento rádio de uma aeronave, quer seja devido a novas instalações ou alterações nos sistemas, vários fatores devem ser considerados: o espaço disponível, o tamanho e peso do equipamento, bem como as modificações realizadas anteriormente.

Por outro lado, o consumo de energia devido à nova instalação deve ser calculado para determinar a máxima carga elétrica contínua.

A instalação deve ser cuidadosamente planejada a fim de permitir fácil acesso para inspeção, manutenção e troca de unidades.

A instalação do equipamento é um trabalho basicamente mecânico, compreendendo recortes de chapas metálicas para montagem das unidades, suportes, antenas, etc.

As rotas de passagem dos fios de interligação, cabos, fios da antena, etc., são também uma parte importante no processo da instalação. Ao escolher o local para o equipamento, leva-se inicialmente em consideração as áreas recomendadas pelo fabricante da aeronave.

Se tal informação não estiver disponível ou se a aeronave não possui provisão para equipamento adicional, seleciona-se uma área que aguente o peso do equipamento e que seja capaz de suportar os esforços adicionais de inércia. Se o equipamento precisar ser montado no painel de instrumentos, e não houver provisão para este tipo de instalação, verifica-se se o painel faz parte da estrutura básica antes de fazer qualquer recorte.

Para aliviar a carga sobre um painel de instrumentos estacionário, instala-se uma cantoneira (figura 13-22) entre a parte traseira da caixa, ou suporte da unidade, e o local próximo da estrutura da aeronave.

O equipamento rádio deve ser montado firmemente no avião. Todos os parafusos devem ser providos de dispositivos frenantes para evitar afrouxamento devido à vibração.

Deve-se manter o espaçamento adequado entre o equipamento rádio e a estrutura adjacente, evitando danos mecânicos à fiação ou equipamento rádio decorrentes de vibração, atrito ou pouso brusco.

Não se instala a fiação ou o equipamento rádio próximo a unidades contendo fluídos combustíveis. Quando este afastamento for impraticável, instala-se chapas defletoras ou carenagens, para evitar a contaminação do equipamento rádio com fluídos combustíveis no caso de falha de tubulações.

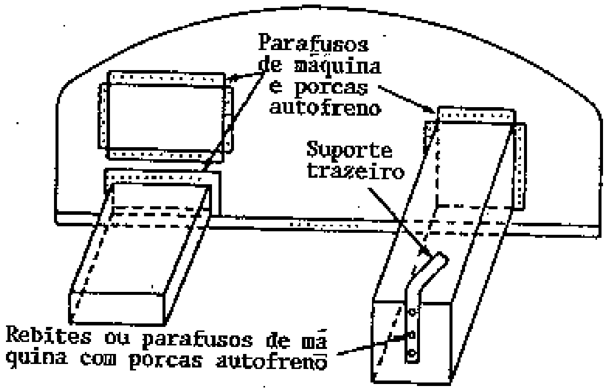

Parafusos de maquina e porcas autofreno
Suporte trazeiro
Rebites ou parafusos de má quina com porcas autofreno

Figura 13-22 Instalação típica de equipamento rádio num painel estacionário de instrumentos.

Arrefecimento e Umidade

O desempenho e a vida útil de quase todos os equipamentos rádio são seriamente limitados por temperaturas excessivas.

A instalação deve ser planejada, de modo que o equipamento rádio possa dissipar rapidamente seu calor.

Em algumas instalações pode haver necessidade de se produzir um fluxo de ar através das unidades, quer utilizando um exaustor ou um venturi.

A presença de água no equipamento rádio provoca rápida deterioração nos componentes expostos.

Algum processo deverá ser utilizado para evitar a entrada de água nos compartimentos que abrigam o equipamento rádio.

Isolamento da Vibração

A vibração é um movimento contínuo ocasionado por uma força osciladora.

A amplitude e a freqüência de vibração da estrutura da aeronave varia consideravelmente com seu tipo.

O equipamento rádio é muito sensível à vibração ou choque mecânico, sendo normalmente instalado em bases à prova de choque para proteção contra vibração do vôo ou choque, devido ao pouso.

Quando bases especiais (figura 13-23) são utilizadas para isolar o equipamento rádio da vibração da estrutura, elas devem proporcionar isolamento adequado contra toda gama de possíveis freqüências de vibração.

Ao se instalar amortecedores, é preciso se certificar de que o peso do equipamento não se exceda a capacidade dos amortecedores.

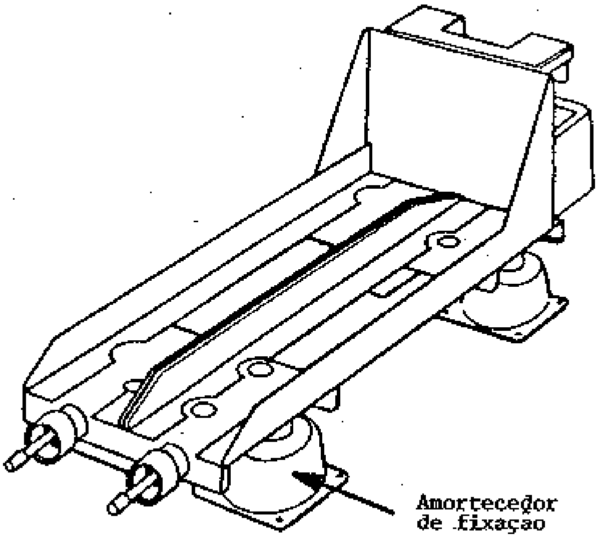


Figura 13-23 Base típica à prova de choques.

As unidades de rádio instaladas nos painéis de instrumentos geralmente não necessitam de proteção contra vibração, posto que o painel é normalmente montado à prova de choque. Entretanto, deve-se observar se o peso adicional pode ser suportado pela base de montagem. Em certos casos, pode haver necessidade de instalar bases mais reforçadas ou aumentar o número de pontas de fixação.

O equipamento rádio, instalado sobre bases amortecedoras, deve ser devidamente afastado de outros equipamentos, para permitir a oscilação normal do mesmo.

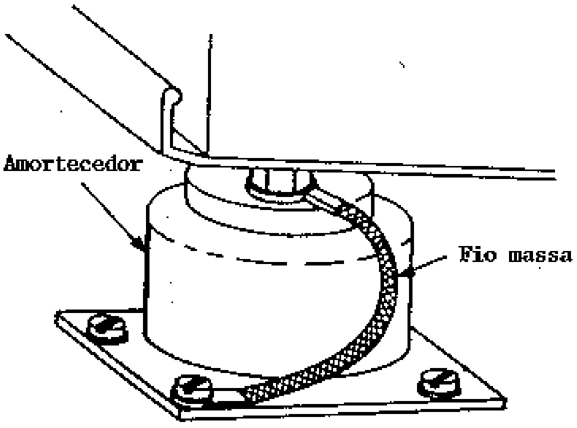


Figura 13-24 Fio-massa típico de amortecedor.

A inspeção das bases deve ser feita periodicamente, substituindo-se as que estiverem defeituosas por outras do mesmo tipo.

Os pontos a serem observados durante a inspeção são:

(1) Deterioração do amortecedor;

(2) dureza e elasticidade do material; e

(3) rigidez geral da base.

Se a base estiver sem flexibilidade, pode não oferecer proteção adequada contra o choque durante o pouso.

Entretanto, se não possuir certa rigidez, pode permitir o prolongamento inadequado das vibrações após o choque inicial. Os materiais empregados nos amortecedores das bases à prova de choque são geralmente isolantes elétricos. Por este motivo, toda unidade eletrônica montada em base à prova de choque, deve ser eletricamente ligada à estrutura da aeronave, conforme mostra a figura 13-24. Pode-se também utilizar lâminas metálicas de alta condutibilidade (cobre ou alumínio), onde for impraticável o uso de fio-massa.

REDUÇÃO DA RADIOINTERFERÊNCIA

A supressão da radiointerferência é uma tarefa da maior relevância. O problema tem aumentado proporcionalmente à complexidade do sistema elétrico e do equipamento eletrônico. Quase todos os componentes da aeronave constituem possível fonte de radiointerferência que, se não for eliminada, pode prejudicar o desempenho e precisão dos sistemas de rádio e eletrônicos.

O isolamento é o método mais fácil e prático na supressão da radiointerferência. Isto implica em afastar as fontes geradoras da radiointerferência dos circuitos de entrada no equipamento afetado.

Em muitos casos, o ruído num receptor pode ser inteiramente eliminado, afastando-se o fio de entrada da antena em algumas polegadas da fonte causadora da interferência. Algumas fontes de radiointerferência na aeronave são os dispositivos elétricos rotativos, os comutadores, os sistemas de ignição, os sistemas de controle das hélices, as linhas de energia de CA e os reguladores de voltagem.

Uma aeronave pode ficar com elevada carga estática durante o vôo. Se suas partes metálicas não estiverem eletricamente interligadas, isto é, com o mesmo potencial (considerado o neutro ou retorno de toda fonte de energia elétrica a bordo), haverá uma diferença de potencial entre diversas superfícies metálicas.

A neutralização ou equalização das cargas acumuladas nestas superfícies (principalmente entre as superfícies móveis e a estrutura do avião) é conseguida através da interligação entre elas por intermédio de fios condutores, semelhantes a malhas metálicas flexíveis, firmemente presas às superfícies. Este processo é conhecido como "BONDING" (ligação à massa).

Não havendo, pois, um contato perfeito entre as superfícies através do "BONDING", a neutralização das cargas elétricas far-se-á através de contatos intermitentes, produzindo ruídos nos radioreceptores.

O "BONDING" executa não somente a ligação elétrica necessária entre as partes metálicas da aeronave, como também é utilizado para fornecer ao equipamento rádio um retorno à massa de baixa impedância.

Qualquer que seja o tipo do condutor utilizado para desempenhar a tarefa de "BONDING", deve ser ele o mais curto possível, não excedendo de 0,003 ohms sua resistência elétrica em relação à estrutura.

Quando o condutor for instalado, não tendo em vista desempenhar o papel de fio-massa ou de retorno de corrente, sua resistência poderá ser da ordem de 0,01 ohm.

A estrutura da aeronave serve como massa ou ponto de potencial nulo para o equipamento rádio.

O desempenho deste equipamento depende do equilíbrio a ser mantido entre a estrutura da aeronave e a antena. Isto significa manter constante a superfície utilizada como massa. Entretanto, considerando que uma superfície de controle possa ficar intermitentemente isolada da estrutura, este fato prejudicaria a operação do rádio na eventualidade de uma deficiência de "BONDING".

A blindagem é também um dos métodos mais eficientes na supressão da radiointerferência.

O objetivo básico da blindagem é conter eletricamente o ruído causado pela radiofreqüência. Nas aplicações práticas, o sinal causador do ruído circula da superfície interna da blindagem para a massa, deixando assim de ser irradiado no espaço.

A utilização da blindagem é particularmente eficaz quando não é possível instalar filtros. Um bom exemplo é o caso em que a interferência é irradiada por uma fonte e captada por diversos circuitos que, eventualmente estão, ligados à entrada de um receptor.

Seria impraticável instalar filtros em todos os fios ou unidades afetadas pela interferência. Deste modo, a utilização da blindagem é a solução mais prática, porquanto, a interferência irradiada, é eliminada na própria fonte.

Os circuitos de ignição e as velas são geralmente blindados para reduzir a radiointerferência. Ocorrendo um intolerável nível de ruído, embora utilizando blindagem, torna-se necessário instalar um filtro entre o magneto e seu controle.

O filtro pode ser constituído por um único condensador, ou por uma combinação de condensadores e bobinas. O uso do filtro normalmente dispensa a blindagem.

O tamanho do filtro é muito variável, dependendo não só da voltagem e corrente como também do grau de atenuação desejado. Os filtros acham-se geralmente incorporados ao equipamento, passível de provocar radiointerferência.

Entretanto, sendo isto algumas vezes impraticável, torna-se necessário instalar os filtros externamente.

Descarregadores de Estática

Os descarregadores de estática acham-se instalados na aeronave para reduzir a interferência nos radioreceptores, ocasionada pela descarga devido ao efeito corona.

Essa descarga ocorre na aeronave, como resultado da precipitação estática, em curtos pulsos que produzem ruído no espectro de radiofreqüência.

Os descarregadores de estática, normalmente instalados nos bordos de fuga das superfícies de controle, pontas das asas e no estabilizador vertical, descarregam a precipitação estática por pontos estrategicamente afastados das extremidades da asa e da cauda da aeronave, onde não possa ocorrer acoplamento da estática na antena do rádio.

Os principais tipos de descarregadores de estática usados atualmente são:

1) Cabo trançado flexível, impregnado de prata ou carbono e recoberto com vinil.

2) Cabo trançado metálico semiflexível.

3) Campo nulo.

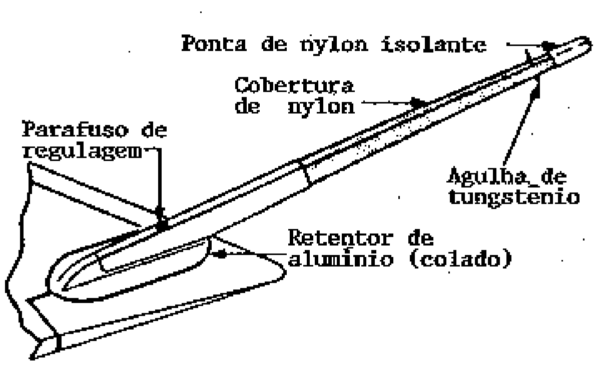


Figura 13-25 Descarregador de estática do tipo "campo nulo".

Os descarregadores flexíveis e semiflexíveis são presos à aeronave por parafusos metálicos, e devem ser periodicamente inspecionados quanto à fixação.

Pelo menos 1 polegada do trançado deve estar exposta nos descarregadores recobertos com vinil.

Os descarregadores do tipo "campo nulo" (figura13-25) são rebitados à estrutura da aeronave, utilizando-se ainda adesivo de epoxi para melhor aderência. A resistência entre sua base de fixação e a estrutura não deve exceder de 0,1 ohm.

INSTALAÇÃO DE ANTENAS NA AERONAVE

O conhecimento básico do equipamento rádio é bastante útil ao mecânico de aviação, especialmente sobre a instalação e manutenção da antena, por isso estes serviços são geralmente executados pelo mecânico.

As antenas apresentam diversos formatos e tamanhos, dependendo do tipo de equipamento em que são instaladas. As antenas da aeronave devem ser mecanicamente bem seguras, instaladas em locais livres de interferência, ter a mesma polarização que a estação terrestre e possuir a mesma impedância que o transmissor ou receptor a que estão ligadas.

O processo de instalação de uma antena rígida típica pode ser assim descrito:

1) Colocar o gabarito, semelhante ao apresentado na figura 13-26, sobre a linha de centro longitudinal da localização desejada. Fazer os furos de fixação e o furo de diâmetro correto para o cabo da linha de transmissão, na chapa da fuselagem.

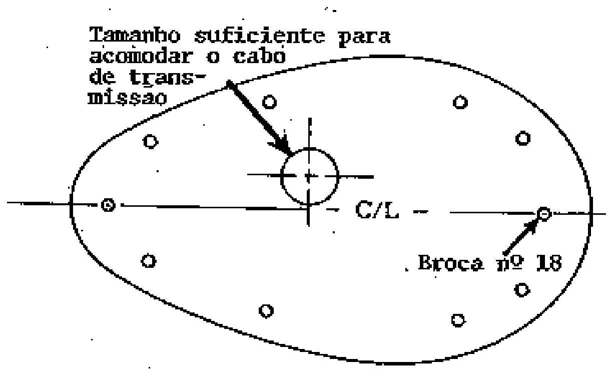


Figura 13-26 Gabarito de montagem da antena.

2) Instalar uma chapa de espessura suficiente para reforçar a fuselagem da aeronave. O comprimento e a largura da chapa de reforço devem ser aproximadamente os apresentados na figura 13-27.

3) Instalar a antena na fuselagem, certificando-se que os parafusos estejam adequadamente fixados, e a antena bem fixada na gaxeta. Se a gaxeta não for usada, deve-se selar entre a fuselagem e a antena com pasta de cromato de zinco, ou selante equivalente.

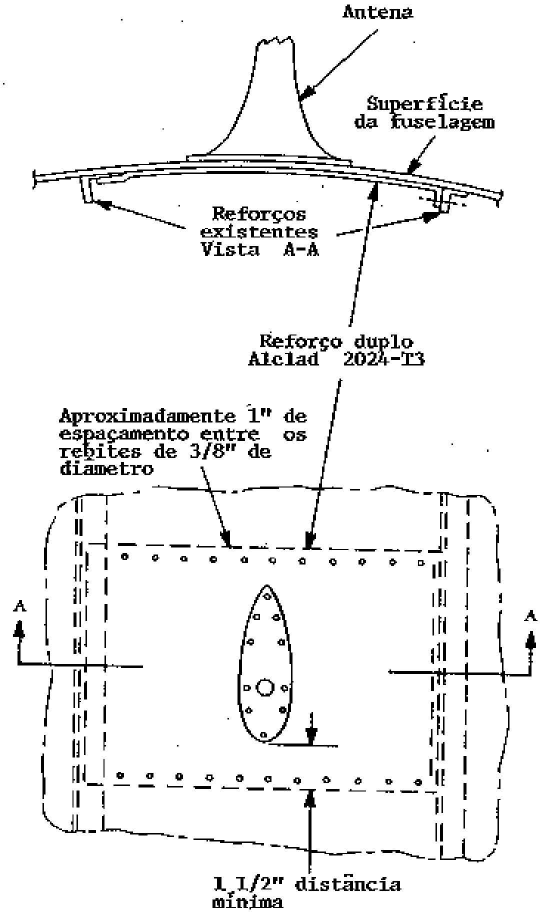

Antena
Superfície da fuselagem
Reforços existentes Vista A-A
Reforço duplo Alclad 2024-T3
Aproximadamente 1" de espaçamento entre os rebites de 3/8" de diametro
A
A
1 1/2" distância mínima

Figura 13-27 Instalação típica de uma antena sobre a fuselagem.

Linhas de Transmissão

Uma antena de transmissão ou recepção é ligada diretamente ao respectivo transmissor ou receptor por fio(s) blindado(s). O(s) fio(s) de interligação são chamados cabos coaxiais.

A função de uma linha de transmissão (cabo coaxial) é transferir a energia de radiofreqüência do transmissor à antena, onde será irradiada, com uma perda mínima de energia. A linha de transmissão liga o amplificador de potência final do transmissor à antena transmissora. A linha de transmissão para o receptor liga a antena ao primeiro circuito sintonizado do receptor. As linhas de transmissão podem variar em comprimento desde alguns até muitos pés.

Os ATC, DME e outros tipos de transceptores de pulsos de radiofreqüência necessitam de linhas de transmissão com comprimento exato. O comprimento crítico das linhas de transmissão apresentam uma atenuação mínima ao sinal transmitido ou recebido. Consulta-se o manual de instalação do fabricante do equipamento quanto ao tipo e tamanho adequados da linha de transmissão.

O cabo coaxial é utilizado na maioria das instalações de linhas de transmissão, sendo uma linha não balanceada que funciona com uma antena balanceada. Para se obter o correto casamento de impedância e, conseqüentemente, a mais eficiente transferência de energia, utiliza-se um casador de impedância ("BALUN"), que é parte integrante da antena, e só é visível ao se desmontá-la.

Ao se instalar um cabo coaxial (linhas de transmissão), fixa-se o cabo seguramente ao longo de sua extensão, a intervalos de 2 pés aproximadamente.

Como garantia de ótima operação, os cabos coaxiais não devem ser instalados ao longo, nem presos a outros conjuntos de fios. Se for necessário desviar o cabo coaxial, é preciso que o diâmetro da curva seja pelo menos 10 vezes maior que o diâmetro do cabo.

Rotina de Manutenção

Instruções detalhadas, procedimentos e especificação para a manutenção do equipamento rádio acham-se descritos nos manuais de operação e de manutenção do fabricante.

As instruções para remoção e instalação das unidades encontram-se no manual de manutenção do avião, no qual o equipamento acha-se instalado.

Embora a instalação pareça ser uma operação simples, muitas falhas ou mau funcionamento do equipamento rádio, podem ser atribuídas à falta de atenção ao substituir uma unidade, notadamente no que diz respeito a ligações frouxas dos cabos, inversão de ligações, "BONDING" deficiente, frenagem incorreta ou, deixar de realizar um teste operacional após a instalação.

Dois aspectos adicionais precisam ser enfatizados a respeito da instalação de equipamento: o bom estado das bases à prova de choque e os elementos de "BONDING". Após a instalação, a unidade e a cablagem são devidamente frenadas.

CAPÍTULO 14

SISTEMA DE AR CONDICIONADO E PRESSURIZAÇÃO

INTRODUÇÃO

O oxigênio é necessário para a maioria dos processos vitais. Antes que a ausência de oxigênio leve um ser vivo à morte subitamente, uma redução no suprimento normal de oxigênio para os tecidos do corpo pode produzir importantes mudanças em suas funções, nos processos mentais e graus de consciência.

A condição de inatividade da mente e do corpo, causada pela deficiência ou perda de oxigênio é chamada hipoxia. Existem várias causas de hipoxia, mas uma, relacionada à operação de aeronaves, é o decréscimo na pressão parcial do oxigênio nos pulmões.

A razão pela qual os pulmões absorvem oxigênio depende da pressão do oxigênio. Essa pressão exerce cerca de um quinto da pressão total do ar em qualquer nível. Ao nível do mar o valor desta pressão (3PSI) é suficiente para saturar o sangue. Todavia, se ela é reduzida por causa da pressão atmosférica na altitude ou por causa do decréscimo da percentagem de oxigênio no ar respirado, a quantidade de oxigênio no sangue, deixando os pulmões, cai, e então, segue-se a hipoxia.

Do nível do mar até 7.000 pés sobre o nível do mar, o oxigênio contido e a pressão na atmosfera permanece suficientemente alta para manter quase total a saturação do sangue com oxigênio, e então assegurar as funções normais do corpo e da mente.

A uma grande altitude ocorre uma queda na pressão barométrica, resultando em um decréscimo do oxigênio contido no ar inalado. Conseqüentemente, o oxigênio contido no sangue é reduzido.

A 10.000 pés sobre o nível do mar, a saturação de oxigênio do sangue é cerca de 90%. Uma longa permanência nessa altitude resultará em dor de cabeça e fadiga. A saturação de oxigênio cai a 81% a 15.000 pés sobre o nível do mar. Este decréscimo resultará em sonolência, dor de cabeça, lábios e unhas azuladas, enfraquecimento da visão e julgamento, acréscimo no ritmo cardíaco e respiratório, e algumas mudanças na personalidade.

A 22.000 pés acima do nível do mar, a saturação do sangue é de 68% e convulsões são possíveis de ocorrer. Permanecer sem suprimento de oxigênio a 25.000 pés por 5 minutos, quando a saturação do sangue cai para 55% - 50%, causará perda da consciência.

COMPOSIÇÃO DA ATMOSFERA

A mistura de gases comumente chamada ar, mas tecnicamente denominada atmosfera é composta principalmente de nitrogênio e oxigênio, existindo ainda pequenas quantidades de outros gases importantes, tais como dióxido de carbono, vapor d'água e ozônio. A figura 14-1 mostra a respectiva porcentagem da quantidade de cada gás em relação à mistura total.

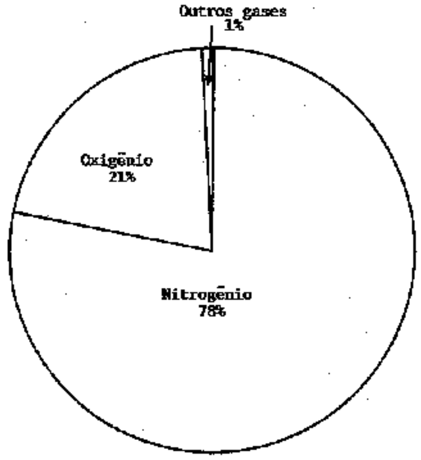


Figura 14-1 Os gases da atmosfera.

Conforme a altitude aumenta, a quantidade total de todos os gases atmosféricos reduz rapidamente, e, exceto para vapor d'água e ozônio, as proporções relativas da mistura gasosa permanecem inalteradas acima de cerca de 50 milhas de altitude. Acima de 50 milhas de altitude, modificações acontecem, e diferentes gases, assim como novas formas de gases, presentes nas altitudes mais baixas, aparecem.

O nitrogênio é o gás mais comum e compreende 78% da mistura total dos gases atmosféricos. Todavia, até onde o homem conhece, o nitrogênio é um gás inerte, o que não pode ser usado diretamente para o seu próprio processo vital. Biologicamente ele é de importância imensa, porque muitos compostos contendo nitrogênio são essenciais a toda matéria viva.

O oxigênio e sua importância não pode ser subestimado. Sem oxigênio, a vida, como nós a conhecemos, não pode existir. O oxigênio ocupa 21% da mistura total dos gases atmosféricos.

O dióxido de carbono é de interesse biológico. A pequena quantidade na atmosfera é usada pelas plantas para produzir as complexas substâncias, utilizadas pelos animais como alimento. O dióxido de carbono também auxilia no controle da respiração do homem e outros animais.

O vapor d'água na atmosfera é variável, entretanto, embora sob as condições de umidade ao nível do mar, ele raramente excede 5%; esse gás ainda absorve muito mais energia do sol que os outros gases. O vapor não é a única forma na qual a água ocorre na atmosfera; água e partículas de gelo estão quase sempre presentes. Essas partículas de gelo também absorvem energia e, com o vapor d'água, executam uma parte importante na formação das condições atmosféricas.

O ozônio é uma variedade de oxigênio, o qual contém três átomos de oxigênio por molécula, além dos dois usuais. A maior porção de ozônio na atmosfera é formada pela interação do oxigênio e dos raios solares, próximo ao topo da camada de ozônio.

O ozônio é também produzido por descargas elétricas, daí o odor peculiar de ozônio, que é, de algum modo, semelhante ao cheiro da água clorada, e que pode ser detectado após os relâmpagos.

As auroras e raios cósmicos também podem produzir ozônio. O ozônio é de grande importância para as criaturas vivas na terra e para a circulação da atmosfera superior, assim como para os organismos vivos devido à sua capacidade de filtragem da maior parte dos raios ultravioleta da radiação solar.

Pressão da atmosfera

Os gases da atmosfera (ar), embora invisíveis, têm peso exatamente como a matéria sólida. O peso de uma coluna de ar tomada da superfície da terra para o espaço é chamado de pressão atmosférica. Se esta coluna é de 1 sq.in, o peso do ar ao nível do mar é de aproximadamente 14.7 lbs., e a pressão atmosférica, em conseqüência, pode ser definida como 14.7 P.S.I ao nível do mar.

Outro modo comum de definição da pressão atmosférica é dar o peso de uma coluna de mercúrio, que pesa o mesmo que uma coluna de atmosfera de mesma seção reta. Quando medida deste modo, a pressão atmosférica ao nível do mar é normalmente 1013.2 milibares, ou 29.92 polegadas de mercúrio.

A pressão atmosférica decresce com o aumento da altitude. A razão para isso é muito simples: a coluna de ar que é pesada é menor. A figura 14-2 mostra como a pressão muda para uma dada altitude. A queda de pressão é rápida, e a 50.000 pés a pressão atmosférica cai a quase um décimo do valor ao nível do mar. A umas poucas centenas de milhas sobre a terra, o ar torna-se tão rarefeito que a atmosfera pode ser considerada não-existente. A linha de demarcação com o espaço é muito vaga.

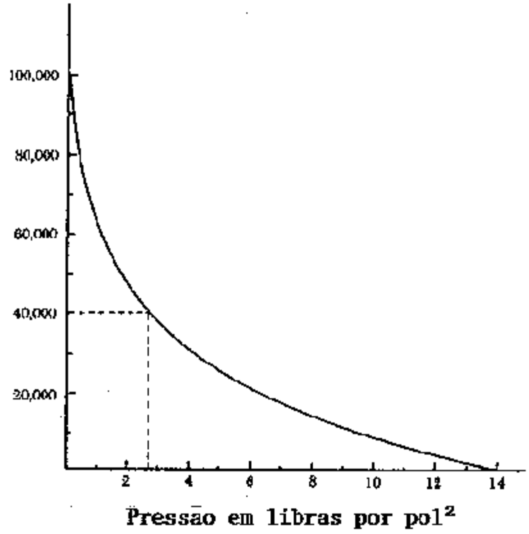


Figura 14-2 Variação da pressão com a altitude

Como a pressão atmosférica reduz com a altitude. Por exemplo, ao nível do mar a pressão é 14,7 P.S.I., enquanto que a 40.000 ft, como as linhas pontilhadas mostram, a pressão é de somente 2,72 P.S.I.

Temperatura e altitude

As variações na temperatura atmosférica próximo à terra são bem conhecidas, e não necessita discussão. Todavia em altas altitudes a temperatura atmosférica não é tão variável, mas tende a ter um padrão.

A meteorologia acha conveniente definir, um pouco arbitrariamente, a atmosfera como sendo feita em várias camadas. A mais baixa delas é chamada troposfera. A temperatura do ar diminui com o aumento da altitude na troposfera, encontrando um determinado mínimo no topo da camada. O topo da atmosfera é chamado de tropopausa. A tropopausa encontra sua maior altura sobre o Equador (cerca de 60.000 ft) e sua altura mais baixa sobre os pólos (cerca de 30.000 ft). A tropopausa marca o ponto no qual a temperatura do ar para de cair com o aumento da altitude, e permanece essencialmente constante.

A camada atmosférica sobre a tropopausa é chamada de estratosfera. A estratosfera mais baixa é uma região isotérmica (temperatura constante) na qual a temperatura não varia com a altitude.

A região isotérmica continua acima –cerca de 82.000 pés a 115.000 pés de altitude. Acima deste nível, a temperatura aumenta bruscamente (de 1,5º C. por cada 1.000 pés).

A temperatura alcança o pico a cerca de 164.000 pés a 197.000 pés de altitude. Acima de 197.000 pés de altitude (aproximadamente), a temperatura cai novamente, alcançando um mínimo de -10º F a -100º F a cerca de 230.000 pés a 262.000 pés de altitude. Acima deste nível, a temperatura novamente aumenta e, aparentemente, continua a crescer até o limite do espaço.

Os parágrafos precedentes apresentaram um conhecimento geral da atmosfera. É óbvio que um meio de prevenir a hipoxia e seus efeitos deve ser proporcionado. Quando uma pressão atmosférica cai abaixo de 3 P.S.I. (aproximada-mente 40.000 pés), mesmo respirando oxigênio puro não é suficiente.

A baixa pressão parcial do oxigênio, a baixa pressão do ar ambiente, e temperatura a alta altitude, tornam necessário criar o próprio meio ambiente para o conforto do passageiro e tripulação. O problema mais difícil é a manutenção da pressão parcial de oxigênio correta no ar inalado. Isto pode ser alcançado pela utilização de oxigênio, cabines pressurizadas, ou vestimenta pressurizada. O primeiro e segundo método são de uso extensivo na aviação civil.

A pressurização da cabine de aeronave é hoje o método aceito para proteger pessoas contra os efeitos da hipoxia. Dentro de uma cabine pressurizada, os passageiros podem ser transportados confortavel e seguramente por longos períodos de tempo, particularmente se a altitude da cabine é mantida a 8.000 pés, ou menos, onde o uso de equipamento de oxigênio não é requerido.

Todavia, a tripulação nesse tipo de aeronave deve ser alertada sobre o perigo da perda acidental da pressão da cabine, e deve ser preparada para enfrentar uma emergência, caso ela ocorra.

PRESSURIZAÇÃO

Quando uma aeronave voa a uma alta altitude, ela consome menos combustível para uma determinada velocidade, comparando com o que ela faria em uma altitude mais baixa; em outras palavras, a aeronave é mais eficiente em altas altitudes. Mau tempo e turbulência podem ser evitados, voando em um ar relativamente calmo acima das tempestades. Aeronaves que não têm pressurização e sistema de ar condicionado são normalmente limitadas a baixas altitudes.

Um sistema de pressurização de cabine deve executar várias funções, se ele foi projetado para assegurar conforto e segurança para os passageiros. Esse sistema deve ser capaz de manter uma altitude de pressão de cabine de aproximadamente 6.000 pés à máxima altitude de cruzeiro prevista para a aeronave.

O sistema também deve ser projetado para prevenir rápidas mudanças de altitude de cabine que possam ser desconfortáveis ou danosas aos passageiros e tripulantes. Além do mais, o sistema de pressurização deve permitir uma troca rápida do ar da cabine. Isto é necessário para eliminar o odor e remover o ar viciado.

Em um sistema de pressurização típico, a cabine de comando e a de bagagem são incorporadas em uma unidade selada, que é capaz de conter ar sob uma pressão maior que a pressão atmosférica externa.

O ar pressurizado é bombeado para dentro dessa fuselagem selada por super carregadores de cabine, os quais fornecem um volume relativamente constante de ar a todas as altitudes até um teto máximo.

O ar é liberado da fuselagem por um dispositivo chamado válvula de fluxo de saída. Desde que os compressores forneçam um fluxo constante de entrada de ar para a área pressurizada, a válvula de fluxo de saída, pela regulagem da saída de ar, é o elemento mais importante no sistema de pressurização.

O fluxo de ar através de uma válvula de fluxo de saída é determinado pelo grau de abertura da válvula. Essa válvula é normalmente controlada por um sistema automático que pode ser ajustado pelos tripulantes.

Alguns poucos, simples e pequenos ajustes são necessários, mas a maior parte do tempo, controles automáticos necessitam apenas de monitoramento.

No caso de mal funcionamento dos controles automáticos, controles manuais estão disponíveis. Um esquema de um sistema básico de pressurização é mostrado na figura 14-3.

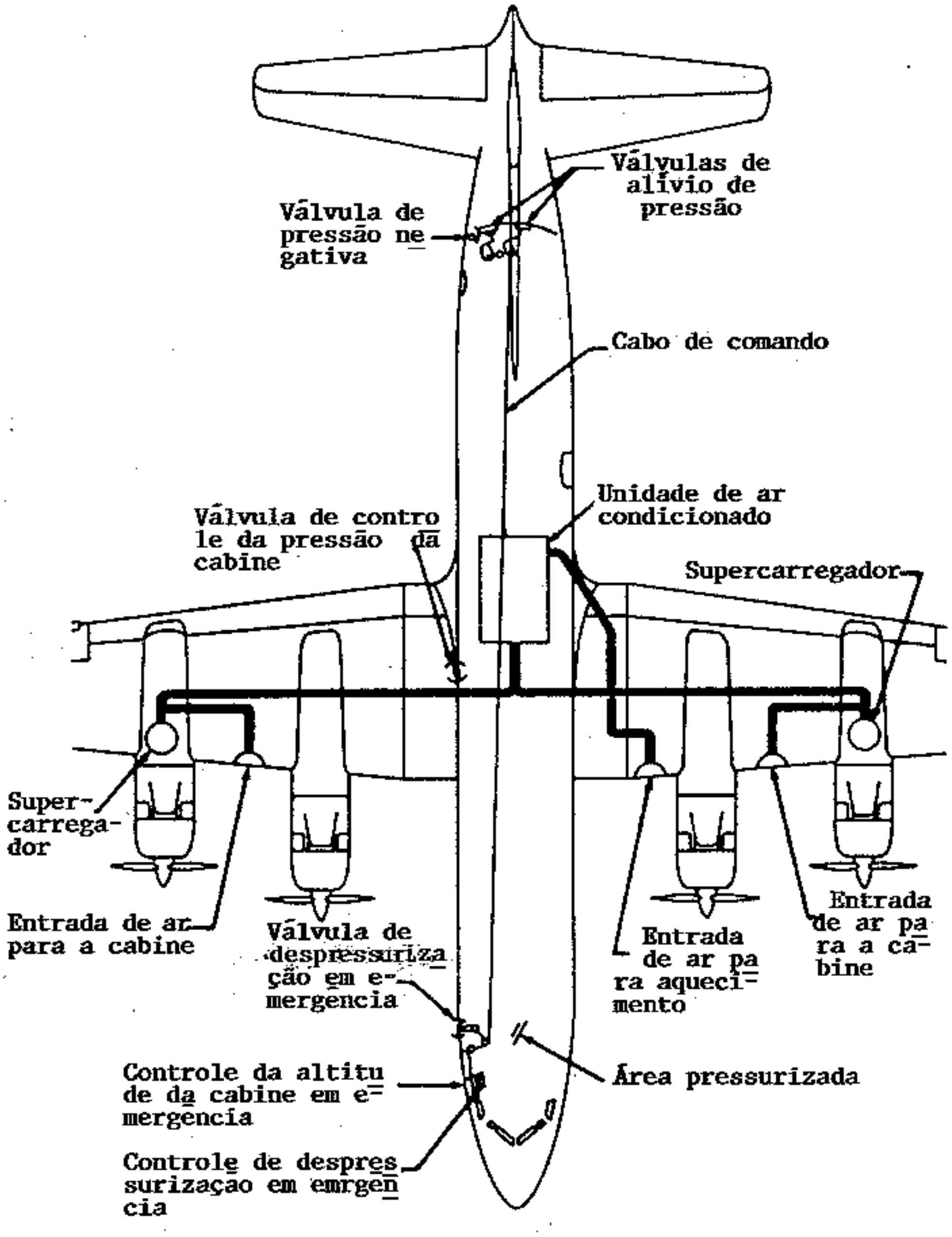

Válvulas de alívio de pressão
Válvula de pressão negativa
Cabo de comando
Unidade de ar condicionado
Válvula de controle da pressão da cabine
Supercarregador
Supercarregador
Entrada de ar para a cabine
Válvula de despressurização em emergencia
Entrada de ar para aquecimento
Entrada de ar para a cabine
Controle da altitude da cabine em emergencia
Área pressurizada
Controle de despressurização em emrgencia

Figura 14-3 Sistema básico de pressurização.

O grau de pressurização e, portanto, a altitude de operação da aeronave são limitados por vários fatores críticos de projeto. Basicamente a fuselagem é projetada para suportar uma máxima pressão diferencial específica de cabine. A pressão diferencial de cabine é a razão entre as pressões de ar interna e externa sobre o revestimento da fuselagem.

Se a pressão diferencial torna-se muito grande, danos estruturais à fuselagem podem ocorrer. Em adição, a pressurização é limitada pela capacidade dos supercarregadores em manter um volume constante de fluxo de ar para a fuselagem. Conforme a altitude aumenta, a pressão do ar entrando no supercarregador torna-se menor, consequentemente, o supercarregador tem que trabalhar mais para realizar sua parte no trabalho. Eventualmente, em algumas altas altitudes, os supercarregadores encontrarão seus limites de velocidade de operação, potência absorvida ou alguns outros fatores operacionais. A aeronave normalmente não voará além desses limites permitidos.

Problemas de pressurização

Existem muitos problemas técnicos complexos associados à pressurização de aeronaves. Talvez os problemas mais difíceis sejam com o projeto, fabricação e seleção de materiais estruturais, que irão suportar a grande pressão diferencial existente entre o exterior e o interior de aeronaves pressurizadas, quando voando em altas altitudes. Se o peso da estrutura da aeronave não fosse considerado, seria relativamente simples construir uma fuselagem que poderia suportar enormes pressões.

É necessário construir uma fuselagem capaz de conter ar sobre pressão, sendo ainda leve o suficiente para permitir carregamentos lucrativos. Como regra geral, as aeronaves pressurizadas são construídas para proporcionar uma altitude de pressão de cabine de não mais que 8.000 pés, a uma altitude de operação máxima.

Se uma aeronave é projetada para operação em altitudes acima de 25.000 pés, ela deve ser capaz de manter uma altitude de pressão de cabine de 15.000 pés, no caso de uma provável falha.

A pressão atmosférica a 8.000 pés é aproximadamente 10.92 P.S.I., e a 40.000 pés ela é próxima a 2.72 P.S.I. Se uma altitude de cabine de 8.000 pés é mantida em uma aeronave voando a 40.000 pés, a pressão diferencial que sua estrutura terá que suportar é de 8,20 P.S.I. (10,92 P.S.I. menos 2,72 P.S.I.).

Se a área pressurizada dessa aeronave contém 10.000 sq.in., a estrutura dessa aeronave será submetida a uma força de explosão de 82.000 Lbs., ou aproximadamente 41 toneladas.

Em complemento ao projeto da fuselagem para suportar essa força, um fator de segurança de 1,33 deve ser utilizado. A parte pressurizada da fuselagem terá que ser construída para ter uma resistência final de 109.060 Lbs. (82.000 vezes 1,33), ou 54,5 toneladas.

Do exemplo anterior não é difícil formar uma idéia das dificuldades encontradas na projeção e construção da estrutura de uma fuselagem, que deverá ser leve e resistente o bastante ao mesmo tempo.

SISTEMAS DE PRESSURIZAÇÃO E AR CONDICIONADO

O sistema de pressurização e condicionamento de ar da cabine fornece ar condicionado para aquecimento e resfriamento dos espaços da cabine.

Esse ar também proporciona pressurização para manter um ambiente seguro e confortável, em adição ao condicionamento de ar da cabine.

Alguns equipamentos de bordo e compartimentos de equipamentos requerem ar condicionado para a prevenção contra o super aquecimento e o conseqüente dano ao equipamento.

Alguns dos equipamentos de ar condicionado, instalados em modernas aeronaves, utilizam unidades de refrigeração de ar turbinadas para fornecer ar refrigerado. Essas unidades são chamadas de sistemas de ciclo de ar. Outros modelos de aeronaves utilizam um sistema de refrigeração a gás comprimido.

A unidade de refrigeração é do tipo gás freon, quase similar em operação aos refrigeradores domésticos. Os sistemas utilizadores desse princípio de refrigeração são chamados sistemas de ciclo de vapor.

Termos e definições

O sistema que mantém as temperaturas do ar da cabine é o sistema de ar condicionado. As fontes de calor, que fazem com que o condicionamento do ar da cabine seja necessário, são:

(1) Temperatura do ar do impacto;

(2) Calor do motor;

(3) Calor solar;

(4) Calor elétrico; e

(5) Calor do corpo.

É necessário nos tornarmos familiarizados com alguns termos e definições para entender-mos os princípios de operação dos sistemas de pressurização e condicionamento de ar, como seguem:

(1) Pressão absoluta. É a pressão medida com uma escala que tem o valor zero no vácuo completo.

(2) Temperatura absoluta. É a temperatura medida com uma escala que tem valor zero no ponto onde não existe movimento molecular (-273.1º C ou -459.6º F).

(3) Adiabático. Uma palavra significando a não transferência de calor. O processo

adiabático é aquele onde nenhum calor é transferido entre a substância, sendo trabalhada, e qualquer fonte externa.

(4) Altitude da aeronave. É a altura real acima do nível do mar, na qual a aeronave está voando.

(5) Temperatura ambiente. É a temperatura da área imediatamente em volta do objeto sob discussão.

(6) Pressão ambiente. É a pressão da área imediatamente em volta do objeto sob discussão.

(7) Pressão barométrica padrão. É o peso dos gases na atmosfera, suficiente para manter uma coluna de mercúrio de 760 milímetros de altura (aproximadamente 30 IN.) ao nível do mar (14.7 P.S.I.). Esta pressão diminui com a altitude.

(8) Altitude de cabine. É usado para expressar a pressão da cabine em termos da altitude equivalente acima do nível do mar.

(9) Pressão diferencial. É a diferença entre a pressão atuando de um lado da parede e a pressão atuando do outro lado. Nos sistemas de pressurização e condicionamento de ar de aeronaves, é a diferença entre a pressão da cabine e a pressão atmosférica.

(10) Pressão manômetro. É uma medida de pressão em um vaso, "container", ou linha, comparada com a pressão ambiente.

(11) Aumento da temperatura devido ao ar de impacto. É o aumento da temperatura devido à compressão de impacto sobre a superfície de uma aeronave, viajando em alta velocidade através da atmosfera. A razão de incremento é proporcional ao quadrado da velocidade do objeto.

(12) Escalas de temperatura.
(a) Centígrada. É uma escala na qual 0º C representa o ponto de congelamento da água, e 100ºC equivale ao ponto de ebulição da água ao nível do mar.
(b) Fahrenheit. É uma escala na qual 32º F representam o ponto de congelamento da água, e 212º F equivale ao ponto de ebulição da água ao nível do mar.

REQUISITOS BÁSICOS

Os cinco requisitos básicos para o bom funcionamento de um sistema de condicionamento de ar e pressurização de cabine são:

(1) Uma fonte de ar comprimido para pressurização e ventilação. As fontes de pressurização da cabine podem ser, compressores acionados pelo motor da aeronave, supercarregadores independentes de cabine ou ar sangrado diretamente do motor da aeronave.

(2) Um meio de controle da pressão da cabine pela regulagem do fluxo de saída do ar da cabine. Isto é conseguido por um regulador de pressão da cabine e uma válvula de fluxo de saída.

(3) Um método de limitação da pressão máxima diferencial à qual a área pressurizada da cabine estará sujeita. Válvulas de alívio de pressão, válvulas de alívio negativo (vácuo) e válvulas de alijamento são utilizadas com essa finalidade.

(4) Um meio de regulagem da temperatura do ar (na maioria dos casos resfriamento) sendo distribuído à seção pressurizada da aeronave. Isso é conseguido por um sistema de refrigeração, trocadores de calor, válvulas de controle, elementos de aquecimento elétricos e um sistema de controle de aquecimento da cabine.

(5) As seções da aeronave que precisam ser pressurizadas, devem ser seladas para reduzir o vazamento indesejável de ar ao mínimo. Essa área deve ser capaz de suportar seguramente a pressão diferencial máxima entre a cabine e a atmosfera, à qual ela estará sujeita.

O projeto de cabine para suportar a pressão diferencial e manter o vazamento de ar, dentro dos limites do sistema de pressurização, é basicamente um problema de engenharia estrutural e fabricação. Além dos componentes já discutidos, várias válvulas, controles e unidades associadas são necessárias para completar o sistema de condicionamento de ar e pressurização da cabine. Quando sistemas auxiliares, tais como dispositivos limpadores de pára-brisa, tanques de combustível pressurizado e tanques hidráulicos pressurizados são requeridos, válvulas de corte adicionais e unidades de controle devem ser instaladas.

A figura 14-4 mostra um diagrama de um sistema de condicionamento de ar e pressurização. Os detalhes exatos desse sistema são peculiares a somente um modelo de aeronave, mas o conceito geral é similar aquele encontrado na maioria das aeronaves.

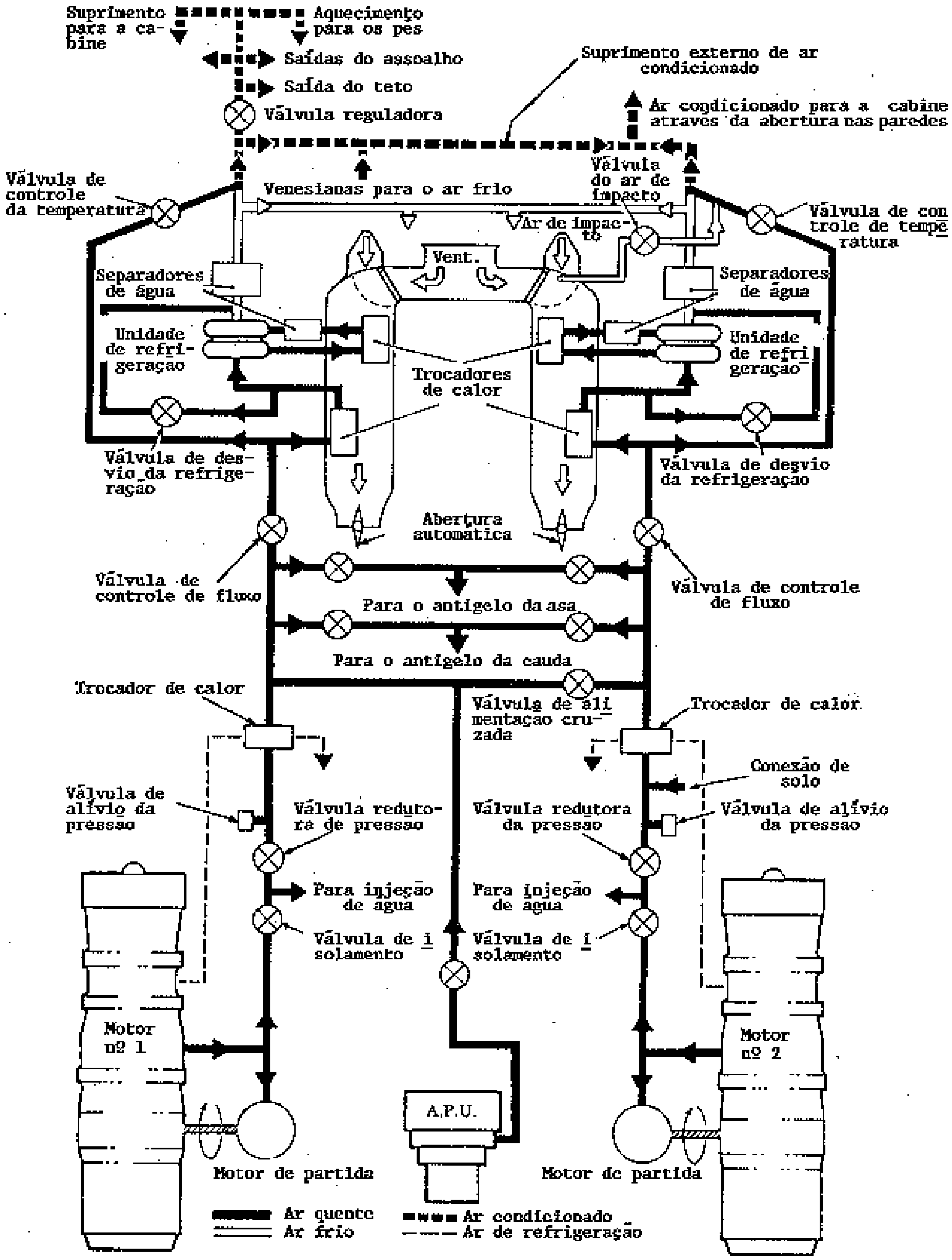

Suprimento para a cabine
Aquecimento para os pes
Saídas do assoalho
Saída do teto
Válvula reguladora
Suprimento externo de ar condicionado
Ar condicionado para a cabine atraves da abertura nas paredes
Válvula de controle da temperatura
Venesianas para o ar frio
Válvula do ar de impacto
Ar de impacto
Válvula de controle de temperatura
Vent.
Separadores de água
Separadores de água
Unidade de refrigeraçao
Unidade de refrigeraçao
Trocadores de calor
Válvula de desvio da refrigeração
Válvula de desvio da refrigeração
Abertura automatica
Válvula de controle de fluxo
Válvula de controle de fluxo
Para o antigelo da asa
Para o antigelo da cauda
Trocador de calor
Válvula de alimentaçao cruzada
Trocador de calor
Conexão de solo
Válvula de alívio da pressao
Válvula redutora de pressao
Válvula redutora da pressao
Válvula de alívio da pressao
Para injeção de agua
Para injeção de agua
Válvula de isolamento
Válvula de isolamento
Motor nº 1
Motor nº 2
A.P.U.
Motor de partida
Motor de partida
Ar quente
Ar frio
Ar condicionado
Ar de refrigeração

Figura 14-4 Típico sistema de ar condicionado e de pressurização.

FONTES DE PRESSÃO DA CABINE

Os supercarregadores internos de motores alternativos proporcionam o meio mais simples de pressurização de cabine. Isso é obtido pela canalização de ar de uma tubulação, que supre ar comprimido de um supercarregador aos pistões.

Essa configuração pode ser usada somente quando o carburador do motor está após o fluxo do supercarregador. Quando o carburador está antes do fluxo do supercarregador, como freqüentemente acontece, este método não pode ser usado porque o ar comprimido contém combustível.

O ar para a pressurização da cabine pode também ser canalizado de um turbocarregador usado com um motor alternativo.

Existem várias desvantagens na utilização desses dois métodos. O ar da cabine torna-se contaminado com odores de óleo lubrificante, gases da exaustão e combustível. Também, a pressurização da cabine a altas altitudes torna-se impossível, quando a pressão da descarga do supercarregador cair para aproximadamente a pressão ambiente. Uma terceira desvantagem é a queda na performance do motor próximo ao seu teto de serviço, devido à perda de ar para a pressurização da cabine.

Com motores turbinados a gás, a cabine pode ser pressurizada pela sangria de ar do compressor do motor. Usualmente, o ar sangrado de um compressor de motor é suficientemente livre de contaminação, e pode ser usado seguramente para pressurização da cabine. Porém, existem várias desvantagens com a utilização de ar sangrado de compressores de motores à turbina. Essas desvantagens são: (1) A possibilidade de contaminação do ar por combustíveis e lubrificantes em caso de vazamento e; (2) A dependência do suprimento de ar em relação à performance do motor.

Devido às muitas desvantagens associadas às fontes de pressurização, anteriormente descritas, compressores de cabine independentes têm sido projetados.

Esses compressores podem ser acionados pelo motor através de um acessório de engrazamento, ou podem ser movimentados por um fluxo de ar proveniente de um compressor de motor turbinado.

Geralmente, os compressores podem ser separados em dois grupos, (1) Compressores deslocamento-positivo; e (2) Compressores centrífugos.

Compressores de cabine do tipo deslocamento positivo (supercarregadores)

Incluído neste grupo estão os compressores alternativos, compressores tipo turbina e os “Roots”. Os dois primeiros não são muito adequados à pressurização de cabine, devido à grande quantidade de óleo presente no ar distribuído para a cabine.

A ação do compressor “Roots” (Figura 14-5) é baseada na entrada de um volume pré-determinado de ar, o qual é subseqüentemente comprimido e entregue ao duto da cabine.

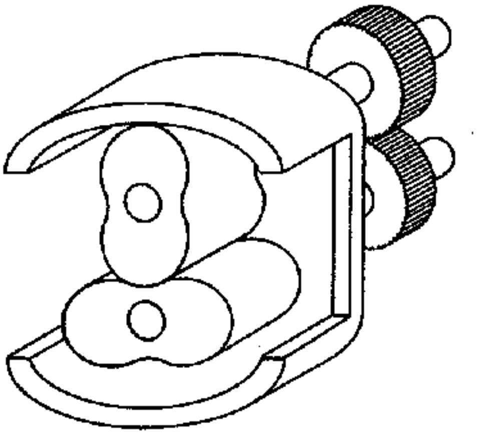


Figura 14-5 Esquema do compressor da cabine do tipo “Roots”.

Os rotores são montados em um alojamento em dois eixos paralelos. Os lóbulos não se tocam nem no alojamento, e ambos os rotores giram à mesma velocidade. O ar penetra nos espaços entre os lóbulos, é comprimido e entregue ao duto de ar da cabine.

Uma vista em corte de um supercarregador de cabine é mostrado na figura 14-6. O alojamento do supercarregador é normalmente aletado nas superfícies externas para aumentar sua área de resfriamento. O efeito de resfriamento é algumas vezes incrementado através do revestimento do alojamento do supercarregador e da passagem de uma corrente de ar através dele.

O ar refrigerado também é usado para reduzir a temperatura de peças internas; ele é canalizado através de passagens usinadas nas cavidades do rotor, e expelido no lado da entrada da tampa do supercarregador.

Para conseguir a entrega de ar livre de óleo, os rolamentos do supercarregador são colocados em câmaras separadas.

Os eixos do rotor podem ser montados com selos fabricados de borracha resistente ao óleo, que evitam a entrada de qualquer lubrificante no alojamento do compressor.

O uso de selos labirinto permite que uma pequena quantidade de ar escape para o ambiente.

Algumas gotas de óleo que possam ter atravessado pelo selo de borracha são então assopradas de volta.

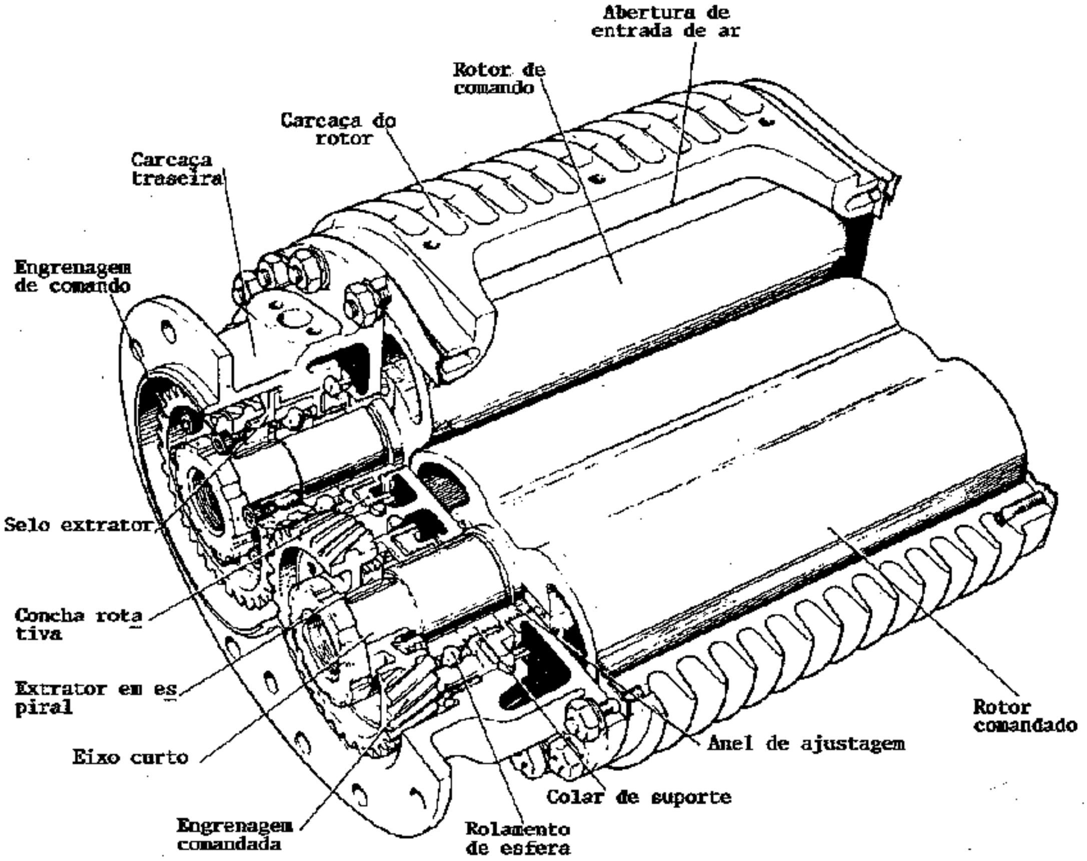

Abertura de entrada de ar
Rotor de comando
Carcaça do rotor
Carcaça traseira
Engrenagem de comando
Selo extrator
Concha rotativa
Extrator em espiral
Eixo curto
Engrenagem comandada
Rolamento de esfera
Colar de suporte
Anel de ajustagem
Rotor comandado

Figura 14-6 Vista em corte de um supercarregador de cabine do tipo "Roots".

Compressores do tipo deslocamento positivo emitem um ruído agudo durante sua operação, devido às pulsações do ar provocadas pelos rotores.

Silenciadores são usados com esses tipos de compressores para reduzir o nível de ruído.

Compressores centrífugos de cabine

O princípio de operação de um compressor centrífugo é baseado no aumento da energia cinética do ar, passando através da ventoinha. Com a rotação da ventoinha do compressor, o ar produzido não somente é acelerado, mas é também comprimido devido à ação da força centrífuga.

A energia cinética no ar é então convertida em pressão no difusor. Existem dois tipos básicos de difusores:

(1) Sem palheta, onde o ar entra no espaço difusor diretamente após deixar a ventoinha; e

(2) Aqueles possuidores de palhetas direcionadoras.

Um esquema de um compressor de cabine centrífugo é mostrado na figura 14-7.

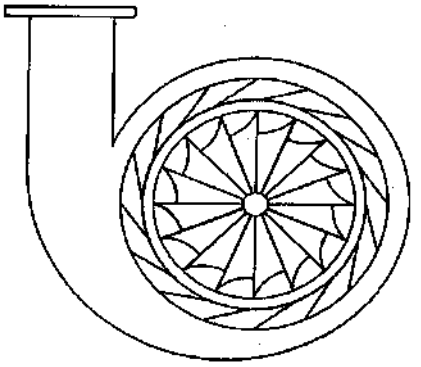


Figura 14-7 Compressor centrífugo da cabine.

O supercarregador mostrado na figura 14-8 é essencialmente uma bomba de ar. Ele incorpora uma ventoinha centrífuga, similar ao super carregador no sistema de indução de um motor alternativo. O ar externo sob a pressão atmosférica é admitido ao supercarregador através de dutos e vertedouros adequados. Este ar comprimido pela ventoinha de alta velocidade é entregue à fuselagem. Os supercarregadores são normalmente movidos pelo motor através de um acoplamento conveniente, todavia, aeronaves turbo-jato utilizam supercarregadores (turbo-compressores) com acionamento pneumático.

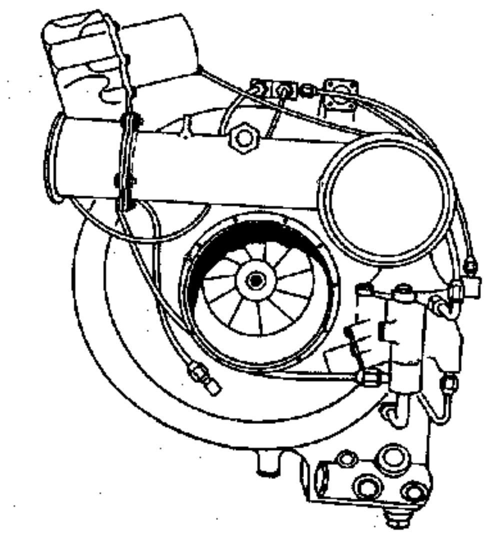


Figura 14-8 Vista pictorial de um supercarregador de cabine do tipo centrífugo.

Os supercarregadores de cabine acionados pelo motor são, geralmente, montados em sua nacele. O supercarregador é acoplado diretamente ao acessório acionador por um eixo adequado. Um mecanismo de desacoplamento mecânico normalmente é incorporado no sistema de acionamento para permitir a desconexão do supercarregador, em caso de mal funcionamento. O mecanismo de desacoplamento pode ser operado da cabine de comando pelos tripulantes. Na maioria das aeronaves não é possível ou permissível o reacoplamento do supercarregador em vôo, uma vez que o mesmo tenha sido desconectado.

Os supercarregadores acionados pelo motor, usados em aeronaves com motor alternativo, necessitam de um mecanismo de acionamento de regime variável. A relação de engrenagens desses supercarregadores é ajustada automaticamente, para compensar as mudanças de R.P.M. do motor ou da pressão atmosférica. Normalmente, a relação de engrenagens é 8 a 10 vezes a velocidade do motor, quando operando em condições de cruzeiro. O regime de acionamento está no máximo quando operando em altas altitudes com o motor em baixa R.P.M.

Os turbocompressores usados em aeronaves turbo-jato podem ser localizados nas naceles do motor ou na fuselagem. Pode haver até quatro turbocompressores em uma aeronave. Um turbocompressor consiste de uma turbina acionada por pressão de ar que, por sua vez, aciona uma ventoinha. O suprimento de ar comprimido usado para operar o turbocompressor é tomado do sistema pneumático da aeronave. A velocidade do turbocompressor é controlada pela variação do suprimento de ar comprimido para sua turbina.

Os supercarregadores de cabine de todos os tipos possuem seus próprios sistemas de lubrificação. O lubrificante pode ser o mesmo tipo usado para lubrificação do motor, ou poderá ser um óleo especial similar ao fluido hidráulico.

Os rolamentos e engrenagens do supercarregador são lubrificados por pressão e por pulverização. O sistema de lubrificação típico incorpora uma bomba, válvula de alívio, cárter, sistema de resfriamento e, algumas vezes, um tanque de óleo separado.

A alta velocidade em uma ventoinha é uma limitação importante em todos os supercarregadores. Quando a velocidade na extremidade externa da ventoinha atinge a velocidade do som, a ventoinha rapidamente perde a sua eficiência como uma bomba. Uma limitação, igualmente importante, envolve a pressão de descarga criada nas saídas dos dutos de ar. Se a pressão de descarga é excessiva, a ventoinha pode sofrer um estol ou vibração.

Controle do supercarregador

A função do sistema de controle do supercarregador é manter um volume regularmente constante de saída de ar do supercarregador. Isso é conseguido no sistema usado em aeronave com motor alternativo, pela variação do regime de acionamento do supercarregador.

O regime de acionamento entre a ventoinha do supercarregador e o motor é variado, para compensar as mudanças na R.P.M. do motor ou pressão atmosférica. Isto é conseguido por meio de um mecanismo automático que compara o fluxo de ar da saída do supercarregador e, através de uma caixa de mudança de velocidade variável, ajusta a velocidade da ventoinha sempre que a saída do fluxo de ar varia do seu valor pré-fixado.

A quantidade de F.H.P. (Friction Horse-Power) tirada do motor para acionar o supercarregador é dependente do regime de acionamento. As perdas são mínimas durante uma operação em baixo regime, quando a energia requerida para girar a ventoinha está no mínimo.

As perdas são de aproximadamente 75 F.H.P. em alto regime e 25 F.H.P. em baixo regime. Essa perda ocorre em altas altitudes, onde, os motores que impulsionam os supercarregadores de cabine podem requerer 3 a 4 polegadas de HG na linha de pressão para produzir o mesmo B.H.P. (Brake Horsepower) como o dos outros motores.

A velocidade da ventoinha do supercarregador é, portanto, ajustada pelo sistema de controle, para manter uma massa constante de fluxo de ar de saída. Se variáveis, tais como altitude, tendem a aumentar ou diminuir a saída, o mecanismo de controle provoca a correção do regime de acionamento. Mudanças do regime de acionamento são também amenizadas por vários requintados sistemas, para prevenir contra a aceleração ou desaceleração rápida, que podem resultar em desconfortáveis vibrações na pressurização.

Sérias conseqüências podem ocorrer se a velocidade da ventoinha tornar-se mais alta que a sua velocidade máxima projetada. Para proteger o supercarregador contra tais ocorrências, um sistema típico tem um governador de sobrevelocidade. Essa unidade é similar a um governador de contrapeso de hélice.

O governador de sobrevelocidade atua em uma válvula para posicionar o mecanismo de controle para a posição baixo regime. Ele trabalha automaticamente para reduzir a R.P.M. da ventoinha, quando ocorrer uma sobrevelocidade.

Algumas instalações também têm uma válvula operada eletricamente, que posicionam o mecanismo de controle para a posição de baixa velocidade. Essa válvula de velocidade mínima pode ser operada manualmente da cabine de comando, ou automaticamente por um interruptor no montante do trem de pouso. Ele é usado basicamente para reduzir o regime de acionamento do supercarregador quando a pressurização não estiver sendo usada, ou quando ocorrerem emergências.

Instrumentos do supercarregador

O principal instrumento associado ao supercarregador é um medidor de fluxo de ar. Este instrumento normalmente mede a pressão diferencial entre a entrada e a saída do supercarregador. Em alguns casos existem dois ponteiros para indicar as pressões de entrada e saída na mesma escala.

O medidor de fluxo de ar (ou pressão de entrada e saída) indica a operação adequada do supercarregador. Leituras altas, leituras baixas ou leituras flutuantes indicam vários tipos de mal funcionamento.

Indicações de pressão e temperatura do óleo estão também disponíveis em instrumentos apropriados na cabine de comando. Em alguns casos, luzes de aviso podem ser usadas, no lugar ou em complemento a esses instrumentos.

Compressores de cabine acionados pelo motor são usados em aeronaves turboélice. Esses compressores não têm uma variação de velocidade, devido a operação dos motores turboélice serem relativamente constante. A saída desse tipo de compressor é controlada pela variação automática do fluxo de ar de entrada, através de um mecanismo sensor de fluxo de ar e uma válvula de entrada adequada, que mantém uma saída de fluxo de ar constante.

Ordinariamente uma válvula tipo "surge" e "dump" é usada na saída do compressor. Em alguns sistemas este é o único tipo de controle empregado para o compressor. A válvula tipo "surge" e "dump" previne contra a perturbação do fluxo de ar do compressor pela redução da pressão de saída, quando as demandas do sistema são intensas.

A válvula também pode descarregar completamente a pressão de saída, quando a saída do compressor não for mais necessária. Esta válvula pode ser operada da cabine de comando e, também, por vários sistemas automáticos de controle. Quando a válvula "surge" e "dump" é aberta, a saída do compressor de cabine acionada pelo motor é descarregada para fora de bordo através de dutos apropriados.

Os instrumentos usados em conjunto, com os compressores acionados pelo motor, são similares àqueles usados com o supercarregador de velocidade variável. Um medidor de pressão de entrada e descarga mede as pressões do compressor.

Alta temperatura e baixa pressão do óleo do compressor são normalmente indicadas por luzes de aviso. Os turbocompressores usados em aeronaves turbojato são similares em operação aos turbocarregadores, movidos pelo escape usados em alguns motores alternativos. A força derivada do sistema pneumático da aeronave é usada para a turbina da unidade.

Desde que os turbocompressores não sejam apontados diretamente sobre eixos acionadores do motor, eles podem ser colocados na nacele do motor ou na fuselagem. Ordinariamente unidades turbocompressoras múltiplas são usadas para prover o alto fluxo de ar necessário as grandes aeronaves turbojato.

A saída das unidades dos turbo compressores é usualmente controlada pela variação do suprimento pneumático da turbina.

O suprimento de ar pneumático é obtido de uma seção do compressor do motor turbojato. Este suprimento de ar é regulado para uma pressão constante de aproximadamente 45 P.S.I. a 75 P.S.I. O sistema pneumático de pressão de ar é também usado para operar o sistema anti-gelo e outros sistemas da aeronave, assim sendo, várias válvulas de corte e unidirecionais são usadas para isolar unidades inoperantes do sistema turbocompressor.

A saída do turbocompressor é controlada automaticamente por uma válvula de controle de fluxo de ar, e palhetas de entrada servo operadas.

As palhetas de entrada controlam o suprimento de ar do sistema pneumático do compressor da turbina; elas abrem ou fecham de acordo com o sinal de pressão de ar captado pela válvula de controle de fluxo de ar. A velocidade do compressor é aumentada ou diminuída para manter um volume de ar na saída, relativamente constante. A velocidade do turbocompressor irá por conseguinte aumentar com a altitude.

O principal controle do turbocompressor é uma simples válvula "liga-desliga". Essa válvula é localizada no duto de ar pneumático. Na posição desligada ela fecha completamente o suprimento pneumático para a turbina. Vários circuitos especiais também podem atuar junto a essa válvula de corte, quando a operação do turbocompressor não for desejada.

A maioria das unidades de turbocompressores incorporam um controle de sobrevelocidade.

Uma unidade de controle de sobrevelocidade típico é um simples governador com contrapesos, que faz com que o turbocompressor seja completamente fechado quando uma certa R.P.M. limite é atingida.

Normalmente, a válvula de corte do duto pneumático é fechada por um controle de sobrevelocidade. O sistema de turbocompressor também usa uma válvula do tipo "surge" e "dump", similar as usadas para compressores acionados pelo motor.

Os instrumentos da cabine de comando são os mesmos que os usados em sistemas acionados pelo motor, com a adição de um tacômetro que mede a velocidade do turbocompressor. Essa velocidade, em uma aeronave típica, varia de aproximadamente 20.000 R.P.M. ao nível do mar a 50.000 R.P.M. a 40.000 pés O controle de sobrevelocidade deve ser ajustado para cerca de 55.000 R.P.M.

VÁLVULAS DE PRESSURIZAÇÃO

O controle principal do sistema de pressurização é a válvula de saída de fluxo. Essa válvula é colocada em uma parte pressurizada da fuselagem, normalmente na parte inferior dos compartimentos.

A finalidade da válvula é permitir a saída do excesso de ar, através de aberturas adequadas na carenagem da asa, ou do revestimento da fuselagem. Pequenas aeronaves usam uma válvula de saída de fluxo; grandes aeronaves podem usar até três válvulas, as quais trabalham em conjunto para prover o necessário volume de fluxo de saída.

Um tipo de válvula de saída de fluxo é uma simples borboleta, que é aberta ou fechada por um motor elétrico. O motor recebe sinais elétricos amplificados de um controlador de pressurização para variar a posição da válvula para um vôo pressurizado.

Algumas aeronaves usam uma válvula de saída de fluxo pneumática (figura 14-9). Essa válvula recebe sinais de um controle de pressurização na forma de pressões controladas de ar. As pressões de ar que operam a válvula são obtidas da alta pressão dentro da cabine, com assistência da pressão do sistema pneumático no motor da aeronave.

Em muitas aeronaves, a válvula de saída de fluxo será mantida completamente aberta no solo por um “switch”, acionado pelo trem de pouso. Durante o vôo, conforme o ganho de altitude, a(s) válvula(s) fecha(m) gradualmente para produzir uma grande restrição ao fluxo de saída do ar da cabine. A razão de subida ou descida da cabine é determinada pela razão de abertura ou fechamento da(s) válvula(s) de saída de fluxo.

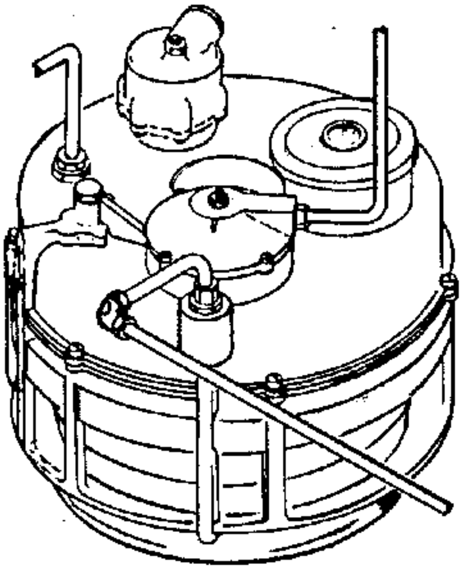


Figura 14-9 Típica válvula pneumática de saída de fluxo.

Durante o vôo de cruzeiro, a altitude da cabine é diretamente relacionada ao grau de abertura da válvula de saída de fluxo.

Em adição a(s) válvula(s) de saída de fluxo controlável, uma válvula de alívio de pressão de cabine é usada em todas as aeronaves pressurizadas. Essa válvula pode ser construída em uma válvula de saída de fluxo, ou pode ser uma unidade inteiramente separada. A válvula de alívio de pressão automaticamente abre, quando a pressão diferencial da cabine alcança um valor pré-fixado.

Todas as aeronaves pressurizadas requerem alguma forma de válvula de alívio de pressão negativa. Essa válvula também pode ser incorporada na válvula de saída de fluxo ou pode ser uma unidade individual. Uma forma comum de válvula de alívio de pressão negativa, é uma simples superfície articulada na parede traseira (pressure dome) da cabine. Essa válvula abre quando a pressão de ar externa for maior que a pressão da cabine.

Durante o vôo pressurizado, a pressão interna da cabine mantém essa superfície fechada. A válvula de alívio de pressão negativa previne contra a ocorrência acidental de uma altitude de cabine maior que a altitude da aeronave.

A saída do fluxo de ar da cabine também pode ser conseguida através de uma válvula operada manualmente. Essa válvula pode ser chamada de válvula de alívio de segurança, válvula de despressurização manual ou qualquer outro termo similar. A válvula manual é usada para controlar a pressurização quando todos os outros meios de controle falharem. A intenção básica é permitir uma despressurização rápida durante fogo ou descida de emergência.

Controles de pressurização

O controlador de pressurização (fig 14-10) é a fonte de sinais de controle para o sistema de pressurização.

O controlador proporciona os ajustes para obtenção do tipo de condição pressurizada. A maioria dos operadores especificam procedimentos de operação padrão para o controlador, os quais mostraram ser os melhores para seus particulares tipos de operação.

O controlador parece muito com um altímetro, e tem vários botões adicionais de ajustagem.

O mostrador é graduado em incrementos de altitudes de cabine superiores a aproximadamente 10.000 pés Normalmente, existe um ponteiro, que pode ser ajustado para a altitude de cabine desejada através do botão de ajuste da altitude de cabine.

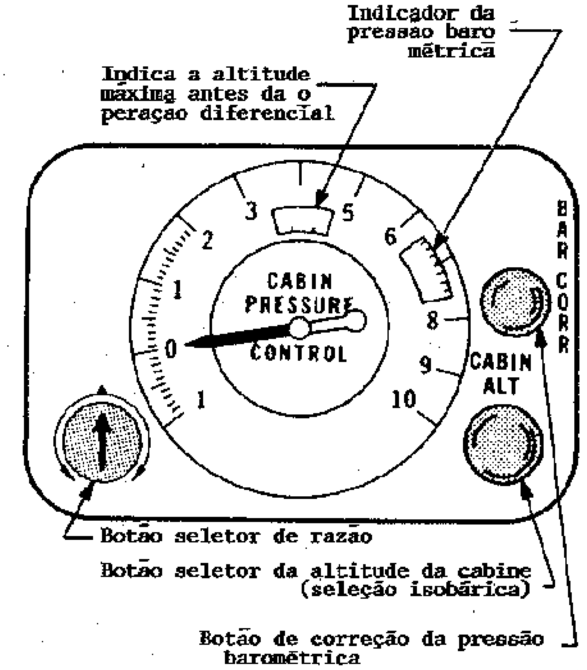

Indicador da pressão baro métrica
Indica a altitude máxima antes da o peração diferencial
3
5
2
6
1
0
1
8
9
10
CABIN PRESSURE CONTROL
BAR CORR
CABIN ALT
Botão seletor de razão
Botão seletor da altitude da cabine (seleção isobárica)
Botão de correção da pressão barométrica

Figura 14-10 Controlador da pressurização.

Em alguns casos, existe outro ponteiro, ou uma escala rotativa, que também indica a correspondente altitude de pressão da aeronave. Um botão separado ajusta o controlador à ajustagem existente no altímetro (ou à pressão barométrica ao nível do mar). A ajustagem barométrica selecionada é indicada em um segmento separado do mostrador.

O terceiro botão no controlador ajusta a razão de mudança de altitude da cabine. Esses ajuste pode ser feito em um controle separado em algumas instalações.

Quando os botões do controlador são ajustados, as correções são feitas por um dispositivo de sinalização elétrico ou pneumático, dentro do controlador. O ajuste é comparado à pressão existente na cabine por uma cápsula aneróide ou um fole a vácuo.

Se a altitude da cabine não corresponde àquela ajustada pelos botões, o fole a vácuo produz o sinal apropriado para a válvula de saída de fluxo. Quando os foles determinam que a altitude da cabine alcançou àquela para a qual ela foi ajustada, os sinais para a válvula de saída de fluxo são interrompidos. Enquanto outros fatores não mudarem, a válvula de saída de fluxo permanece na ajustagem para manter a pressão de cabine desejada.

O controlador pode perceber qualquer mudança, tais como a variação da altitude da aeronave ou perda de um supercompressor, e reajustar a válvula de saída de fluxo como necessário.

O controle de razão determina quão rápido sinais são enviados à válvula de saída de fluxo. Em alguns controladores a razão do sinal é parcialmente automática. O ajuste barométrico compensa o controlador para os erros normais em altimetria, que são encontrados na maioria dos vôos. Essa ajustagem aumenta a precisão do controlador e, como um exemplo, protege a cabine de estar parcialmente pressurizada enquanto um pouso estiver sendo realizado.

Os sinais que se originam no controlador são muito fracos. Isso é devido a ele ser um instrumento delicado, que não pode trabalhar com altas voltagens elétricas ou forças pneumáticas. Esses fracos sinais são amplificados, elétrica ou pneumaticamente, para operar a válvula de saída de fluxo.

Vários instrumentos são usados em conjunto com o controlador de pressurização. O medidor de pressão diferencial da cabine indica a diferença entre a pressão interna e a externa. Esse instrumento deve ser monitorado para assegurar que a cabine não está se aproximando da pressão diferencial máxima permitida. Um altímetro de cabine também é provido como um verificador da performance do sistema.

Em alguns casos, esses dois instrumentos são conjugados em um. Um terceiro instrumento indica a razão de subida ou descida. Um instrumento de razão de subida e um altímetro de cabine são ilustrados na Figura 14-11.

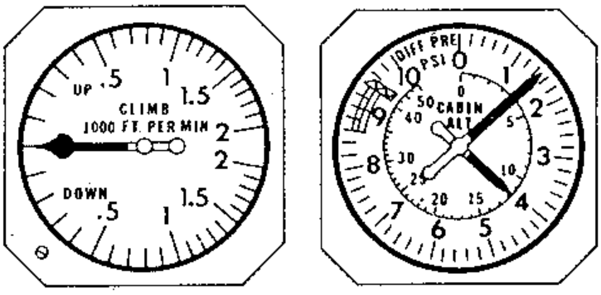


Figura 14-11 Instrumentos de controle da pressurização.

SISTEMA DE CONTROLE DA PRESSÃO DA CABINE

O sistema de controle da pressão da cabine é projetado para proporcionar a regulagem da pressão da cabine, alívio de pressão positiva, alívio de pressão negativa, e os meios para seleção da altitude de cabine desejada na faixa isobárica e diferencial.

Em adição, o descarregamento da pressão de cabine é uma função do sistema de controle de pressão. Um regulador da pressão de cabine, uma válvula de saída de fluxo e uma válvula de segurança são usados para realizar essas funções.

Regulador da pressão da cabine

O regulador da pressão da cabine controla a pressão da cabine a um valor selecionado na faixa isobárica, e, além de limitá-la a um valor diferencial pré-fixado na faixa.

A faixa isobárica mantém a cabine a uma altitude de pressão constante, durante o vôo em vários níveis. Ela é usada até que a aeronave alcance a altitude na qual a diferença entre a pressão interna e a externa da cabine seja igual a maior pressão diferencial, para a qual a estrutura da fuselagem foi projetada. O controle diferencial é usado para evitar que a pressão diferencial máxima, para a qual a fuselagem foi construída, seja excedida.

Essa pressão diferencial é determinada pela resistência estrutural da cabine e, freqüentemente, pelo relacionamento entre o tamanho da cabine e as prováveis áreas de ruptura, tais como as áreas de janelas e portas.

O regulador da pressão da cabine é projetado para controlar a pressão, pela regulagem da posição da válvula de saída de fluxo. O regulador normalmente proporciona controle, totalmente automático ou manual, da pressão dentro da aeronave.

A operação normal é automática, requerendo somente a seleção da altitude de cabine desejada e a razão de mudança da pressão da cabine.

O regulador da pressão da cabine pode ser integralmente construído com a válvula de saída de fluxo, ou pode ser montado remotamente de uma válvula de saída de fluxo, e conectado a ela através de tubulação. Em qualquer caso, o princípio de operação é similar.

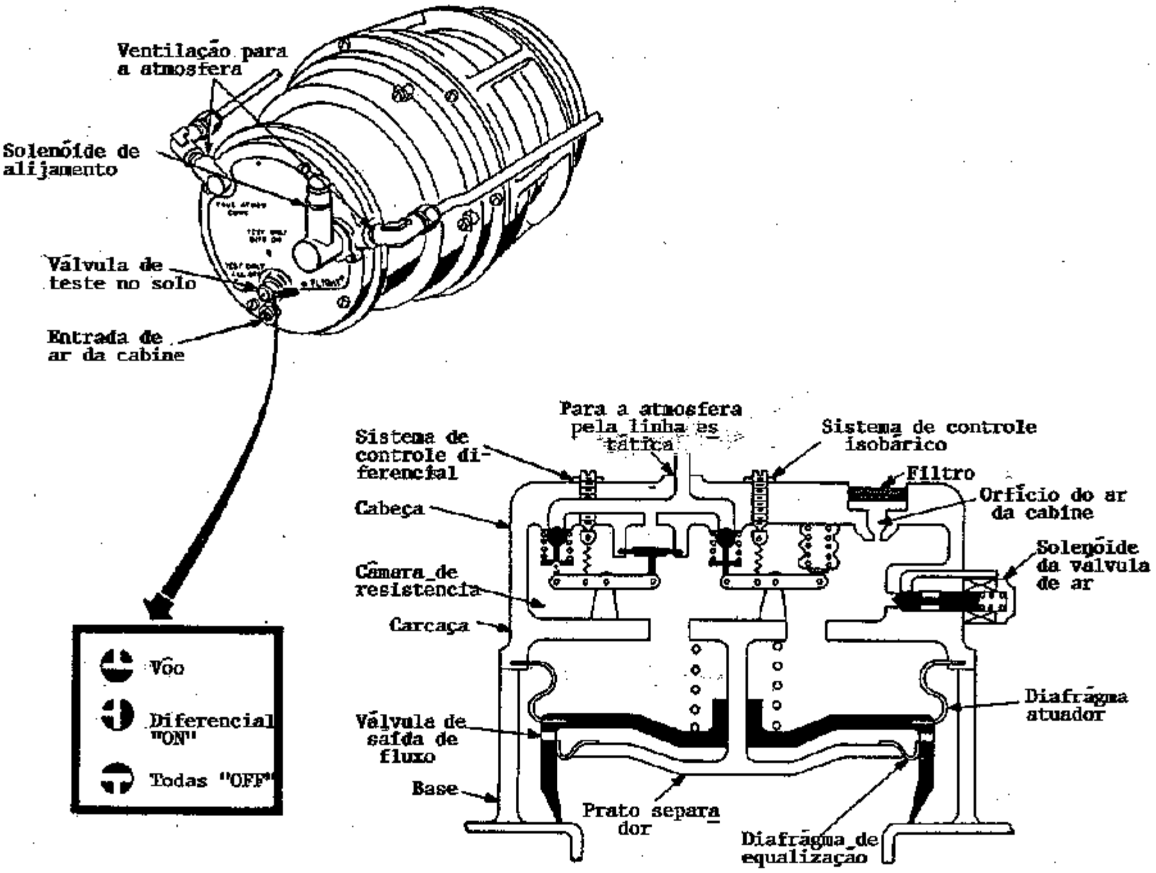

Ventilação para a atmosfera
Solenóide de alijamento
Válvula de teste no solo
Entrada de ar da cabine
Vôo
Diferencial "ON"
Todas "OFF"
Para a atmosfera pela linha estática
Sistema de controle diferencial
Sistema de controle isobárico
Filtro
Orifício do ar da cabine
Cabeça
Solenóide da válvula de ar
Câmara de resistência
Carcaça
Diafrágma atuador
Válvula de saída de fluxo
Base
Prato separador
Diafrágma de equalização

Figura 14-12 Regulador de pressão do ar da cabine.

O regulador ilustrado na figura 14-12 é integrante da válvula de saída de fluxo. Esse regulador é do tipo de pressão diferencial, normalmente fechado, controlado e operado pneumaticamente. Esse tipo de regulador consiste de duas seções principais: (1) A seção da cabeça e da câmara de referência; e (2) A seção da válvula de saída de fluxo e diafragma.

A seção da válvula de saída de fluxo e diafragma contém uma base, uma válvula de saída de fluxo atuada por mola, um diafragma atuador, um diafragma de equalização e um prato separador.

O prato separador é fixado à extremidade da guia, a que se expande do centro da capa do conjunto. A válvula de saída de fluxo desliza na guia entre a tampa e o prato separador e, é forçada por ação de mola na posição fechada, de encontro à base.

O diafragma de equalização estende-se além da área do prato separador até a válvula de descarga, criando uma câmara pneumática entre o prato separador fixo e a face interna da válvula de saída de fluxo.

O ar da cabine flui para essa câmara através de orifícios no lado da válvula de saída de fluxo, para exercer uma força contra a face interna, opondo tensão de mola para abrir a válvula. O diafragma atuador expande-se além da válvula de descarga para a capa do conjunto, criando uma câmara pneumática entre a capa e a face externa da válvula de descarga.

O ar da seção da cabeça e câmara de referência flui através de orifícios na capa, enchendo essa câmara, e exercendo uma força contra a face externa da válvula de descarga para auxiliar a tensão da mola na manutenção.

A posição da válvula de descarga controla o fluxo do ar da cabine para a atmosfera, para controle da pressão da cabine. A ação dos componentes na seção da cabeça e câmara de referência controla os movimentos da válvula de descarga pela variação da pressão do ar da câmara de referência, sendo exercida contra a face externa da válvula.

A cabeça e a seção da câmara de referência encerram um sistema de controle isobárico, um sistema de controle diferencial, um filtro, uma válvula de teste no solo, uma conexão para a linha estática e uma válvula solenóide de ar. A área dentro da cabeça é chamada de câmara de referência.

O sistema de controle isobárico incorpora um aneróide a vácuo, um balancim, uma mola auxiliar e uma válvula de calibração isobárica. Um dos extremos do balancim liga-se a cabeça pelo aneróide a vácuo. O outro extremo do braço do balancim posiciona a válvula de calibração numa posição normalmente fechada, de encontro a um orifício de passagem na cabeça.

A mola auxiliar, entre a sede da válvula calibradora e o retentor da mola, faz a válvula mover-se da sua sede, o quanto for permitido pelo braço do balancim.

O sistema de controle diferencial inclui um diafragma, balancim, válvula de calibração e mola auxiliar. Um dos extremos do braço do balancim fica ligado a um diafragma na cabeça. O diafragma forma uma face sensitiva entre a câmara de referência e uma pequena câmara na cabeça. Essa câmara é aberta para a atmosfera pela passagem ligada à linha estática. A pressão atmosférica atua de um lado do diafragma, e a pressão da câmara de referência do outro. O extremo oposto do balancim posiciona a válvula calibradora na posição normalmente fechada contra a passagem na cabeça.

A mola auxiliar, entre a sede da válvula e o retentor, faz com que esta afaste-se da sede o quanto for permitido pelo balancim.

Sempre que a pressão do ar da câmara de referência for suficiente para comprimir o aneróide, o balancim pivoteia sobre o seu ponto de apoio. Isso permite à válvula de calibração mover-se de sua sede o equivalente à compressão no aneróide. Quando a válvula de calibração é aberta, o ar da câmara de referência flui para a atmosfera através de uma conexão com a linha estática. Pela regulagem da pressão do ar da câmara de referência, os sistemas de controle isobárico e diferencial comandam os braços da válvula de saída de fluxo, proporcionando três meios de operação chamados despressurização, isobárica e diferencial.

Durante a operação de despressurização, figura 14-13, a pressão da câmara de referência é suficiente para comprimir o aneróide isobárico e abrir a válvula de calibração. O ar da cabine, entrando na câmara de referência através do orifício de ar, flui para a atmosfera através da válvula de calibração isobárica.

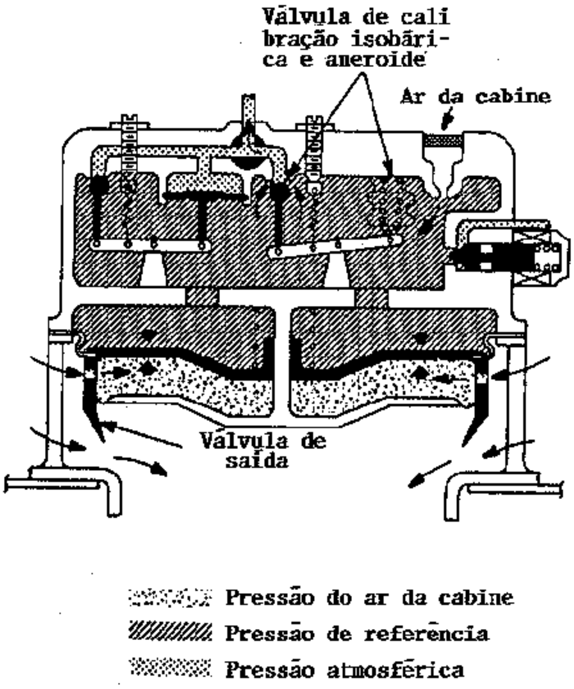


Figura 14-13 Regulador da pressão da cabine durante a despressurização.

Considerando que o orifício de ar da cabine é menor que o orifício formado pela válvula de calibração, a pressão na válvula de referência é mantida em um valor ligeiramente menor que a pressão da cabine. À medida que a pressão aumenta na cabine, a pressão diferencial entre a face interna e a externa da válvula de saída de fluxo aumenta. Isso desaloja a válvula de saída de fluxo e propicia a saída do ar da cabine para a atmosfera.

À medida que a faixa isobárica (figura 14-14) é alcançada, a pressão da câmara de referência, que está diminuindo na mesma razão da pressão atmosférica, terá diminuído o bastante para permitir que o aneróide isobárico se expanda, e mova a válvula de calibração em direção à sua sede.

Como resultado, o fluxo de ar da câmara de referência através da válvula de calibração é reduzido, evitando reduções posteriores na pressão de referência. Em resposta às ligeiras modificações na pressão da câmara de referência, o sistema de controle isobárico ajusta a pressão de referência para mantê-la substancialmente constante na câmara, através da faixa isobárica de operação. Respondendo ao diferencial entre a pressão constante da câmara de referência, e a pressão variável da cabine, a válvula de saída de fluxo abre ou fecha, regulando o ar da cabine, conforme necessário, para manter constante a pressão.

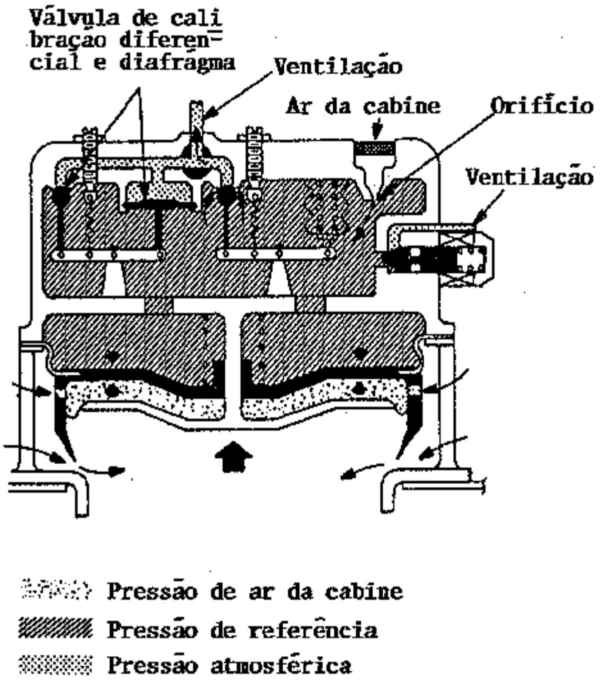


Figura 14-14 Regulador da pressão da cabine no alcance isobárico.

À medida que a faixa diferencial é alcançada, a pressão diferencial entre a constante pressão de referência e a diminuição da pressão atmosférica torna-se suficiente para mover o diafragma, e abrir a válvula de calibração diferencial.

Como resultado, o ar da câmara de referência flui para a atmosfera através da válvula de calibração diferencial, reduzindo a pressão de referência.

Respondendo ao decaimento da pressão de referência, o aneróide isobárico expande e fecha a válvula de calibração isobárica completamente. A pressão da câmara de referência é agora controlada, através da válvula de calibração diferencial, pela pressão atmosférica incidindo contra a o diafragma diferencial. À medida que a pressão atmosférica diminui, a válvula de calibração abre mais, permitindo `a pressão de referência diminuir proporcionalmente.

Respondendo à pressão diferencial entre a pressão da cabine e a pressão de referência, a válvula de saída de fluxo abre ou fecha para calibrar o ar da cabine, e manter um valor de pressão diferencial pré-determinado.

Em adição às características de controle automático descritas, o regulador incorpora uma válvula de teste no solo e uma válvula solenóide de ar, ambas localizadas na cabeça e seção da câmara de referência.

A válvula solenóide de ar é uma válvula, eletricamente ativada, mantida em uma posição normalmente fechada, contra uma passagem através da cabeça, que abre a câmara de referência à atmosfera. Quando a chave de pressão da cabine é posicionada em "RAM" o solenóide do regulador abre, fazendo com que o regulador drene o ar da cabine para a atmosfera.

A válvula de teste no solo (ver figura 14-12) é um controle manualmente operado, com três posições, que permitem verificações de performance do regulador e do sistema de pressurização da cabine.

Na posição "Teste only-all off" a válvula faz com que o regulador fique completamente inoperante.

Na posição "test only-differential on", a válvula faz com que o sistema de controle isobárico fique inoperante, de tal forma que a operação do sistema de controle diferencial possa ser verificado.

Na posição "Flight", a válvula permite que o regulador funcione normalmente. A válvula de teste no solo deverá ser sempre frenada na posição "Flight", exceto quando em teste.

Válvula de segurança da pressão de ar da cabine

A válvula de segurança da pressão de ar da cabine (figura 14-15) é uma combinação de válvula de alívio de pressão positiva, de pressão negativa e válvula de alijamento.

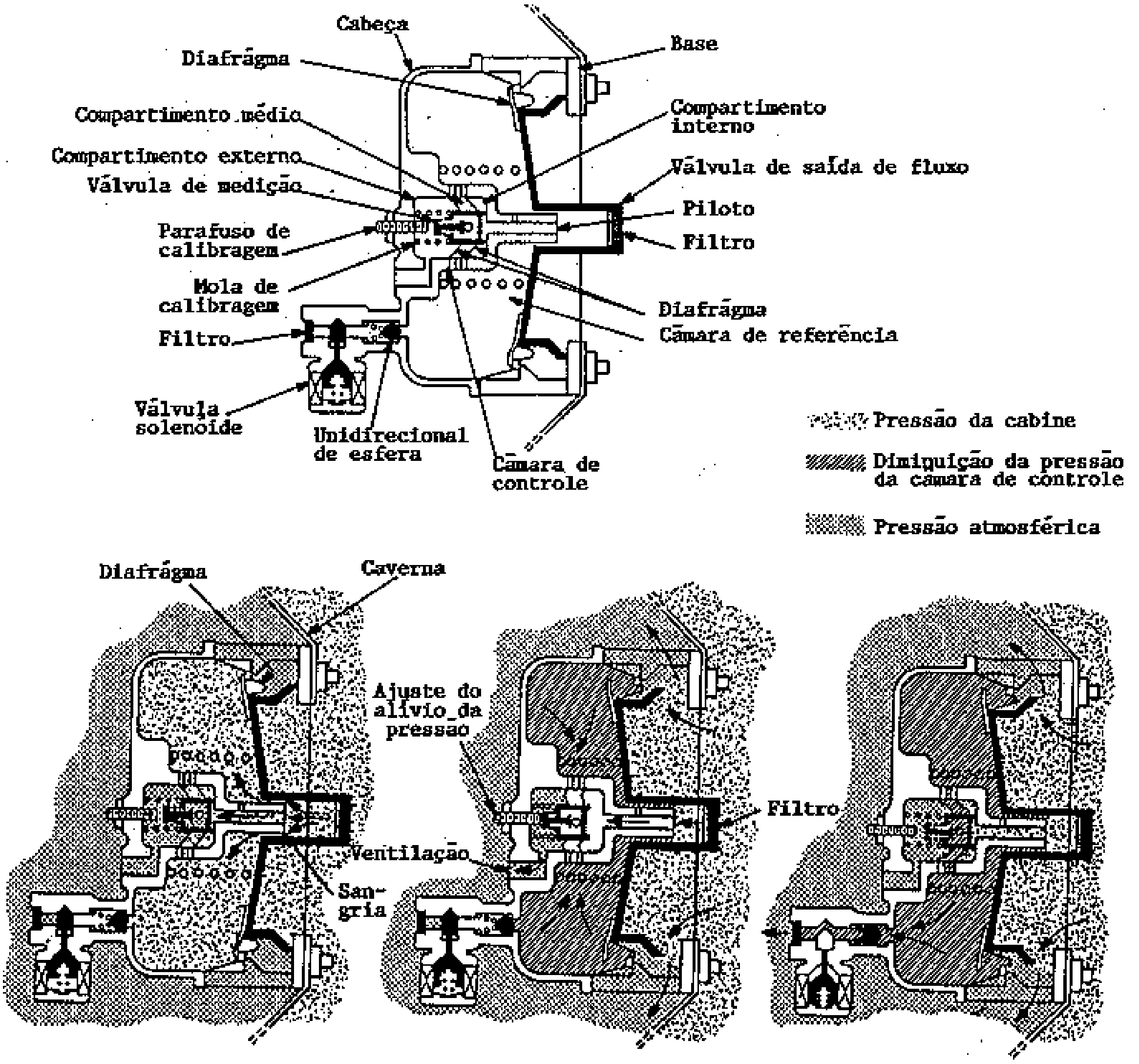

Cabeça
Diafrágma
Base
Compartimento médio
Compartimento interno
Compartimento externo
Válvula de saída de fluxo
Válvula de medição
Piloto
Parafuso de calibragem
Filtro
Mola de calibragem
Diafrágma
Câmara de referência
Filtro
Válvula solenoide
Unidirecional de esfera
Câmara de controle
Pressão da cabine
Diminuição da pressão da câmara de controle
Pressão atmosférica
Diafrágma
Caverna
Ajuste do alívio da pressão
Ventilação
Sangria
Filtro

Figura 14-15 Válvula de segurança da pressão de ar da cabine.

A válvula de alívio de pressão positiva impede que a pressão da cabine ultrapasse uma pressão diferencial pré-determinada acima da pressão ambiente. A válvula de pressão negativa impede que a pressão do ambiente ultrapasse a pressão da cabine, permitindo que o ar externo entre quando a pressão ambiente ultrapassa a pressão da cabine.

A válvula de alijamento ilustrada na figura 14-15 é atuada por uma chave de controle da cabine. Quando esta chave é posicionada para "RAM", a válvula solenóide abre, fazendo com que a válvula de segurança alije ar para a atmosfera. Em algumas instalações, um sistema manual, usando cabos e alavancas, é usado para atuar a válvula de alijamento.

A válvula de segurança consiste de uma seção da válvula de saída de fluxo e uma câmara de controle. A seção da válvula de saída de fluxo, e a câmara de controle, são separadas por um diafragma flexível, sensível à pressão.

O diafragma é exposto à pressão da cabine no lado da válvula de saída de fluxo e à pressão da câmara de controle no lado oposto.

O movimento do diafragma faz com que a válvula de saída do fluxo abra ou feche. Uma abertura provida de filtro na válvula de saída de fluxo permite que o ar da cabine entre na câmara de referência. A guia da válvula de saída de fluxo estende-se a essa abertura para limitar o fluxo de ar para dentro dessa câmara.

A pressão de ar, dentro da câmara de referência, exerce uma força contra a face interna da válvula de saída de fluxo para auxiliar a tensão da mola na manutenção da válvula fechada. A pressão do ar da cabine, contra a face externa da válvula de saída de fluxo, produz uma força de oposição à tensão da mola para abrir a válvula.

Sob condições normais, as forças combinadas dentro da câmara de referência são capazes de manter a válvula de saída de fluxo na posição "fechada". O movimento da válvula de saída de fluxo de fechamento para abertura, permite ao ar da cabine escapar para a atmosfera.

A cabeça incorpora uma câmara interna, chamada câmara de controle de alívio de pressão. Dentro da câmara de controle estão localizados dois diafragmas de alívio de pressão, a mola de calibração, o parafuso de calibração e a válvula de calibração acionada por mola. A ação desses componentes dentro da câmara, controla o movimento da válvula de saída de fluxo durante a operação normal.

Os dois diafragmas formam três compartimentos pneumáticos dentro da câmara de controle. O compartimento interno está aberto para a pressão da cabine, através de uma passagem na guia da válvula de saída de fluxo. O compartimento central está aberto para a câmara de referência e, dá vazão para o compartimento externo, através de um furo dreno na válvula de calibração.

O fluxo do ar da câmara de referência do compartimento central para o compartimento externo é controlado pela posição da válvula de calibração, a que é mantida na posição normalmente fechada por ação de mola. O compartimento externo, no qual a mola e o parafuso de calibração estão localizados, está aberto para a atmosfera através de uma passagem na cabeça.

A pressão atmosférica, atuando contra os diafragmas, auxilia a mola de calibração na manutenção da válvula de calibração fechada. A pressão da cabine, agindo sobre os diafragmas, através do compartimento interno, tenta abrir a válvula de calibração, deslocando-os de volta contra o parafuso de calibração.

Sob condições normais, as forças combinadas da pressão atmosférica e da mola calibradora mantêm a válvula de calibração distante do parafuso, mantendo-a fechada.

O alívio da pressão ocorre quando a pressão da cabine excede a pressão atmosférica de um valor pré-determinado. Nesse ponto, a pressão da cabine supera as forças combinadas da pressão atmosférica e da tensão da mola na câmara de controle, movimentando a válvula de calibração de volta, contra o parafuso de calibração.

Com a válvula aberta, o ar da câmara de referência pode escapar através do compartimento externo para a atmosfera. À medida que a pressão do ar da câmara de referência é reduzida, a força da pressão da cabine contra a válvula de saída de fluxo supera a tensão da mola e abre a válvula, permitindo que o ar da cabine flua para a atmosfera.

A razão de fluxo do ar da cabine para a atmosfera é determinada pelo quanto a pressão diferencial cabine-atmosfera excedeu o ponto de calibração. À medida que a pressão da cabine é reduzida, as forças abrindo a válvula serão proporcionalmente reduzidas, permitindo à válvula retornar à posição, normalmente fechada, conforme as forças se tornem balanceadas.

Em adição aos meios de operação automática descritos, a válvula inclui os meios para acionamento elétrico para a posição de alijamento. Isso é conseguido por uma passagem na cabeça, permitindo ao ar da câmara de referência escoar diretamente para a atmosfera.

O fluxo de ar, através da passagem, é controlado por uma válvula de esfera e uma válvula solenóide. A válvula solenóide é mantida na posição normalmente fechada por ação de mola. Quando a válvula solenóide é aberta pelo posicionamento da chave de pressão na cabine em "RAM", o ar flui da câmara de referência, diminuindo a pressão de referência, e permitindo à válvula de saída de fluxo abrir e alijar o ar da cabine.

Deve ser lembrado que a descrição precedente do sistema de controle de pressão é para finalidades ilustrativas, e não deve ser interpretado como representando uma construção particular ou modelo de aeronave. O manual do fabricante sempre é aplicável aos detalhes e limitações do sistema, para a aeronave com a qual você está envolvido.

Distribuição de ar

O sistema de distribuição de ar da cabine inclui: (1) dutos de ar, (2) filtros, (3) trocadores de calor, (4) silenciadores, (5) válvulas unidirecionais, (6) umidificadores, (7) sensores de controle de fluxo de massa, e (8) medidores de fluxo de massa. O sistema de distribuição mostrado na figura 14-16 é típico dos sistemas usados em pequenas aeronaves turboélice.

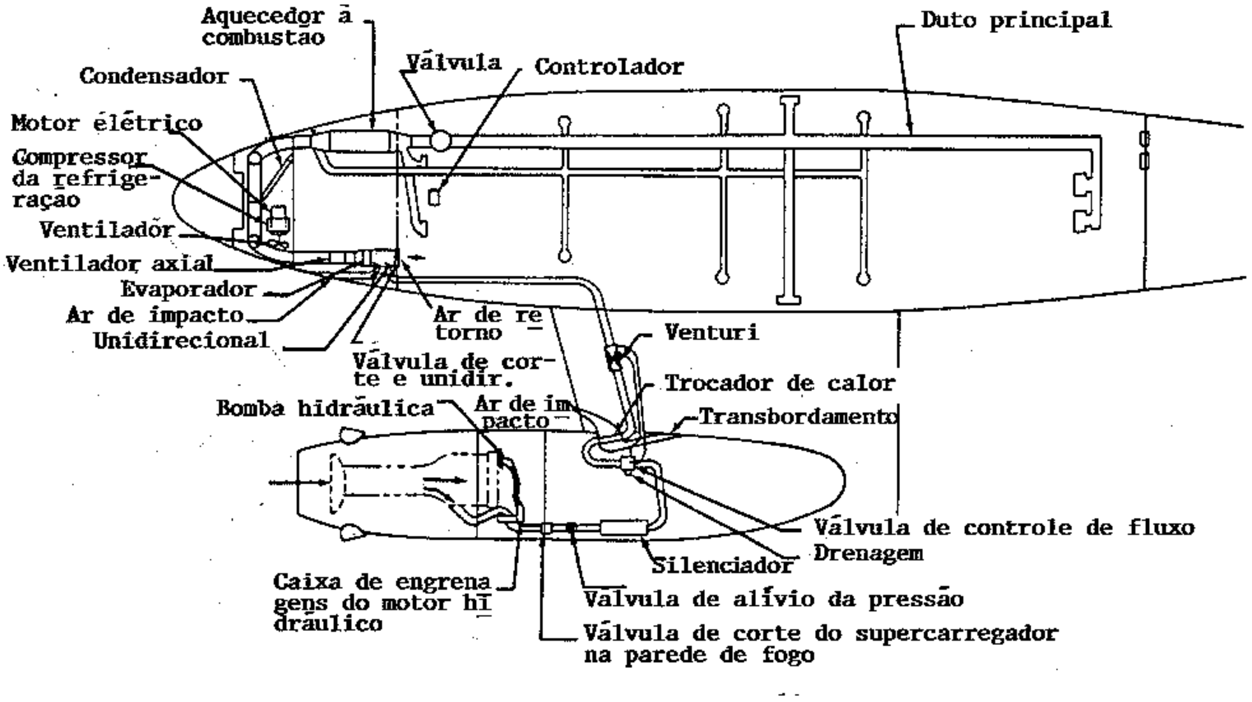

Aquecedor à combustão
Condensador
Motor elétrico
Compressor da refrigeração
Ventilador
Ventilador axial
Evaporador
Ar de impacto
Unidirecional
Válvula
Controlador
Duto principal
Ar de retorno
Válvula de corte e unidir.
Bomba hidráulica
Ar de impacto
Venturi
Trocador de calor
Transbordamento
Válvula de controle de fluxo
Drenagem
Silenciador
Caixa de engrenagens do motor hidráulico
Válvula de alívio da pressão
Válvula de corte do supercarregador na parede de fogo

Figura 14-16 Típico sistema de distribuição de ar.

O ar entra na cabine do supercompressor através de uma abertura, com tela na tomada de ar do radiador de óleo do motor esquerdo. Se a tela da entrada de ar estiver obstruída por gelo, uma porta sob pressão de mola ao lado da tela abre, permitindo ao ar desviar-se da tela.

Do supercarregador da cabine, o ar passa através de uma válvula de corte na parede de fogo, uma válvula de alívio de pressão e um silenciador, que abafa o barulho e as pulsações do supercarregador.

O ar então passa através de uma válvula de controle de fluxo, que controla a razão do fluxo de ar, para manter o máximo de libras de fluxo de ar por minuto.

Dutos de ar

Dutos com seção retangular ou circular são os mais usados nos sistemas de distribuição de ar.

Os dutos de seção circular são usados sempre que for possível; os retangulares são geralmente usados onde os dutos circulares não podem ser empregados, devido às limitações de espaço ou da instalação.

Os dutos retangulares podem ser utilizados na cabine, onde uma aparência mais agradável é desejada.

Os dutos de distribuição para várias zonas da cabine, saídas de ar individuais para passageiros, e desembaçador de janelas, podem ter várias formas. Exemplos de duto circular, retangular, elípitico e perfilado são ilustrados na figura 14-17.

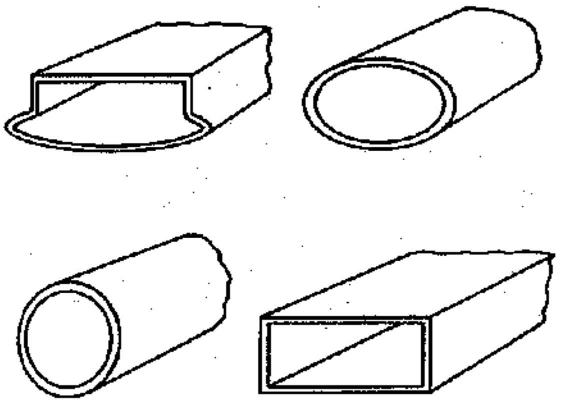


Figura 14-17 Secção em corte dos dutos de distribuição de ar.

Os dutos de suprimento de ar da cabine são usualmente feitos de ligas de alumínio, aço inoxidável ou plástico.

Tubos condutores para ar com temperaturas acima de 200º C são feitos de aço inoxidável.

As partes da tubulação, onde a temperatura do ar não excede 100 º C, são construídas de alumínio macio.

Dutos plásticos, rígidos ou flexíveis são usados como dutos de saída para a distribuição de ar condicionado

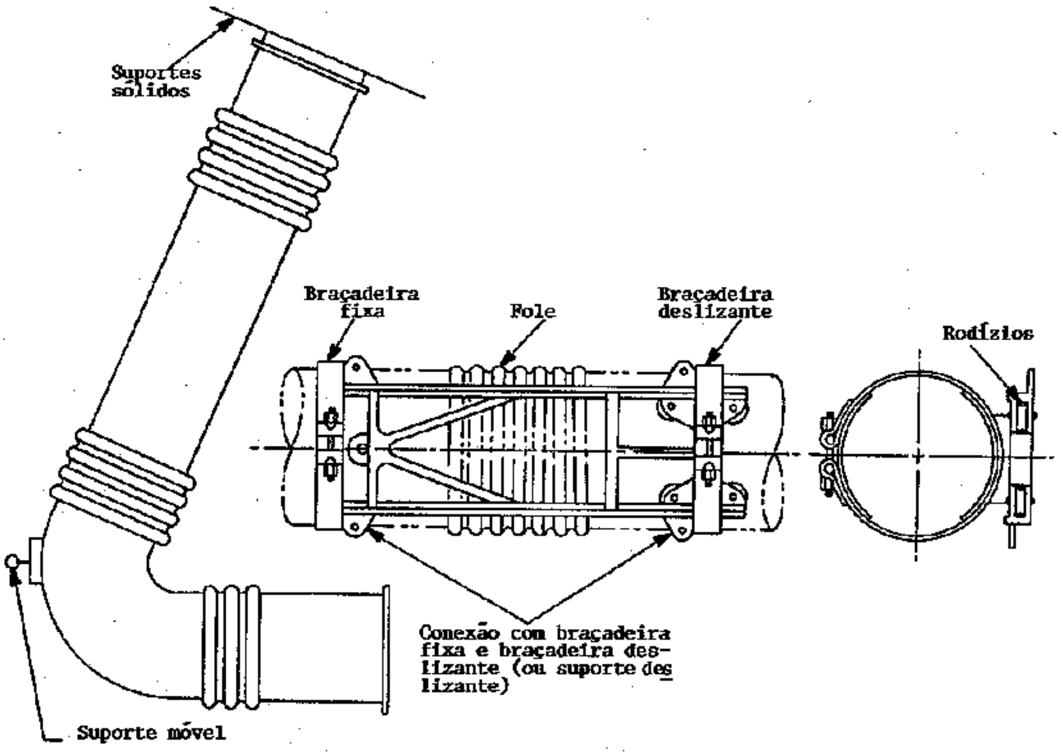

Suportes sólidos
Braçadeira fixa
Fole
Braçadeira deslizante
Rodízios
Conexão com braçadeira fixa e braçadeira deslizante (ou suporte deslizante)
Suporte móvel

Figura 14-18 Suportes de dutos e foles de expansão.

Desde que ar quente seja canalizado através do sistema de dutos, é importante que seja permitido ao duto expandir-se (expansão devido ao calor), e retrair-se novamente quando o ar resfria. Essa expansão e contração deve ocorrer sem perda da integridade do duto. Foles de expansão (figura 14-18) são incorporados em várias posições ao longo do sistema de dutos, para permitir que estes se expandam ou contraiam.

Em geral, são necessários apoios em ambos os lados das conexões com foles, um apoio fixo em lado para impedir o movimento do duto e um apoio corrediço com um suporte fixo no outro lado. O apoio corrediço permite o movimento do aneróide, enquanto a seção do duto estiver sob pressão. Sistemas típicos de apoio de duto são mostrados na figura 14-18.

Sempre que um duto for angulado, dispositivos são providenciados para prevenir quanto às forças nas extremidades, as quais tendem a empurrar as seções dos dutos separadamente. Isso pode ser conseguido com um suporte externo oscilante, o qual fixa o duto à estrutura rígida da aeronave (figura 14-19).

Em alguns casos, uma conexão articulada é incorporada dentro do próprio duto para transmitir as cargas nas extremidades. O elo de tração dentro do fole assemelha-se a um único elo de corrente que junta dois segmentos de dutos. A figura 14-20 ilustra uma conexão desse tipo.

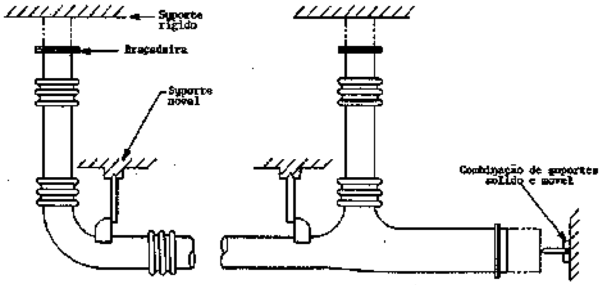

Suporte rígido
Braçadeira
Suporte móvel
Combinação de suportes sólido e móvel

Figura 14-19 Suportes típicos para dutos em ângulo.

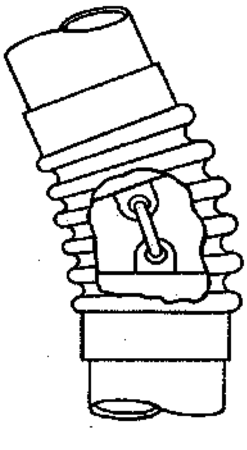


Figura 14-20 Conexão interna de um fole de expansão.

Filtros

O ar entregue a uma cabine pressurizada de um supercarregador ou compressor de turbina pode conter partículas de sujeira, vapor de óleo ou outras impurezas. Ar não filtrado, o qual contém uma considerável quantidade de impurezas, usualmente tem um odor desagradável, causando dor de cabeça e náusea. Filtros são geralmente incorporados na tubulação para purificação do ar.

SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

A função de um sistema de ar condicionado é manter uma temperatura confortável dentro da fuselagem da aeronave. O sistema irá elevar ou abaixar a temperatura do ar conforme necessário, para se obter a temperatura desejada.

A maioria dos sistemas é capaz de manter a temperatura de saída do ar entre 70º e 80º F, com temperaturas de saída do ar normalmente programadas. Este ar com a temperatura condicionada é então distribuído para que haja um mínimo de estratificação (camadas quentes e frias).

O sistema, em adição, deve possuir controle de umidade, prevenir contra o embaçamento das janelas, e deve manter a temperatura dos painéis de parede e piso sob nível confortável.

Em um sistema típico, a temperatura do ar é comparada à desejada, selecionado nos controles de temperatura. Então, se a temperatura não está correta, aquecedores ou resfriadores são colocados em operação para mudar a temperatura do ar, que é misturado, produzindo uma temperatura uniforme na cabine. Em resumo, um sistema de condicionamento de ar é projetado para desenvolver uma ou todas das seguintes funções: (1) ventilação; (2) aquecimento; e (3) resfriamento.

Ventilação

A ventilação é obtida através de dutos de ar pressurizado, instalados nas superfícies dianteiras, inferiores ou superiores da aeronave, ou através de outras tomadas de ventilação nas paredes da aeronave.

O ar entrando nestas aberturas usualmente passa dentro do mesmo sistema de duto, usado para aquecimento e resfriamento.

Em algumas aeronaves, ventiladores e assopradores de reciclagem estão presentes no sistema para auxiliar na reciclagem do ar. Muitas aeronaves tem conexão de solo para receber aquecimento, resfriamento ou ventilação de equipamentos de apoio de solo, quando estacionados.

SISTEMA DE AQUECIMENTO

A maior parte das necessidades de aquecimento para ar condicionado é conseguida automaticamente quando o ar é comprimido pelos supercarregadores de cabine. Em muitos casos, o calor não necessita ser adicionado.

A compressão do ar freqüentemente proporciona mais aquecimento que o necessário. Consequentemente, resfriamento em alguns graus é necessário, mesmo quando a temperatura do ar de saída não é alta.

Quando um grau de aquecimento, em adição àquele obtido do "calor da compressão" é necessário, um dos seguintes tipos de sistemas é colocado em operação: (1) aquecedores a combustão de gasolina; (2) aquecedores elétricos; (3) reciclagem de ar comprimido; e (4) trocador de calor ar-para-ar dos gases de exaustão.

Aquecedor à combustão

Os aquecedores a combustão operam similarmente à seção do queimador dos motores turbojato. A gasolina é injetada em uma área do queimador sob uma pressão a qual transforma o combustível em uma fina névoa.

O ar para a combustão é suprido ao queimador por meio de um vertedouro de ar comprimido ou uma ventoinha elétrica. A ignição é suprida por centelhamento contínuo de uma vela de ignição especial.

A combustão do combustível e ar ocorre continuamente. A temperatura de saída do aquecedor é controlada por um processo de ciclagem por meio do qual a combustão é ativada ou desativada por pequenos períodos de tempo, dependendo do aquecimento requerido. O ar, o qual eventualmente mistura com o ar da cabine é direcionado em torno da seção do queimador em uma passagem de ar separada. Esta ventilação retira o calor do queimador por convecção, através das paredes metálicas do queimador.

Os gases da combustão do queimador são expelidos para fora de bordo para prevenir contra a contaminação da cabine por monóxido de carbono.

Vários controles automáticos da combustão do queimador previnem contra a operação do aquecedor quando condições perigosas existirem, como por exemplo, o fluxo de combustível é cortado se houver ar insuficiente para a combustão, insuficiente ventilação e em alguns casos se o sistema de ignição não estiver funcionando.

Outros controles previnem contra aquecimento muito rápido da câmara de combustão e previnem contra ultrapassagem da temperatura máxima de saída.

Os aquecedores elétricos podem ser na forma de aquecedores de duto de ar ou painéis elétricos radiantes. O aquecedor de duto incorpora uma série de espirais de fio de alta resistência, localizadas em um duto de suprimento de ar.

Quando a energia elétrica é aplicada às espirais, elas de aquecem. O ar fluindo através dos dutos transporta o calor para a área onde ele é necessário. A maioria dos aquecedores de duto requerem uma ventoinha para assegurar o suficiente fluxo de ar sobre as espirais. Sem o auxílio do fluxo de ar produzido pela ventoinha, as espirais poderiam queimar-se devido ao super-aquecimento.

Usualmente um circuito elétrico é instalado para prevenir a operação do aquecedor caso a ventoinha não esteja em operação.

Painéis radiantes

Os painéis radiantes consistem de superfícies de paredes e piso, as quais têm fios incrustados no material do painel.

Quando a energia elétrica é aplicada aos fios, os fios e a superfície do painel tornam-se quentes. Este tipo de painel fornece calor para o ar da cabine, principalmente por radiação.

Aquecedores elétricos

Os sistemas de aquecimento elétrico requerem grande consumo de energia elétrica. Eles não podem ser utilizados, se o sistema elétrico tiver capacidade limitada.

Os sistemas de aquecimento elétrico, contudo, são de ação rápida, e podem ser usados para pré-aquecimento da aeronave no solo antes da partida dos motores, caso uma fonte de força estiver disponível.

Aquecedores a ar comprimido

Algumas aeronaves turbojato usam um sistema de aquecimento, no qual o ar comprimido quente da saída do compressor de cabine é reinjetado na entrada do compressor. Esta dupla compressão eleva a temperatura do ar suficientemente, de tal forma que outros tipos de aquecedores não são usualmente necessários.

Aquecedores a gás da exaustão

Um sistema de aquecimento, relativamente simples, usado em algumas grandes aeronaves, utiliza os gases expelidos pelo motor (figura 14-21), como uma fonte de calor.

Esse sistema é particularmente efetivo em aeronaves, onde a exaustão do motor é ejetada através de longo tubo de escapamento.

Um revestimento ou invólucro para ar quente é instalado em volta do tubo de escapamento.

O ar, injetado através do revestimento de ar quente, recebe o calor por convecção, do material do tubo de escapamento.

Este ar aquecido é enviado para um trocador de calor ar-para-ar, onde o seu calor é transferido para o ar que está sendo levado à cabine.

Pela utilização do trocador de calor ar-para-ar, em adição ao invólucro de ar quente, o perigo da penetração de monóxido de carbono na cabine é minimizado.

Independente do tipo, os sistemas de aquecimento proporcionam ar aquecido para o conforto, e fornecem calor para o desembaciamento, degelo e antigelo dos componentes e equipamentos da aeronave.

Quase todos os tipos de sistemas de aquecimento usam o movimento de deslocamento para a frente da aeronave, para forçar o ar condicionado para vários pontos.

Um sistema de aquecimento consiste de uma unidade de aquecimento, a tubulação necessária e controles.

As unidades, dutos e controles usados irão variar consideravelmente de sistema para sistema.

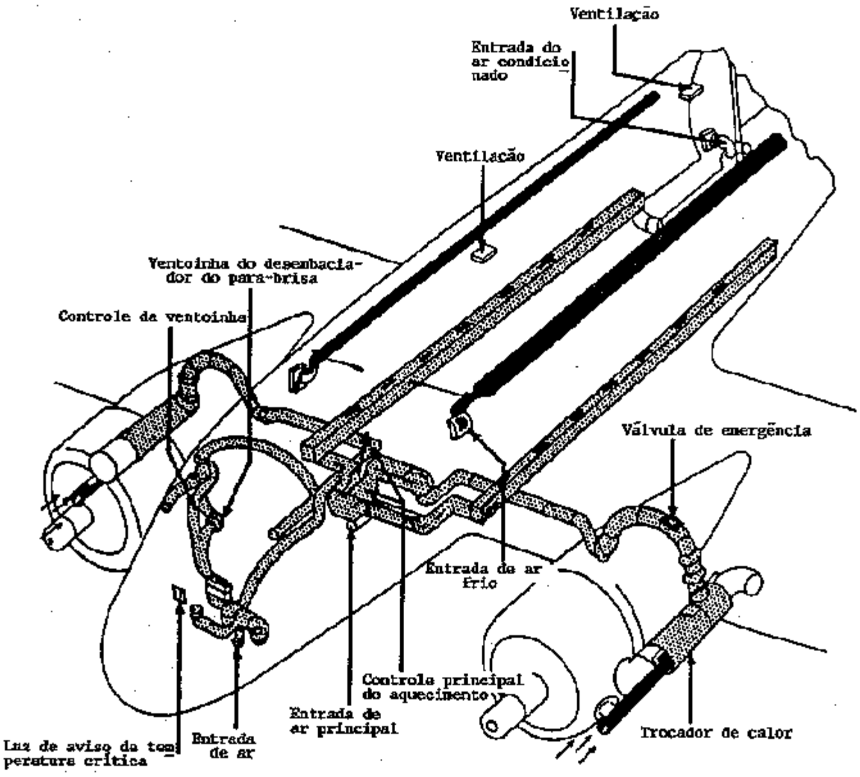

Ventilação
Entrada do ar condicionado
Ventilação
Ventoinha do desembaciador do para-brisa
Controle da ventoinha
Válvula de emergência
Entrada de ar frio
Controle principal do aquecimento
Entrada de ar principal
Entrada de ar
Luz de aviso da temperatura crítica
Trocador de calor

Figura 14-21 Sistema de aquecimento pelos gases do escapamento.

AQUECEDORES À COMBUSTÃO

O número e tamanho dos aquecedores à combustão usados em uma determinada aeronave depende do seu tamanho e de suas necessidades de aquecimento.

Estes aquecedores são instalados isoladamente ou, em combinação, para atender as necessidades de aquecimento da aeronave específica. Um grande aquecedor isolado, ou vários pequenos aquecedores, podem ser usados. Independente do tamanho, cada aquecedor à combustão necessita de quatro elementos para sua operação. (1) combustível para queimar; (2) ignição para inflamar o combustível; (3) ar para a combustão para prover o oxigênio necessário e manter a chama; e (4) ventilação para transferir o calor para os locais onde ele é necessário.

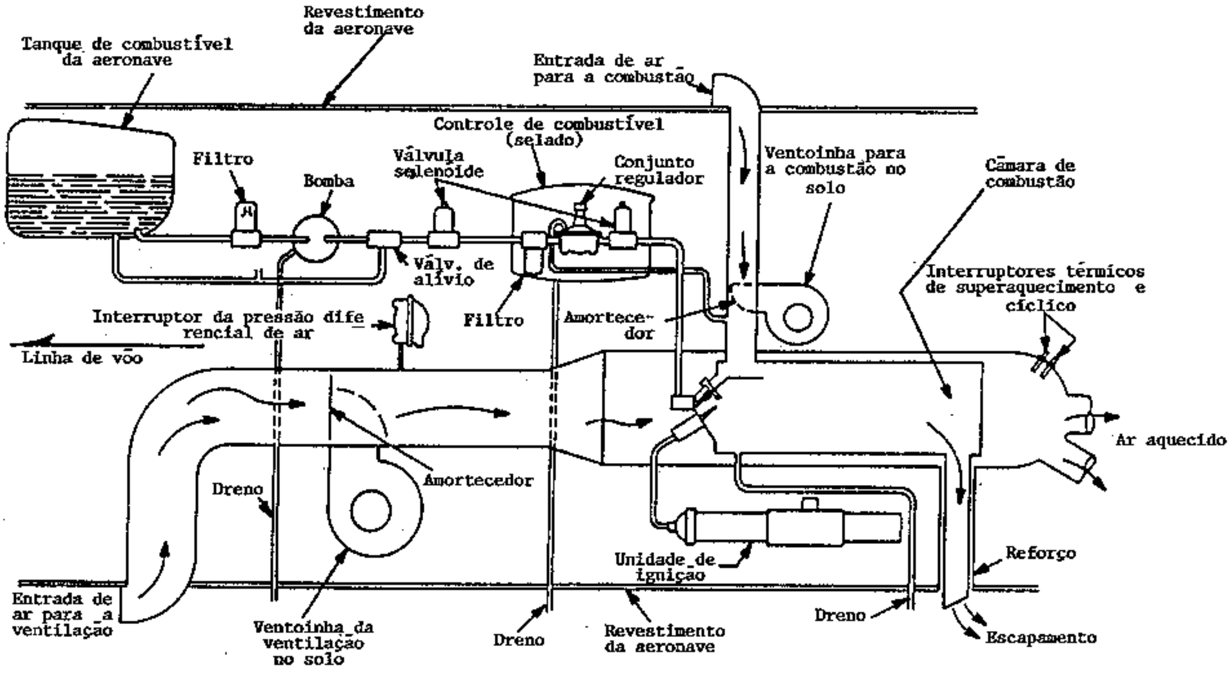

Revestimento da aeronave
Tanque de combustível da aeronave
Entrada de ar para a combustão
Controle de combustível (selado)
Filtro
Bomba
Válvula solenoide
Conjunto regulador
Ventoinha para a combustão no solo
Câmara de combustão
Válv. de alívio
Interruptores térmicos de superaquecimento e cíclico
Interruptor da pressão diferencial de ar
Filtro
Amortecedor
Linha de vôo
Ar aquecido
Dreno
Amortecedor
Unidade de ignição
Reforço
Entrada de ar para a ventilação
Ventoinha da ventilação no solo
Dreno
Revestimento da aeronave
Dreno
Escapamento

Figura 14-22 Esquema de instalação de um sistema aquecedor.

Sistemas de combustível do aquecedor

O combustível usado nos aquecedores é suprido, na maioria dos casos, pelos mesmos tanques de combustível que suprem os motores. O combustível flui do tanque para os aquecedores por gravidade, ou é bombeado até lá por bombas de combustível.

O combustível para o aquecedor deve primeiramente passar através de um filtro, do mesmo modo do combustível, que flui para os motores da aeronave para remover suas impurezas. Se partículas estranhas não forem removidas, elas podem eventualmente entupir as unidades do sistema de aquecimento e impedir a operação do aquecedor.

Após a filtragem, o combustível flui através de uma válvula solenóide de combustível e bicos medidores.

Independente do tipo, eles normalmente têm a mesma função, que é a de manter um volume constante à saída do combustível para a câmara de combustão. Este volume uniforme, em combinação com o fluxo de combustão fixado, assegura uma razão relativamente constante de combustível/ar para o aquecedor. O resultado é uma saída estável do aquecedor.

Para aumentar ou diminuir a temperatura da cabine, os aquecedores poderão operar mais ou menos tempo, conforme mais ou menos calor for desejado.

Na maioria dos sistemas de aquecimento isso é executado automaticamente por um amplificador, conectado ao dispositivo sensor de temperatura, ou pelos comutadores que abrem e fecham o circuito da válvula solenóide de combustível.

O aquecedor oscila então entre ligado e desligado, para manter a temperatura selecionada no reostato localizado na cabine.

A maioria dos sistemas de aquecimento também incluem comutadores de sobreaquecimento em cada saída do aquecedor, para cortar automaticamente o suprimento de combustível quando a temperatura atingir cerca de 350º F.

Pode-se observar que o controle do suprimento de combustível do aquecedor é necessário, não somente para a sua operação normal, mas também para desligá-lo quando superaquecido.

Outra unidade essencial para o sistema de combustível do aquecedor é a "alimentação" no interior da câmara de combustão.

Dependendo da instalação, ele poderá ser um bico injetor ou um vaporizador de pavio. O bico injetor (figura 14-23) é projetado para injetar uma nuvem fina e uniforme na corrente de ar da combustão, onde ela é inflamada pela vela de ignição.

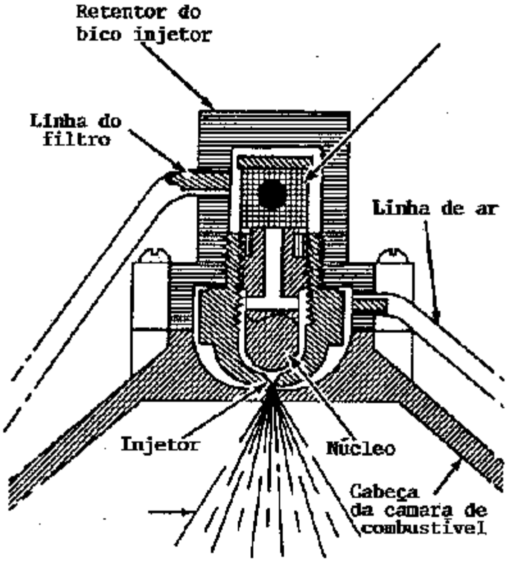


Figura 14-23 Bico injetor de aquecedor.

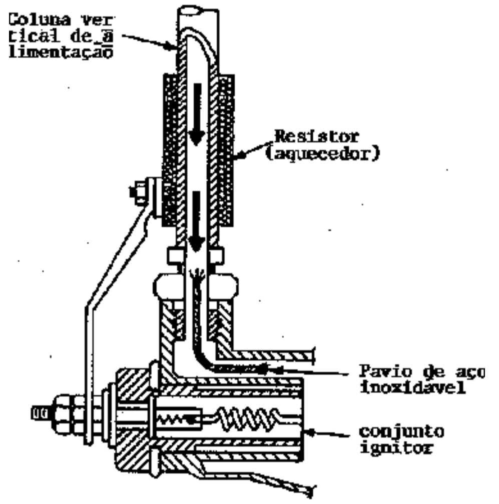


Figura 14-24 Vaporizador de pavio de aço inoxidável.

O vaporizador de pavio é feito de asbestos, contido em um tubo flangeado fundido ou em aço inoxidável, contido em uma coluna vertical. Este último tipo é mostrado na figura 14-24.

Um pré-aquecedor, na forma de uma bobina em torno da linha de combustível é usada em alguns aquecedores que utilizam vaporizador de pavio. Ele aquece o combustível para acelerar a vaporização e auxiliar a ignição quando a temperatura externa estiver abaixo de zero. O seu uso é limitado em dois minutos devido aos danos à resistência, em um longo período de operação.

Sistema de ignição

A alta voltagem para aquecedores usando velas de ignição como ignitores é suprida por uma unidade de ignição de alta potência; operando com fonte de 28 VCC da aeronave ou por transformadores de ignição operando com 115 VCA da aeronave.

A unidade de 28 VCC consiste principalmente de um vibrador e bobina elevadora, a qual produz uma centelha de alta-voltagem em alta freqüência. Um terminal blindado é usado para conectar a bobina à vela de ignição. A centelha é produzida entre o eletrodo central da vela e o seu eletrodo terra. Praticamente o mesmo resultado é obtido onde os transformadores de ignição são usados. Aqui, todavia, a energia é suprida por um sistema de inversor CA principal de 115 V 400Hz.

Essa energia é levada aos transformadores, onde se eleva a uma voltagem muito alta, necessária para fazer a centelha saltar entre o espaço dos eletrodos da vela de ignição. Mas se uma fonte CA ou CC é usada para centelhar a vela de ignição, a ignição é contínua durante a operação do aquecedor. Esta operação contínua impede que os eletrodos se sujem.

É a disposição dos eletrodos que fazem a diferença entre os tipos de velas de ignição usados nos aquecedores à combustão das aeronaves. Um tipo de vela de ignição é mostrado na figura 14-25A. Esse tipo é conhecido como de dois eletrodos.

O outro tipo de vela a ser encontrado nos aquecedores à combustão é a de eletrodo blindado (figura 14-25B). Nesta vela, o eletrodo terra forma uma blindagem em volta do eletrodo central.

Embora os ignitores à vela sejam diferentes, de alguma forma, na aparência, a maioria dos ignitores com espiral incandescentes são similares ao mostrado na figura 14-25C. Eles consistem de um fio resistivo enrolado em uma espiral em volta de um pino, que se estende do corpo do ignitor.

A extremidade externa da espiral é conectada ao pino; proporcionando suporte e continuidade elétrica.

O corpo do ignitor é provido de dois terminais, os quais são conectados através da espiral, e roscados para permitir a sua instalação. A espiral incandescente opera com fonte elétrica de 24 ou 28 VCC da aeronave.

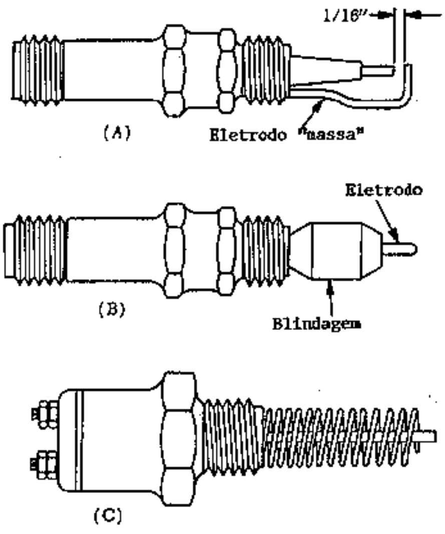


Figura 14-25 Velas de ignição de aquecedores.

A corrente direta faz com que a espiral se torne quente ao rubro e, assim, inflamando a mistura ar/combustível até que o aquecedor esteja operando a uma temperatura suficiente para manter a chama após o desligamento da espiral incandescente. Um disjuntor térmico corta o circuito para a espiral incandescente, quando essa temperatura é alcançada. Isto prolonga a vida do ignitor.

Um outro tipo de vela usado é a do tipo de eletrodo único (não mostrado). O eletrodo terra usado neste tipo de vela é uma instalação separada, fixada ao aquecedor, em um ângulo que irá proporcionar um espaçamento entre o eletrodo da vela e o terra.

Sistema de ar para a combustão

O ar para a combustão de cada aquecedor de cabine é recebido da tomada principal de ar ou através de uma tomada em separado.

Nas aeronaves pressurizadas e não pressurizadas isto é proporcionado por uma pressão dinâmica durante o vôo, e por um turbocompressor de solo quando em operação no solo. Para evitar que muito ar entre no aquecedor à medida que a pressão dinâmica aumenta, este é dotado de uma válvula de alívio do ar da combustão, ou um regulador de pressão diferencial. A válvula de alívio de ar é localizada na linha frontal do duto de tomada dinâmica de ar, e acionada por mola para alijar o excesso de ar na corrente de exaustão de gás do aquecedor.

O regulador de pressão diferencial está localizado também na linha de tomada de ar da combustão, mas ele controla a quantidade de ar chegando à câmara de combustão de uma maneira ligeiramente diferente.

Enquanto a válvula de alívio recebe uma grande quantidade de ar e desvia a quantia não necessária, o regulador de pressão permite que somente a quantidade necessária entre em sua tomada, logo de início. Ele faz isso através de um mecanismo de controle do tipo mola e diafragma. Um lado do diafragma é voltado para a linha de entrada de ar do aquecedor, e o outro lado para a linha de exaustão de gás.

Qualquer mudança na pressão ocorrida entre esses pontos é corrigida no regulador, que deixará passar mais ou menos ar, conforme necessário. Então uma pressão de ar da combustão constante é fornecida ao aquecedor. Associado à um fluxo regular de combustível, essa pressão constante de ar torna possível um fluxo regulado de gases para combustão através da câmara de combustão e o radiador conectado. Se uma chama surgir próximo ao aquecedor, uma válvula contra fogo automaticamente corta o suprimento de ar para a combustão, para evitar que o fogo se espalhe pelo sistema de aquecimento.

Uma válvula de contra fogo do ar da combustão do tipo-alijamento (figura 14-26) é localizada na entrada de ar de combustão de alguns aquecedores. Essa válvula tem dois segmentos semi-circulares, soldados juntos e acionados por mola, para permitir um fluxo máximo de ar através do duto de ar de combustão.

Os segmentos irão se soltar para vedar o duto, quando o material soldante se fundir a aproximadamente 400º F.

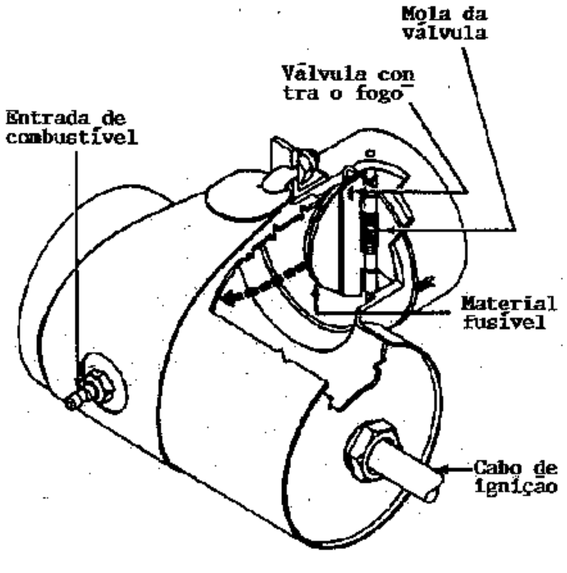


Figura 14-26 Válvula contra fogo de aquecedor à combustão.

Ventilação

A ventilação poderá vir de uma das três fontes: (1) um ventilador para circulação de ar e operação do aquecedor no solo; (2) uma tomada de ar pressurizado dinâmico; ou (3) um compressor de cabine nas aeronaves pressurizadas.

O ar da ventilação, pressão dinâmica ou ventilador, entra na extremidade da cabeça do aquecedor e, passando sobre as superfícies do radiador do aquecedor, torna-se aquecido e passa através do terminal de saída para o espaço total do conjunto e para os dutos do sistema de distribuição.

MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DO AQUECEDOR À COMBUSTÃO

Os componentes do aquecedor à combustão estão sujeitos ao desgaste e danos, que podem resultar na falha do sistema. Quando isto ocorre, os procedimentos de pesquisa de panes devem ser seguidos para isolar o componente. Todos os componentes em pane ou com desgaste excessivo devem ser substituídos. Durante a substituição dos componentes, ajustes devem ser feitos para assegurar a operação apropriada do sistema do aquecedor à combustão.

As instruções do fabricante devem ser seguidas sempre que se fizer qualquer ajuste no aquecedor ou no sistema de aquecimento.

Nesta seção, são discutidos os ajustes do sistema aquecedor típico, desenvolvido para aeronaves. Têm-se em mente que os componentes do sistema variam com os tipos de aeronaves e, igualmente, os procedimentos para ajuste.

Em algumas aeronaves, um cuidadoso ajuste das saídas de aquecimento é necessário para se obter uma distribuição uniforme de calor. Alguns dos fatores que podem causar variação na distribuição são: (1) a distância entre a saída e a fonte de ar aquecido; (2) a área de seção reta da saída; (3) do espaço servido pela saída; e (4) qualquer restrição ao fluxo de ar causada pelo tamanho do duto e do percurso.

Válvulas de mixagem de ar são instaladas nos sistemas de aquecimento de cabine, para que o ar quente e o ar frio possam ser misturados nas proporções necessárias a manter o aquecimento adequado. Algumas válvulas de mixagem de ar são pré-ajustadas no solo e não podem ser atuadas durante o vôo.

Ajustagens externas são executadas nessas válvulas para permitir ajustes sazonais. Durante a ajustagem, as válvulas são reguladas para um número específico de graus, a partir de uma posição completamente fechada.

Para assegurar uma mixagem adequada de ar quente e frio nas válvulas de mixagem de ar motorizadas, a ajustagem é feita em cada válvula. Os ajustes regulam as posições de abertura e fechamento das válvulas.

Inspeção no Sistema de Aquecimento

A inspeção dos sistemas de aquecimento por combustão, inclui a verificação das aberturas e saídas de ar quanto a obstruções. Todos os controles são verificados quanto à liberdade de operação.

Liga-se a bomba de combustível, de modo que as linhas de combustível, solenóides e válvulas possam ser verificadas quanto a vazamento. A unidade de aquecimento é inspecionada quanto à operação adequada ligando-a, e observando se o ar quente é produzido ou não na saída. A parte externa do aquecedor é verificada quanto a sinais de superaquecimento. Qualquer área queimada ou escurecida, normalmente indica uma queima diretamente da câmara de combustão.

Aquecedores danificados por superaquecimento devem ser substituídos. Quando se substitui um aquecedor, a operação imperfeita de algumas partes do sistema, tais como obstrução das entradas de ar do aquecedor ou inadequada operação dos interruptores, reguladores, válvulas, ou outras unidades, é a causa mais provável de dano. Os dispositivos automáticos e de controle de superaquecimento devem ser verificados operacionalmente.

Os dutos de aquecimento da cabine devem ser verificados quanto a rasgos, quebras e deformações. Para garantir o fluxo de combustível, o elemento do filtro de combustível do aquecedor deve ser inspecionado quanto a limpeza, e o bico injetor de combustível ou a espiral de ignição, quanto a estarem livres de depósitos de carvão.

Para obtenção da operação adequada dos aquecedores, a combustão sob condições de gelo, uma inspeção especial no inverno, deve ser desenvolvida. Verifica-se os drenos das linhas do aquecedor regularmente quanto às restrições causadas pela formação de gelo.

Durante a operação em baixas temperaturas (abaixo de 0ºC ou 32ºF); o valor d'água, nos gases de combustão, fluindo através dos drenos das linhas, pode condensar e formar gelo. Sob condições de mudança de temperatura, a água condensa e congela no fluxo de ar, colidindo com as linhas sensoras do aquecedor por combustão.

A água produzida durante a combustão pode acumular-se nos bicos de combustível e velas, e formar gelo após o desligamento do aquecedor. Esse gelo pode ser suficiente para tornar difícil, ou mesmo impossível, dar partida no aquecedor sem um pré-aquecimento.

SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Os sistemas de resfriamento são instalados para proporcionar uma atmosfera confortável dentro da aeronave, no solo ou em todas as altitudes. Esses sistemas mantêm a correta quantidade de ar fluindo através do interior da aeronave, com a temperatura e umidade corretas.

Desde que a fuselagem seja uma grande cavidade, a capacidade do sistema de resfriamento deve ser muito grande. Vários tipos de sistemas podem ser usados para se conseguir esses requisitos. Dois, dos tipos mais comuns, o de ciclo de ar e o de ciclo a vapor, serão discutidos nesta seção.

SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO TIPO CICLO DE AR

Um sistema de resfriamento do tipo ciclo de ar consiste de uma turbina de expansão (turbina de resfriamento), um trocador de calor ar-para-ar, e válvulas que controlam o fluxo de ar através do sistema.

A turbina de expansão incorpora um compressor e uma turbina em um eixo comum. O ar sob alta pressão do compressor da cabine é direcionado para a seção da turbina. À medida que o ar passa, ele gira a turbina e o compressor.

Quando o ar comprimido desenvolve o trabalho de girar a turbina, ele sofre uma queda de pressão e de temperatura. É essa queda de pressão e de temperatura que produz o ar frio usado para o condicionamento do ar.

Antes da entrada na turbina de expansão, o ar pressurizado é direcionado para um trocador de calor ar-para-ar. Essa unidade utiliza o ar exterior à temperatura ambiente para resfriar o ar comprimido. Fica evidente que o trocador de calor somente pode resfriar o ar comprimido para a temperatura do ar ambiente. A finalidade básica do trocador de calor é remover o calor da compressão, para que a turbina de expansão receba ar relativamente frio, e com ele inicie o seu próprio processo de resfriamento.

A hélice que faz parte da turbina de expansão pode desenvolver várias funções. Em algumas instalações, a hélice é usada para forçar o ar ambiente através do trocador de calor. Desta maneira, a eficiência do trocador de calor é aumentada sempre com a velocidade da turbina de expansão. Outras instalações usam o compressor para uma compressão adicional do ar do supercarregador da cabine; como um auxílio para forçá-lo através do trocador de calor e da turbina.

Uma válvula controla o fluxo de ar comprimido através da turbina de expansão. Para aumentar o resfriamento, a válvula é aberta para orientar uma grande quantidade de ar comprimido da turbina. Quando nenhum resfriamento é desejado, o ar da turbina é cortado.

Outras válvulas operadas em condição com a válvula de ar da turbina, controla o fluxo do ar ambiente através do trocador de calor. O efeito global do controle dessas válvulas é o de aumentar o fluxo de ar de resfriamento do trocador de calor, ao mesmo tempo em que resfria mais na turbina.

A força necessária para acionar o sistema de ciclo de ar é derivada inteiramente do ar comprimido do supercarregador da cabine. O uso do sistema de ciclo de ar, portanto, impõe uma carga extra aos supercarregadores. À medida que mais resfriamento é solicitado da turbina, maior solicitação de pressão é colocada sobre os supercarregadores, os quais devem trabalhar muito para suprir a demanda de ar.

Freqüentemente é necessário fazer uma escolha entre a quantidade desejada de resfriamento e o grau desejado de pressurização da cabine e a opção será a redução da demanda para um ou para outro.

O máximo de resfriamento ou de pressurização não pode ser obtido ao mesmo tempo. Tentativas para obter ambos farão com que o supercarregador trabalhe sobrecarregado, ou opere de uma maneira insatisfatória.

Operação do sistema

Esta descrição da operação de um sistema de condicionamento de ar, tem a intenção de fornecer um entendimento da maneira como o sistema é controlado, as funções de vários componentes e subconjuntos e seus efeitos na operação total do sistema. A figura 14-27 é um esquema de um sistema típico. Referências freqüentes ao esquema deverão ser feitas durante o estudo das descrições operacionais seguintes.

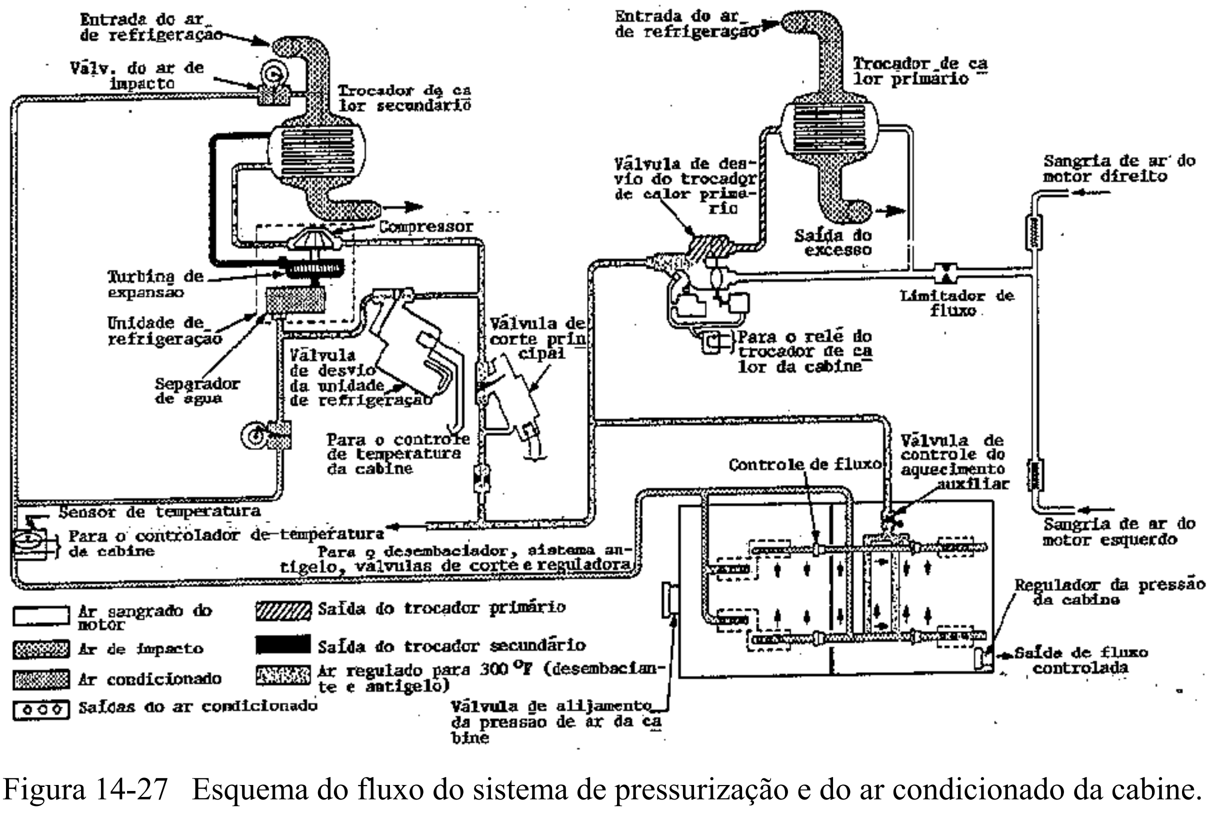

Entrada do ar de refrigeração
Válv. do ar de impacto
Trocador de calor secundário
Compressor
Turbina de expansão
Unidade de refrigeração
Separador de agua
Válvula de desvio da unidade de refrigeração
Válvula de corte principal
Para o controle de temperatura da cabine
Sensor de temperatura
Para o controlador de temperatura da cabine
Para o desembaciador, sistema antigelo, válvulas de corte e reguladora
Entrada do ar de refrigeração
Trocador de calor primário
Válvula de desvio do trocador de calor primário
Saída do excesso
Para o relé do trocador de calor da cabine
Limitador de fluxo
Sangria de ar do motor direito
Controle de fluxo
Válvula de controle do aquecimento auxiliar
Sangria de ar do motor esquerdo
Regulador da pressão da cabine
Saída de fluxo controlada
Válvula de alijamento da pressão de ar da cabine
Ar sangrado do motor
Ar de impacto
Ar condicionado
Saídas do ar condicionado
Saída do trocador primário
Saída do trocador secundário
Ar regulado para 300 °F (desembaciante e antigelo)

Figura 14-27 Esquema do fluxo do sistema de pressurização e do ar condicionado da cabine.

O sistema é composto de um trocador de calor primário, uma válvula de desvio do trocador, limitadores de fluxo, unidade de refrigeração, válvulas de corte principal, trocador de calor secundário, válvula de desvio da unidade de refrigeração, válvula de corte do ar de impacto, e um sistema de controle de temperatura. Um regulador de pressão da cabine e uma válvula de alijamento são incluídas no sistema de pressurização.

O ar, para o condicionamento do ar da cabine e do sistema de pressurização, é sangrado dos compressores de ambos os motores. As linhas de sangria do motor são cruzadas, e equipadas com válvulas unidirecionais para assegurar o suprimento de ar de qualquer motor.

Um bico limitador de fluxo é incorporado em cada linha, para evitar a completa perda de pressão no sistema remanescente, caso ocorra ruptura na linha, e para evitar que excessiva quantidade de ar quente sangre através da ruptura.

Na leitura do esquema, na figura 14-27, a entrada inicial de ar quente é indicada no lado direito. O fluxo é descrito na página, através de cada unidade, e voltando para o quadro; no canto inferior direito que representa a cabine de comando e a dos passageiros.

O ar procedente da tubulação do motor é canalizado através de um limitador de fluxo ao trocador de calor primário e, simultaneamente, para a sua válvula de desvio. O ar frio para o trocador de calor é obtido de um duto de entrada e, após passar pelo trocador, é eliminado para a atmosfera.

O suprimento de ar proveniente do trocador de calor primário é controlado para manter uma temperatura constante de 300ºF pela válvula de desvio do trocador de calor. A válvula de desvio é automaticamente controlada pela pressão de ar na sua entrada, e por um elemento sensor de temperatura na saída. Esses elementos proporcionam dados de temperatura, que fazem com que a válvula mantenha uma temperatura constante pela mixagem do ar quente sangrado do motor, com o ar refrigerado procedente do trocador de calor.

O ar da cabine é, em seguida, direcionado para outro limitador de fluxo e uma válvula de corte. Esta é a válvula de corte principal para o sistema, e é controlada da cabine de comando.

Da válvula de corte, o ar é direcionado para a válvula de desvio da unidade de refrigeração, para a seção do compressor da unidade de refrigeração, e para o trocador de calor secundário. A válvula de desvio, automaticamente mantém o compartimento de ar em qualquer temperatura pré-selecionada entre 60ºF e 125ºF. pelo controle da quantidade de ar quente, desviado da unidade de refrigeração, e misturado com o da saída da unidade de refrigeração.

O ar refrigerado para o núcleo do trocador de calor secundário é obtido de um duto de entrada. Algumas instalações usam um ventilador acionado à turbina para injetar ar através do trocador de calor; outros usam um assoprador acionado hidraulicamente. Após o resfriamento do ar da cabine, o ar refrigerado é expelido para a atmosfera.

À medida que o ar da cabine deixa o trocador de calor secundário, ele é dirigido para a turbina de expansão, que é movimentada pela pressão do ar exercida sobre ela. No desenvolvimento dessa função, o ar é então resfriado, antes de entrar no separador de água, onde a umidade contida no ar é reduzida. Do separador de água, o ar é dirigido através do sensor de temperatura para a cabine.

O ar entra nos espaços da cabine através de uma malha de dutos e difusores, sendo distribuído igualmente por todos os espaços. Alguns sistemas incorporam tomadas direcionadas, que podem ser giradas pelos ocupantes da cabine para proporcionar um conforto adicional. Um sistema alternativo de ar de impacto é fornecido para suprir a cabine com ar ventilado, caso o sistema normal esteja inoperante, ou para livrar áreas da cabine de fumaça, odores indesejáveis ou vapores que possam ameaçar o conforto, a visibilidade ou a segurança.

Os sistemas de ar condicionado e ar de impacto são controlados de um único interruptor na cabine de comando. Esse interruptor é de três posições "OFF", "NORMAL" e "RAM". Na posição "OFF" (desligado), sob condições normais, todo o equipamento de condicionamento de ar, pressurização e ventilação da cabine estará desligado. Na posição "NORMAL" (ligado) sob condições normais, o equipamento de pressurização e condicionamento de ar está funcionando normalmente e o ar de impacto estará desligado. Na posição "RAM" (ar de impacto), sob condições normais, a válvula de corte principal fecha, e o regulador da pressão de ar da cabine e a válvula de alijamento de segurança estarão abertos. Isso permite que o ar de impacto, procedente do duto de calor, seja direcionado para o duto de suprimento de ar da cabine para resfriamento e ventilação. Com o regulador de pressão do ar e a válvula de alijamento de segurança energizada aberta, o ar existente na cabine e o ar de impacto que entra, estão constantemente sendo alijados para a atmosfera, assegurando um pronto fluxo de ar fresco para a cabine.

Um duto incorporado no sistema de ar condicionado, entre a linha de temperatura constante, procedente da válvula de desvio do trocador de calor primário e o compartimento da cabine, supre com ar quente para o aquecimento suplementar. O controle desse ar é feito por uma válvula auxiliar de controle de calor, do tipo borboleta. A válvula de controle de calor é controlada por uma alavanca operada manualmente, que é conectada por um cabo a um braço de controle da válvula.

O sistema de controle de temperatura consiste de um controlador de temperatura, um botão seletor; um interruptor de controle de duas posições, uma válvula de desvio reguladora e uma rede de controle.

Quando o interruptor de controle de temperatura estiver na posição "auto"; a válvula de desvio irá procurar uma posição de passagem, que resultará em uma temperatura no duto, correspondente à temperatura ajustada no controlador. Isso é conseguido através de uma rede de controle, que transmite sinais dos elementos de sensoreamento para o controlador de temperatura da cabine, que então, eletricamente, posiciona a válvula em relação aos ajustes do botão de controle de temperatura.

Com o interruptor de controle de temperatura na posição "MAN", o controlador irá controlar a válvula de desvio diretamente, sem referência da temperatura do duto. Nesse modo de operação, as temperaturas desejadas são mantidas pelo monitoramento do botão de temperatura do ar, à medida que as condições de temperatura da cabine são alteradas.

OPERAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE CICLO DE AR.

Trocador de calor primário

Essa unidade, ilustrada na fig 14-28, reduz a temperatura do ar sangrado do motor, ou do ar descarregado pelo supercarregador, introduzindo-o através das tubulações no núcleo do trocador. Durante o vôo, o núcleo é resfriado pelo ar de impacto. A quantidade de ar a ser resfriada no trocador de calor primário é controlada pela válvula de desvio do mesmo.

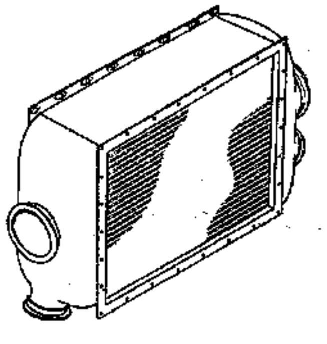


Figura 14-28 Trocador de calor primário.

Válvula de desvio do trocador de calor primário

A válvula de desvio do trocador de calor primário (figura 14-29) está localizada no duto de alta pressão, na saída do trocador de calor primário. Como mencionado anteriormente, ela regula e controla o fluxo de ar e o ar desviado do trocador de calor primário, para manter a temperatura do ar na saída, constante a 300ºF.

A unidade consiste, essencialmente, de um conjunto regulador que possui um regulador de pressão, um atuador do controle de temperatura, uma válvula solenóide e um termostato pneumático. O conjunto possui duas entradas marcadas com "HOT" e "COLD" e uma saída. As duas entradas incorporam válvulas borboletas, que são montadas em eixos serrilhados que se projetam através da extensão do alojamento do conjunto, e são fixados a um braço atuador de controle comum.

As borboletas estão posicionadas a 90º uma da outra e operam, de tal maneira, que quando uma se move para a posição aberta, a outra se move para a posição fechada. O eixo atuador contém um parafuso batente ajustável que limita o curso do atuador, e indica a posição das borboletas.

O atuador de controle de temperatura está montado sobre o corpo de uma válvula de desvio, e consiste de um alojamento e uma capa contendo um conjunto diafragma sob pressão de mola. O conjunto diafragma está afixado ao braço de controle da borboleta, e divide o atuador em uma câmara sensora ambiente. A câmara ambiente contém a mola do diafragma e a haste atuadora.

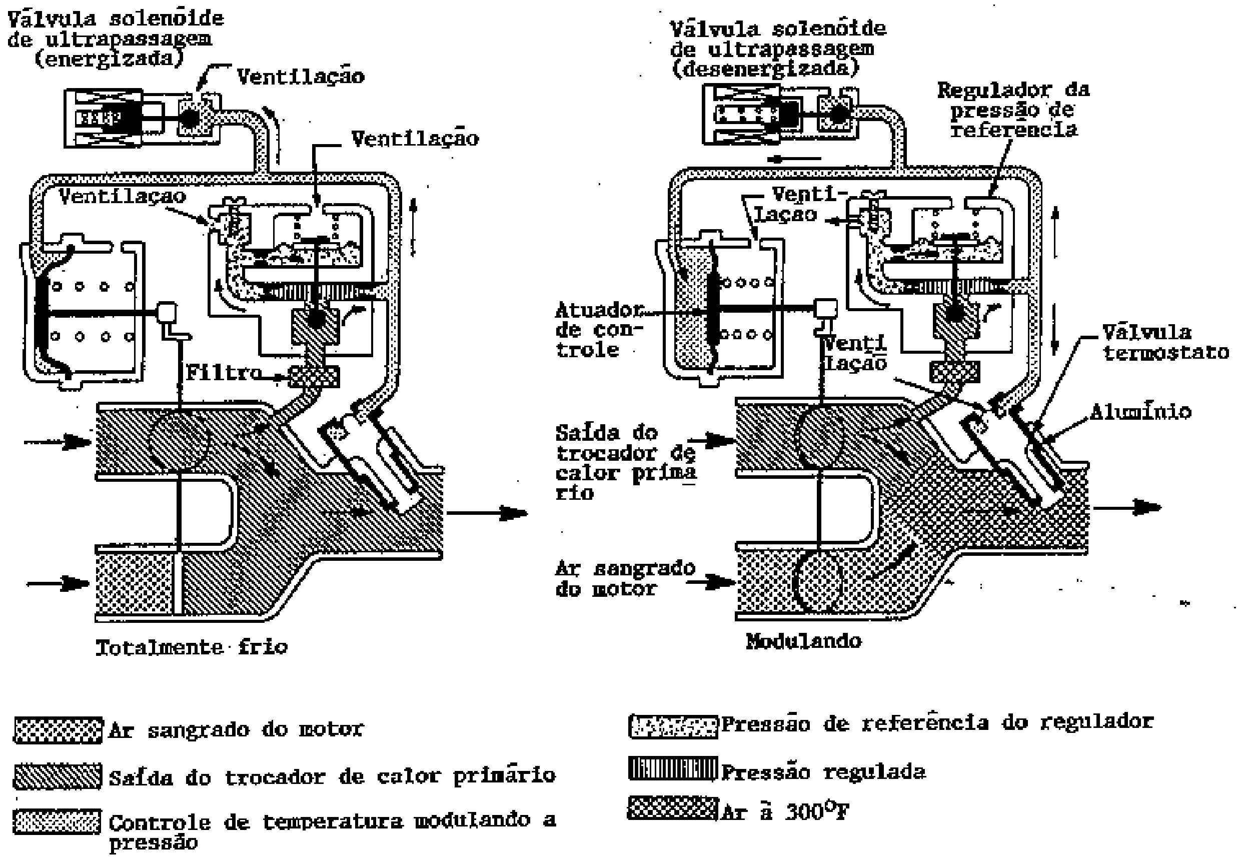

Válvula solenóide de ultrapassagem (energizada)
Ventilação
Ventilação
Ventilaçao
Filtro
Totalmente frio
Válvula solenóide de ultrapassagem (desenergizada)
Regulador da pressão de referência
Venti-lação
Atuador de controle
Venti lação
Válvula termostato
Alumínio
Saída do trocador de calor primario
Ar sangrado do motor
Modulando
Ar sangrado do motor
Saída do trocador de calor primário
Controle de temperatura modulando a pressão
Pressão de referência do regulador
Pressão regulada
Ar à 300ºF

Figura 14-29 Válvula de desvio do trocador de calor primário.

Como mostrado na figura esquemática 14-29, a pressão proveniente do trocador de calor primário é dirigida através do filtro e, em seguida, através do regulador de pressão para a câmara de controle de pressão do atuador de controle de temperatura.

Essa pressão interna é chamada pressão de referência, que aplicada contra o diafragma atuador controla a posição das borboletas, que por sua vez controlam a proporção de ar quente da linha de desvio e de ar refrigerado do trocador de calor. A operação completa da válvula de desvio está centrada sobre a proporção da pressão de ar de referência para aquecer. Quanto maior a pressão de referência suprida para o atuador de controle, mais alta será a temperatura do ar na saída.

Um regulador de pressão está instalado na válvula de desvio, para assegurar um suprimento de pressão de ar de referência para o atuador de controle, baseado em uma tabela sobre a temperatura controlada.

À medida que a altitude da aeronave aumenta, a pressão de referência constante, no atuador de controle, tende a movimentar o diafragma do atuador, ainda mais em direção ao lado ambiente. Isso move as borboletas na direção onde aumenta a temperatura de saída.

O regulador de pressão compensa essa condição com a ajuda de um termostato pneumático.

O termostato do tipo de orifício variável consiste de uma válvula de esfera, sob ação de mola e uma sede no conjunto do núcleo. O conjunto do núcleo é composto de um elemento de alta expansão (alumínio) e de um elemento de baixa expansão (INVAR). Como pode ser visto no diagrama (figura 14-29), o alojamento de alumínio e a extremidade do núcleo de INVAR estende-se para a saída do núcleo.

A expansão linear do alojamento de alumínio move o conjunto do núcleo de INVAR e a válvula de esfera da sua sede. Esse movimento libera a pressão de ar de referência para a atmosfera. A pressão resultante aplicada contra o diafragma do atuador de controle de temperatura controla a posição das borboletas.

O mecanismo de regulagem da válvula de desvio pode ser ajustado para entregar ar frio somente pela energização da válvula eletromagnética (válvula solenóide de ultrapassagem). A válvula eletromagnética alivia toda a pressão de ar de referência para a atmosfera, quando energizada.

Sem pressão de ar de referência, o diafragma sob ação de mola no atuador de controle de temperatura, retorna as borboletas para a posição "frio máximo". O circuito elétrico é arranjado para que a válvula solenóide somente possa ser energizada se o interruptor de controle de antigelo do pára-brisas estiver na posição "OFF". Isso assegura um suprimento de ar quente para a operação do antigelo.

Válvula de Corte

A válvula de corte (figura 14-30), localizada no duto de suprimento de ar da unidade de refrigeração, controla a pressão do ar para essa unidade.

Ela é também a principal válvula de corte para os sistemas de pressurização e condicionamento de ar da cabine.

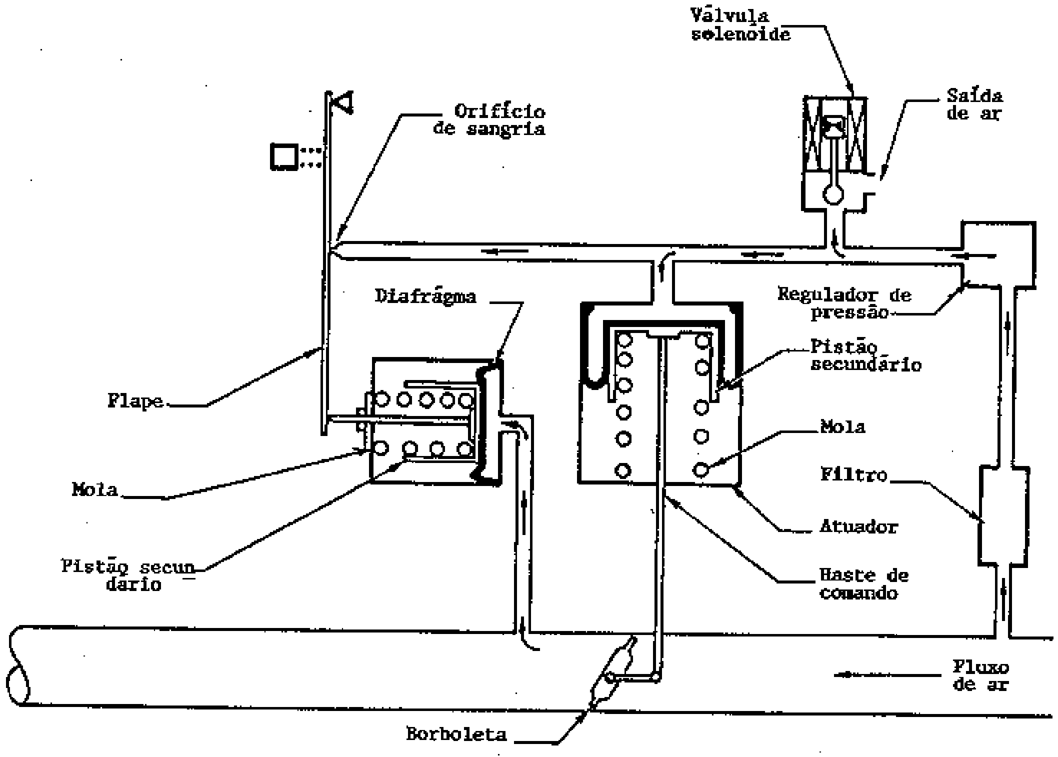


Figura 14-30 Válvula de corte.

A válvula requer energia elétrica, e um mínimo de 15 P.S.I. de pressão na entrada para funcionar. Ela regulará a pressão de saída para 115 P.S.I..

Embora essa válvula seja uma válvula abre/fecha, sua maior função é regular. Isso é obtido por intermédio de uma válvula sob pressão de mola, na linha que é controlada por um pistão primário.

A pressão de entrada (se acima de 15 P.S.I.) é drenada através de um filtro e do mecanismo de regulagem para atuar sobre o pistão primário, abrindo desse modo a válvula.

Após a elevação da pressão de saída para 115 P.S.I., ela age sobre um mecanismo de ligação, abre o orifício de sangria para o limite da quantidade de ar atuante sobre o pistão primário. Desde que o pistão primário esteja na posição "FECHADO", por ação de mola, ele estará limitando a pressão de saída a 115 P.S.I.

A válvula de corte é operada por uma válvula solenóide, que fica desligada por ação de mola. Na posição "OFF", o ar de controle da entrada é desviado para a atmosfera antes que ele possa operar o pistão primário.

Quando o interruptor da cabine de comando á atuado, o solenóide é energizado e o desvio para a atmosfera fechado, permitindo à pressão crescer para operar o pistão primário.

Válvula de desvio para refrigeração

A válvula de desvio para refrigeração (figura 14-31) opera em conjunto com o sistema de controle de temperatura, para ajustar e controlar o fluxo de ar desviado para a unidade de refrigeração. Esta ação mantém automaticamente o ar da cabine à temperatura selecionada, através do controlador de temperatura. A válvula é controlada elétrica e pneumaticamente.

Sua operação é baseada em um sinal do elemento sensor de temperatura de saída, o qual é controlado através do sistema de controle de temperatura, para uma posição "OPEN", mas utiliza a pressão pneumática de entrada para abrir a válvula.

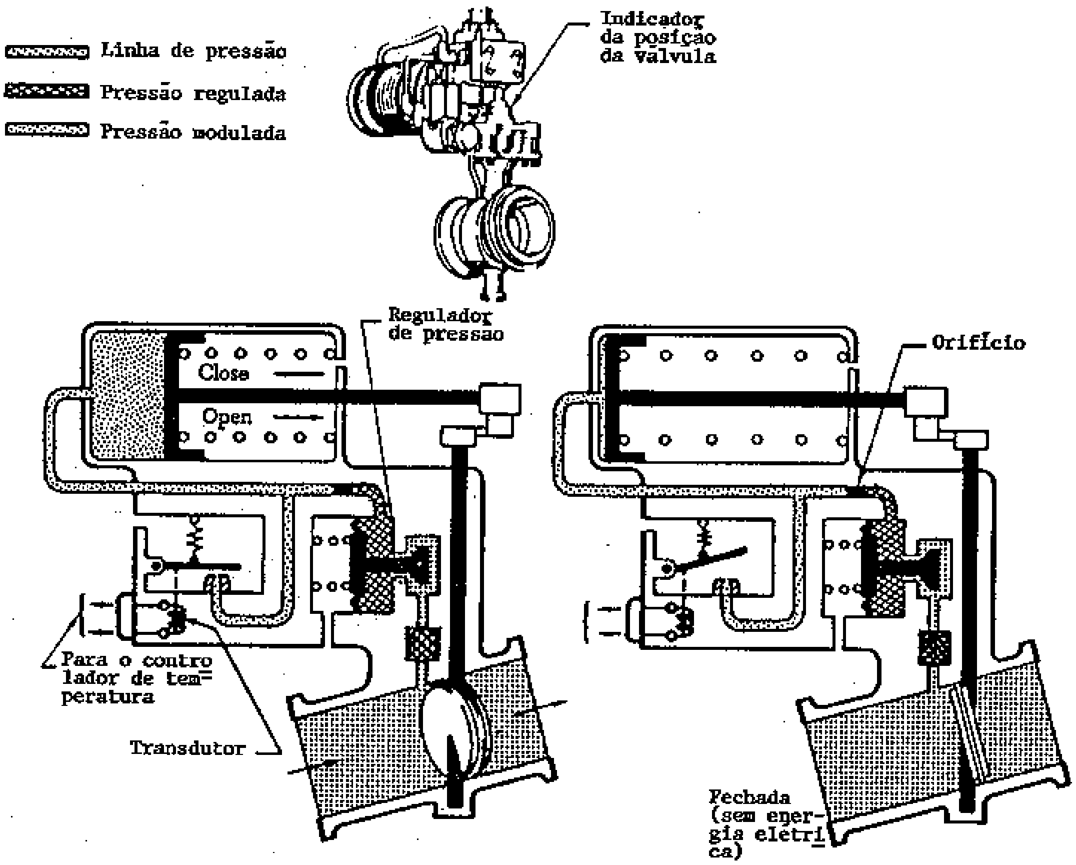


Figura 14-31 Válvula de desvio da refrigeração.

Quando uma força elétrica é aplicada, uma bobina e armadura (transdutor) é energizada, fechando a passagem de sangria na câmara de pressão da válvula. A pressão resultante, criada na câmara, força o pistão a girar a válvula borboleta no duto de ar da cabine, para uma posição "OPEN".

À medida que a temperatura varia ou uma nova temperatura é selecionada, a válvula é reposicionada correspondentemente.

O reposicionamento é conseguido pela ação de um transdutor, variando a quantidade de pressão permitida para sangrar, da câmara de pressão.

Falha da válvula de desvio ou seus componentes farão com que a válvula se mova para a posição fechada (FAIL SAFE).

Trocador de calor secundário

A função do trocador de calor secundário é a de refrigerar parcialmente o ar para a pressurização e o condicionamento da cabine, para a temperatura que torna possível a operação eficiente da unidade de refrigeração.

O conjunto trocador de calor consiste principalmente de tubos de alumínio ondulados. Os tubos são arranjados para que o ar pressurizado da cabine possa fluir dentro deles, e o fluxo de ar refrigeração através deles.

O trocador de calor secundário opera essencialmente da mesma maneira que o trocador de calor primário. O ar da cabine, que será posteriormente resfriado, é direcionado através de tubos para o núcleo do trocador de calor. O ar refrigerado é forçado através do trocador de calor secundário e retornado para uma entrada de ar do motor, ou pode ser desviado diretamente para a atmosfera.

O ar da cabine é regulado por uma válvula de desvio de refrigeração, onde ele é dirigido para um trocador de calor secundário ou para a linha de desvio da unidade de refrigeração em quantidades medidas, conforme o necessário para atender à demanda do sistema de controle de temperatura.

Unidade de refrigeração

A unidade de refrigeração, ou turbina, é usada no sistema de condicionamento de ar para resfriar o ar pressurizado para a cabine. A operação da unidade é inteiramente automática, é a energia sendo derivada da pressão e temperatura do ar comprimido, passando através da roda da turbina. O ciclo de refrigeração está ajustado para atender a variação de demanda de refrigeração da cabine, por uma válvula de desvio, que proporciona a refrigeração completa da unidade. Desse modo, a temperatura da cabine é regulada pela mistura do ar desviado, com o que passou pela unidade de refrigeração.

A turbina de refrigeração (figura 14-32) consiste de três seções principais: (1) o conjunto da carcaça principal; (2) conjunto da câmara da turbina; e (3) conjunto da câmara do compressor.

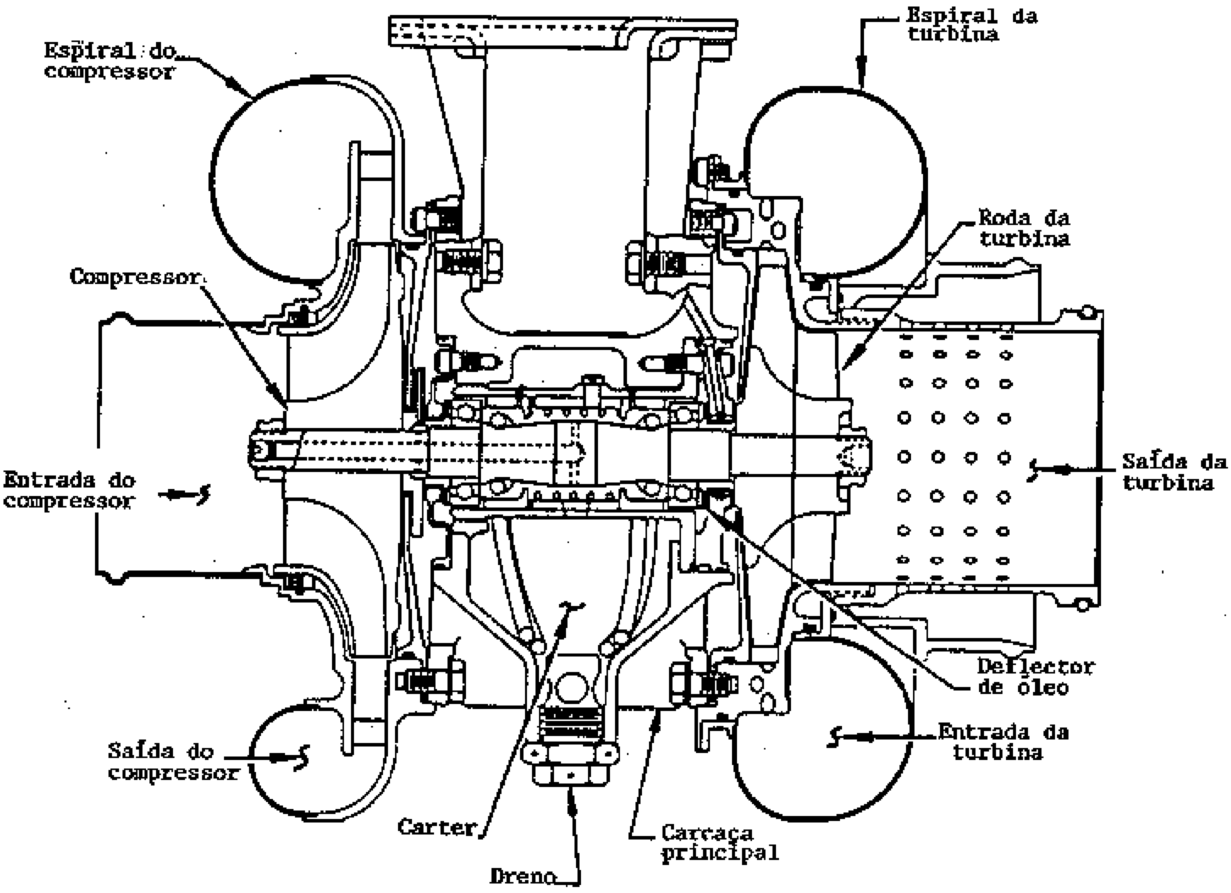


Figura 14-32 Esquema de uma turbina de refrigeração.

O conjunto da carcaça principal proporciona a estrutura para os dois conjuntos de câmaras, e fornece o apoio para os dois eixos. Ele serve também como reservatório de óleo, que é suprido aos rolamentos por pavios. Uma vareta para verificação do nível de óleo está fixada no tampão do bocal de enchimento. O conjunto de câmara da turbina é composto de duas metades que encerram o alojamento da turbina, dentro do qual a roda da turbina gira. O conjunto da câmara do compressor é composto de duas metades que contêm o difusor, dentro do qual a roda do compressor gira.

Um eixo comum suporta ambos os conjuntos, sendo apoiado por rolamentos no conjunto da carcaça. Um borrifador de óleo está montado externamente próximo a cada um dos rolamentos que apoiam o eixo. Uma névoa de ar/óleo é borrifada, diretamente nos rolamentos para lubrificá-los. Selos de ar/óleo são instalados entre cada borrifador e a roda adjacente.

O suprimento de ar que está sendo resfriado movimenta a turbina de refrigeração. Um rotor acionado por essa turbina, força o ar refrigerado através da unidade de refrigeração.

O processo de refrigeração ocorre quando o ar quente comprimido expande através da roda da turbina de expansão do ar. Isso resulta em uma redução na temperatura e pressão do ar. À medida que esse ar quente comprimido se expande, ele fornece energia para a roda da turbina, fazendo com que ela gire em alta velocidade.

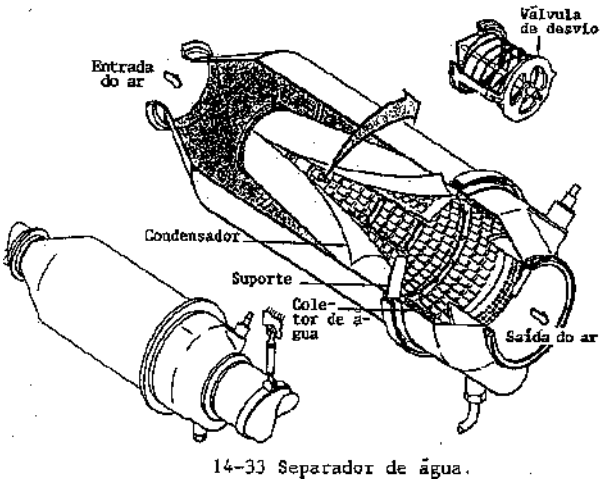
Desde que a roda da turbina e a roda do compressor estejam nas extremidades opostas de um eixo comum, a rotação da roda da turbina resulta em uma rotação correspondente da roda do compressor. Dessa forma, a energia liberada do ar comprimido em alta temperatura para a roda da turbina, fornece a energia necessária pela rotação do compressor para promover a compressão do ar admitido.

A carga imposta à turbina, pelo compressor, mantêm a velocidade de rotação dentro da faixa de máxima eficiência. A redução da temperatura do ar auxilia na manutenção da temperatura da cabine dentro dos limites desejados.

Separadores de água

Os separadores de água (figura 14-33) são usados no sistema de condicionamento de ar da cabine, para remover a umidade excessiva do ar.

Na maioria dos sistemas de refrigeração, um separador de água está instalado no duto de descarga da turbina de resfriamento.



14-33 Separador de água.

Figura 14-33 Separador de água.

O separador de água remove o excesso de umidade do ar condicionado pela passagem do ar, através de um saco aglutinador ou condensador. As partículas de água muito pequenas na forma de névoa ou vapor, contidas no ar, são transformadas em grandes partículas quando passam através do condensador.

À medida que o ar carregado de umidade passa pelas palhetas do suporte aglutinador, as partículas de água são transportadas pelo turbilhão de ar e jogadas para fora contra as paredes do coletor. A água, então, escorre para um cárter coletor, sendo drenada para a atmosfera.

Alguns separadores de água também possuem uma válvula de desvio sensível à altitude e que aliviam a pressão, desde que pouca umidade esteja presente no ar em grandes altitudes. A válvula de desvio no separador de água abre a uma altitude predeterminada, geralmente 20.000 pés, para permitir que o ar frio passe diretamente através do separador de água, desviando-se do saco aglutinador, e reduzindo a pressão de retorno no sistema.

A válvula de desvio abrirá também se, por algum motivo, o saco aglutinador tornar-se obstruído.

Um indicador da condição do saco aglutinador é instalado em alguns separadores de água para indicar quando o saco está sujo. O indicador sente a queda de pressão através do saco, e indica quando essa queda está excessiva. Desde que o indicador seja sensível à pressão, a condição do saco é determinada somente enquanto o sistema está em operação.

Válvula de ar de impacto

A válvula de ar de impacto está sempre fechada durante operações normais. Ela é energizada para abrir quando o interruptor da cabine de comando é colocado na posição “RAM”. Com a válvula de ar de impacto aberta, o ar do duto de entrada é admitido através da válvula, e encaminhado para o duto de suprimento de ar da cabine.

SISTEMA ELETRÔNICO DE CONTROLE DA TEMPERATURA DA CABINE

A operação do sistema eletrônico de controle da temperatura da cabine é baseado no princípio do circuito de ponte em equilíbrio. Quando qualquer das unidades que compõe as “pernas” do circuito da ponte muda o valor da resistência devido à mudança de temperatura, o circuito da ponte torna-se desbalanceada. Um regulador eletrônico recebe um sinal elétrico como um resultado desse desequilíbrio e amplifica esse sinal, para controlar o atuador da válvula de mixagem.

Em uma aplicação típica do sistema eletrônico de controle de temperatura, são utilizadas três unidades: (1) um sensor de temperatura (termistor); (2) um seletor manual de temperatura; e (3) um regulador eletrônico.

A figura 14-34 mostra um diagrama esquemático simplificado de um sistema eletrônico de controle de temperatura.

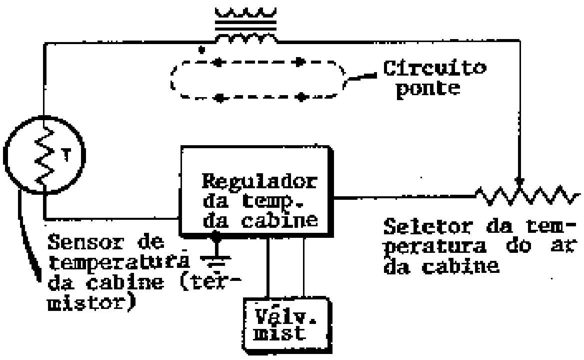

Circuito ponte
T
Regulador da temp. da cabine
Seletor da temperatura do ar da cabine
Sensor de temperatura da cabine (termistor)
Válv. mist

Figura 14-34 Sistema eletrônico (simplificado) de controle da temperatura do ar da cabine.

Unidade sensora de temperatura da cabine

A unidade sensora de temperatura da cabine consiste de um resistor, que é altamente sensível a mudanças de temperatura.

A unidade sensora de temperatura está normalmente localizada na cabine ou no duto de suprimento de ar para a cabine.

À medida que a temperatura do ar fornecido muda, o valor da resistência da unidade sensora também muda, desse modo, fazendo com que a voltagem caia através do sensor.

O sensor de temperatura da cabine é uma unidade do tipo termistor (figura 14-35).

À medida que a temperatura ambiente do bulbo resistivo aumenta, a resistência do bulbo diminui.

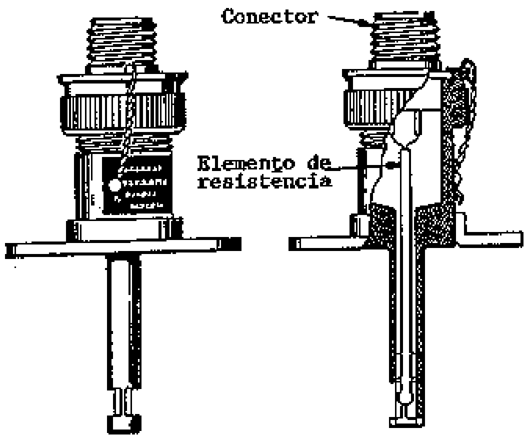


Figura 14-35 Termistor.

Seletor de temperatura do ar da cabine

O seletor de temperatura do ar (ver figura 14-34) é um reostato localizado na cabine. Ele permite a seleção da temperatura, pela variação do controle da unidade sensora de temperatura do ar da cabine. O reostato faz com que a unidade sensora exija uma temperatura específica do suprimento de ar.

Regulador do controle de temperatura do ar da cabine

O regulador do controle de temperatura do ar da cabine, em conjunto com o reostato seletor e a unidade sensora do duto de ar, automaticamente mantém a temperatura do ar admitido na cabine em um valor pré-selecionado.

O regulador de temperatura é um dispositivo eletrônico com uma faixa ajustável de temperatura. Em algumas instalações, essa faixa pode se estender tão baixa quanto 32ºF, e tão alta como 117ºF.

A saída do regulador controla a posição da borboleta na válvula de mixagem, dessa forma controlando a temperatura do ar admitido para a cabine.

Operação de um sistema típico

A figura 14-36 mostra um esquema elétrico de um sistema típico de controle de temperatura de ar. Na maioria desses sistemas, existe uma chave para selecionar o modo do controle de temperatura. Normalmente, essa chave terá quatro posições: “OFF”, “AUTO”, “MAN. HOT” e “MAN. COLD”. Na posição “OFF”, o sistema está inoperante. Com a chave seleciosistema está inoperante.

Com achave selecionada em “AUTO”, o sistema de controle de temperatura do ar está no modo automático. Nas posições “MAN. COLD” e “MAN. HOT”. O sistema está no modo manual.

O reostato seletor da cabine e a unidade sensora do ar da cabine (termistor) determinam a direção e quantidade de rotação do motor da válvula de mixagem. Essa função é controlada no regulador de temperatura do ar da cabine. O reostato e a unidade sensora (ver figura 14-36) são conectados a um circuito de ponte, que também possui dois termistores que estão localizados no regulador.

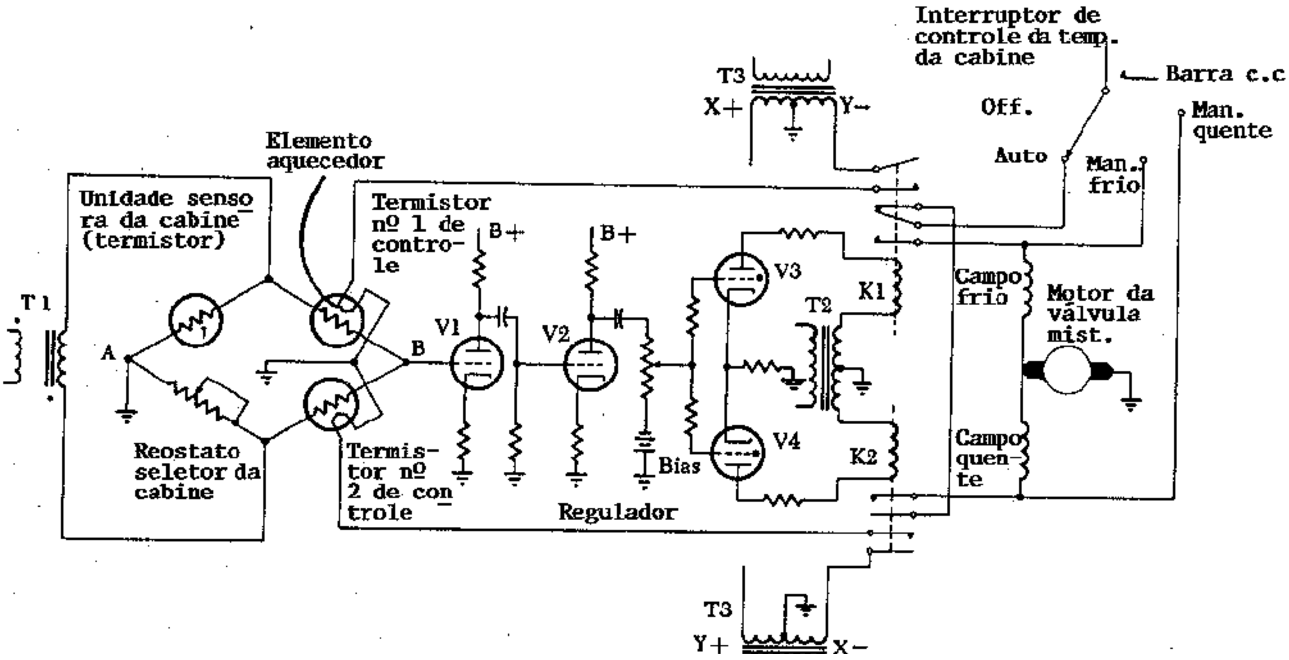

Interruptor de controle da temp. da cabine
Barra c.c.
Man. quente
Off.
Auto
Man. frio
T3
X+
Y-
Elemento aquecedor
Unidade sensora da cabine (termistor)
Termistor nº 1 de controle
B+
B+
V3
K1
T2
Campo frio
Motor da válvula mist.
T1
A
B
V1
V2
V4
K2
Campo quente
Reostato seletor da cabine
Termistor nº 2 de controle
Bias
Regulador
T3
Y+
X-

Figura 14-36 Sistema (simplificado) de controle da temperatura do ar.

O circuito em ponte é energizado por uma fonte C.A. (T1). Se a resistência da unidade sensora de ar da cabine e o reostato seletor da cabine forem iguais, os pontos A e B não deverão ter diferença de potencial.

Observa-se que os pontos A e B são os pontos de referência de sinal para V1 (grade e cátodo). Se a temperatura do ar da cabine aumenta, o valor da resistência da unidade sensora de temperatura do ar da cabine diminui, desde que o fluxo de ar passe sobre a unidade sensora. Esse decréscimo na resistência da unidade sensora faz com que a voltagem desenvolvida, através da unidade sensora diminua, resultando em uma diferença de potencial entre os pontos A e B.

Esse sinal, que é impressionado na grade de V1, continua através de dois estágios de amplificação de voltagem (V1 e V2). O sinal amplificado é aplicado nas grades das duas válvulas THYRATRON (V3 e V4).

As válvulas THYRATRON (triodos ou tetrodos cheias de gás) são usadas para deteção da fase do sinal. Por exemplo, se o sinal na grade de V3 está em fase com o sinal da placa, V3 irá conduzir, fazendo com que a corrente flua através da bobina do relé K1 e feche seus contatos.

Um conjunto de contatos completa um circuito, para dirigir o fluxo de corrente para a bobina de campo-frio do motor da válvula de mixagem. Isso joga mais ar quente na unidade de refrigeração, desse modo resfriando o ar da cabine.

Ao mesmo tempo, o conjunto remanescente de contatos de K1, completa a fonte de força C.A. (T3) para o elemento aquecedor do termistor nº 1 do circuito de ponte, produzindo uma queda na resistência do termistor nº 1 (lembrando que a resistência do termistor diminui à medida que a temperatura aumenta).

A mudança resultante na queda de voltagem através do termistor nº 1 resulta em uma ponte equilibrada, através dos pontos A e B. Isso, por sua vez, faz com que o relé K1 se torne desenergizado, parando a rotação do motor da válvula de mixagem.

Nesse ponto, a voltagem do aquecedor é removida do termistor nº 1 e ele esfria, novamente desbalanceando a ponte. Isso faz com que o motor da válvula de mixagem gire ainda mais, em direção à posição "frio", permitindo que mais ar refrigerado entre na cabine. O ciclo continua até que a queda na voltagem, através da unidade sensora e o reostato seletor, sejam iguais.

Se a temperatura do ar da cabine estivesse mais fria que a ajustada, a ponte estaria desbalanceada na direção oposta. Isso iria fazer com que o relé K2 no regulador se tornasse energizado, dessa maneira, energizando a bobina de campo-quente do motor da válvula de mixagem.

A ponte poderá também ser desbalanceada por outro método, isto é, pelo reposicionamento do reostato seletor da cabine.

Novamente, a válvula misturadora move-se para regular a temperatura do ar até que a ponte seja rebalanceada.

SISTEMA DE CICLO DE VAPOR A FREON

Os sistemas de resfriamento, por ciclo de vapor, são usados em várias aeronaves de transporte, de grande porte.

Esse sistema normalmente tem uma capacidade de resfriamento maior que um sistema de ciclo de ar e, além disso, pode ser usado para resfriamento no solo quando os motores não estão operando.

Um sistema a Freon para aeronave é basicamente similar em princípio, a um refrigerador ou condicionador de ar caseiros. Ele usa componentes e princípios de operação similares, e na maioria dos casos depende de um sistema elétrico para alimentá-lo.

O sistema de ciclo de vapor faz uso do fato científico de que um líquido pode ser vaporizado a qualquer temperatura, para mudança da pressão atuando sobre ele. A água, à pressão barométrica ao nível do mar de 14.7 P.S.I.A. ferverá se sua temperatura for elevada a 212ºF. A mesma água em um tanque fechado, sob a pressão de 90 P.S.I.A. não ferverá antes de 320ºF. Se a pressão for reduzida para 0.95 P.S.I.A. por uma bomba de vácuo, a água ferverá a 100ºF. Se a pressão for ainda mais reduzida, a água ferverá a uma temperatura ainda menor; por exemplo, a 0.12 P.S.I.A. a água ferverá a 40ºF. A água pode ser posta a ferver a qualquer temperatura, se a pressão correspondente à temperatura desejada para fervura puder ser mantida.

Ciclo de refrigeração

As leis básicas da termodinâmica estabelecem que o calor irá fluir, de um ponto de temperatura mais alta, para um ponto de temperatura mais baixa.

Se for necessário que o calor flua na direção oposta, alguma energia deve ser fornecida. O método utilizado para se obter isso, em um condicionador de ar, é baseado no fato de que, quando um gás é comprimido, sua temperatura é elevada e, similarmente, quando um gás comprimido se expande, sua temperatura abaixa.

Para se obter o fluxo de calor “reverso” requerido, um gás é comprimido a uma pressão suficientemente alta, de tal forma que sua temperatura é elevada acima da do ar exterior. O calor irá fluir agora do gás com temperatura mais alta para o ar circundante com temperatura mais baixa (dissipação de calor), dessa forma reduzindo o calor contido no gás.

Ao gás é agora permitido expandir para uma pressão mais baixa, e isso causa uma queda na temperatura, que o torna mais frio que o ar do espaço a ser resfriado (fonte de calor).

O calor irá agora fluir de sua fonte para o gás, que é então comprimido novamente, iniciando um novo ciclo. A energia mecânica necessária para produzir esse fluxo reverso aparente de calor é fornecido por um compressor. Um ciclo de refrigeração típico é ilustrado na figura 14-37.

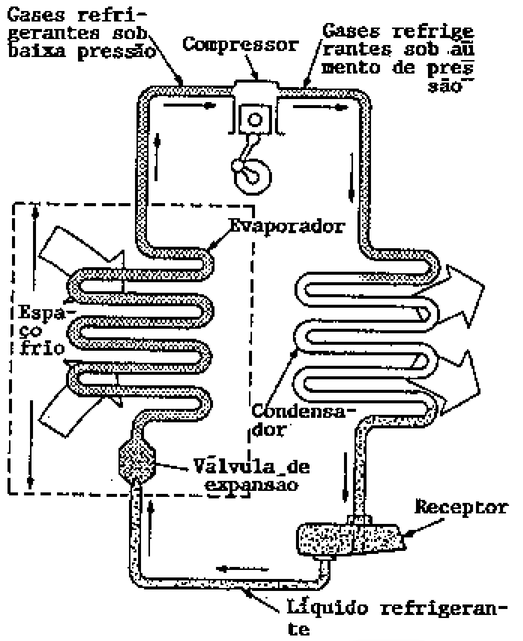


Figura 14-37 Ciclo de refrigeração.

Esse ciclo de refrigeração está baseado no princípio, de que o ponto de ebulição de um líquido é elevado quando a pressão do vapor em torno dele é elevada.

O ciclo opera como a seguir: a um líquido refrigerante, confinado em um reservatório em alta pressão, é permitido fluir através da válvula para o evaporador.

A pressão no evaporador é baixa o suficiente, a fim de que o ponto de ebulição do líquido refrigerante esteja abaixo da temperatura do ar a ser refrigerado, fazendo com que o líquido ferva (para ser convertido de líquido para vapor).

O vapor frio do evaporador entra no compressor, onde sua pressão é elevada, dessa forma elevando o ponto de ebulição.

O refrigerante em alta temperatura e alta pressão flui para o condensador. Aqui o calor flui do refrigerante para a saída de ar, condensando o vapor em um líquido.

O ciclo é repetido para manter o espaço refrigerado à temperatura selecionada.

Os líquidos que entram em ebulição, em baixas temperaturas, são os mais adequados para uso como refrigerantes. Comparativamente, largas quantidades de calor são absorvidas quando os líquidos são transformados para vapor.

Por essa razão, o Freon líquido é usado na maioria das unidades de refrigeradores e condicionadores de ar domésticos ou de aeronaves.

O Freon é um fluido que ferve a uma temperatura de aproximadamente 39ºF à pressão atmosférica. Similar a outros fluidos, o ponto de ebulição pode ser elevado a aproximadamente 150ºF à pressão de 96 P.S.I.G.

Essas pressões e temperaturas são representantes de um tipo de valores reais que irão variar ligeiramente com diferentes tipos de Freon. O tipo de Freon selecionado para uma determinada aeronave dependerá do projeto dos componentes do sistema instalado.

O Freon, similar aos outros fluidos; tem a característica de absorver calor quando ele muda de líquido para vapor. Contrariamente, o fluido libera calor quando ele muda de vapor para líquido.

No sistema de resfriamento a Freon, a mudança de líquido para vapor (evaporação ou ebulição) ocorre em um local onde o calor pode ser absorvido do ar da cabine; a mudança de vapor para líquido (condensação) ocorre em um ponto onde a liberação de calor pode ser dissipado para fora da aeronave. A pressão do vapor é elevada antes do processo de condensação, de tal forma que a temperatura de condensação é relativamente alta. Por essa razão, o Freon, condensado a aproximadamente 150ºF., perderá calor para o ar exterior que poderá estar tão quente quanto 100ºF.

A quantidade de calor que cada libra de líquido refrigerante absorve, enquanto fluindo através do evaporador, é conhecido como o "efeito refrigeração".

Cada libra fluindo através do evaporador é capaz de absorver somente o calor necessário para vaporizá-lo, se não ocorrer superaquecimento (elevação da temperatura de um gás acima daquela estabelecida para o seu ponto de ebulição de estado líquido).

Se o líquido atingindo a válvula de expansão estivesse exatamente na temperatura à qual ele estava vaporizando, a quantidade que o evaporador poderia absorver seria igual ao seu calor latente.

Essa é a quantidade de calor requerida para mudar o estado de um líquido, no ponto de ebulição, para um gás na mesma temperatura.

Quando um líquido refrigerante é admitido no evaporador, ele é completamente vaporizado antes de alcançar a saída. Desde que o líquido é vaporizado a uma baixa temperatura, o vapor está ainda frio após o líquido ter evaporado completamente.

À medida que o vapor frio flui através do evaporador, ele continua a absorver calor, tornando-se superaquecido.

O vapor absorve o calor perceptível (calor que provoca uma mudança de temperatura quando adicionado ou removido do meio) no evaporador à medida que ele se torna superaquecido. Isso, com efeito, aumenta o efeito de cada libra de refrigerante. Isso significa que cada libra absorve não somente o calor requerido para vaporizá-lo, mas também uma quantidade adicional de calor perceptível que o superaquece.

COMPONENTES DE UM SISTEMA A FREON

Os principais componentes de um sistema a Freon típico, são: o evaporador, o compressor, o condensador e a válvula de expansão (figura 14-38). Outros itens secundários podem incluir o ventilador do condensador, o depósito (depósito de Freon), o secador, a válvula de oscilação e os controles de temperatura.

Esses itens são interligados por uma tubulação apropriada para formar um "Loop" fechado, no qual o Freon circula durante a operação.

Compressor ciclo operacional do sistema a Freon

O princípio de operação do sistema pode ser explicado iniciando-se com as funções do compressor. O compressor aumenta a pressão do Freon quando ele está em forma de vapor..

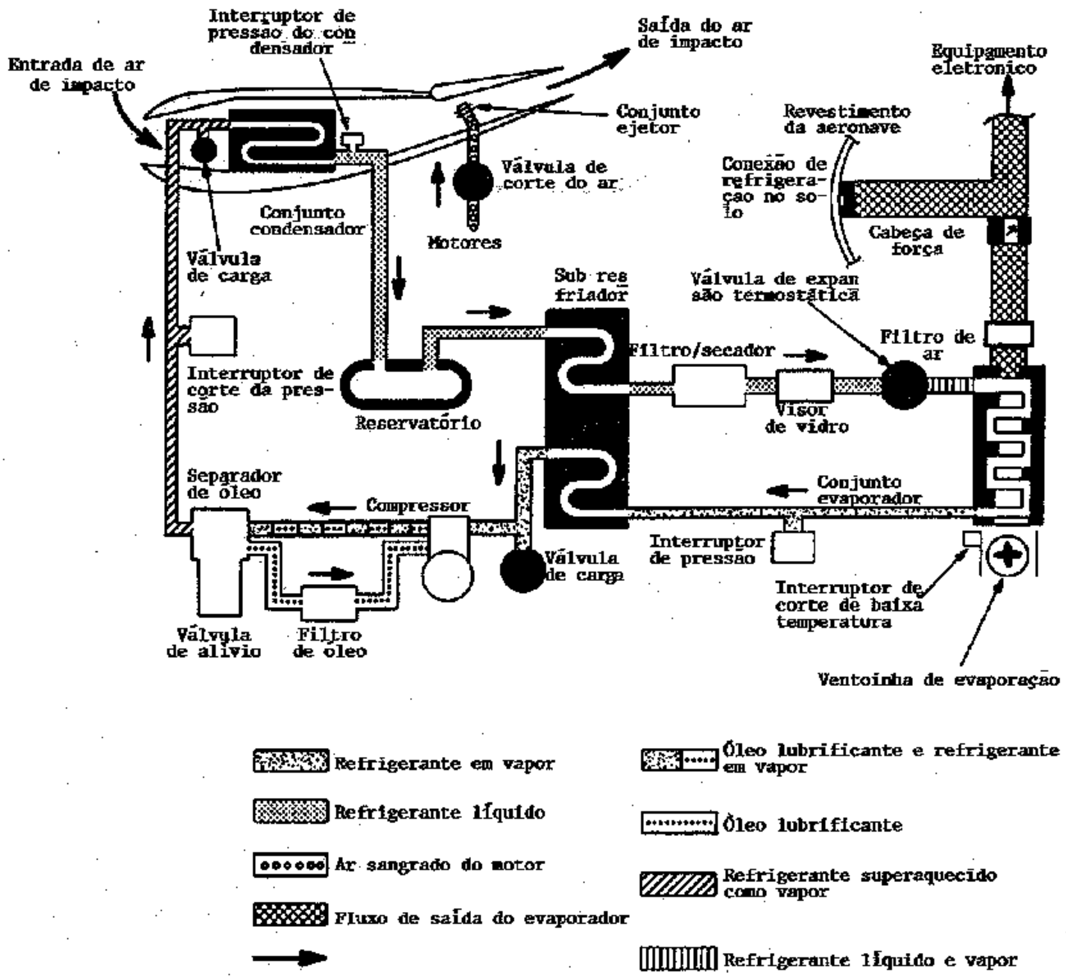

Interruptor de pressão do condensador
Entrada de ar de impacto
Saída do ar de impacto
Equipamento eletrônico
Conjunto ejetor
Revestimento da aeronave
Válvula de corte do ar
Conexão de refrigeração no solo
Conjunto condensador
Motores
Cabeça de força
Válvula de carga
Sub resfriador
Válvula de expansão termostática
Filtro de ar
Filtro/secador
Interruptor de corte da pressão
Visor de vidro
Reservatório
Separador de óleo
Conjunto evaporador
Compressor
Interruptor de pressão
Válvula de carga
Interruptor de corte de baixa temperatura
Válvula de alívio
Filtro de óleo
Ventoinha de evaporação
Refrigerante em vapor
Óleo lubrificante e refrigerante em vapor
Refrigerante líquido
Óleo lubrificante
Ar sangrado do motor
Refrigerante superaquecido como vapor
Fluxo de saída do evaporador
Refrigerante líquido e vapor

Figura 14-38 Fluxo esquemático de um sistema de ciclo de vapor.

Essa alta pressão eleva a temperatura de condensação do Freon, e produz a força necessária para circular o Freon através do sistema.

O compressor é acionado por um motor elétrico, ou por um mecanismo acionado pelo ar da turbina.

O compressor pode ser do tipo centrífugo ou tipo a pistão.

O compressor é projetado para atuar sobre o Freon no estado gasoso e, em conjunção com a válvula de expansão, mantém a diferença de pressão entre o evaporador e o condensador.

Se o líquido refrigerante entrasse no compressor, uma operação inadequada poderia ocorrer. Esse tipo de mal funcionamento é chamado lentidão ("SLUGGING"). Controles automáticos e procedimentos adequados de operação podem ser usados para prevenir essa lentidão ("SLUGGING").

Condensador

O gás Freon é bombeado para o condensador para o próximo passo no ciclo.

No condensador, o gás passa através de um trocador de calor onde o ar exterior (ambiente) remove o calor do Freon.

Quando o calor é removido do gás Freon a alta pressão, a mudança de estado ocorre e o Freon condensa para líquido. É este processo de condensação que libera o calor que o Freon recebe do ar da cabine. O fluxo de ar ambiente através do condensador é ordinariamente modulado por uma entrada controlada ou uma porta de saída, de acordo com as necessidades de refrigeração.

Um ventilador de resfriamento de ar do condensador, ou ejetor de ar, é freqüentemente usado para auxiliar a força do ar ambiente através do condensador.

Este item é importante para a operação do sistema no solo.

Reservatório

Do condensador, o Freon líquido flui para um recipiente que funciona como um reservatório para o líquido refrigerante.

O nível de fluido no reservatório varia com a demanda do sistema. Durante os períodos de pico de resfriamento, haverá menos líquido do que quando a carga está leve.

A função principal do recipiente é garantir que a válvula de expansão termostática não seja fracamente alimentada de refrigerante sob pesadas condições de carga de resfriamento.

Resfriador secundário

Alguns sistemas de ciclo de vapor usam um resfriador secundário, para reduzir a temperatura do líquido refrigerante após ele deixar o reservatório. Pelo resfriamento, a vaporização prematura do refrigerante (flash-off) pode ser evitada. A refrigeração máxima ocorre quando o refrigerante muda do estado líquido para o gasoso. Para uma operação eficiente do sistema, isto deve ocorrer no evaporador. Se o refrigerante vaporiza antes de alcançar o evaporador, a eficiência do resfriamento do sistema é reduzido.

O resfriador secundário é um trocador de calor com passagens para o Freon em estado líquido, vindo do reservatório com destino ao evaporador e o gás de Freon refrigerado deixando o evaporador, a caminho do compressor.

O líquido a caminho do evaporador é relativamente morno, em comparação com o gás frio saindo do evaporador. Embora o gás frio saindo do evaporador tenha absorvido calor, do ar que está circulando através do evaporador, sua temperatura no entanto, está nas proximidades de 40ºF. Esse gás frio é alimentado através do resfriador secundário, onde ele recebe calor adicional do Freon líquido, relativamente morno, que está fluindo do reservatório.

Esta troca de calor resfria o Freon líquido, para um nível que assegura uma pequena, ou nenhuma vaporização prematura no seu trajeto para o vaporizador.

Resfriamento secundário é um termo usado para descrever o resfriamento de um líquido refrigerante, sob pressão constante, para um ponto abaixo da temperatura na qual ele foi condensado.

A 117 p.s.i.g. o vapor de Freon se condensa a uma temperatura de 100ºF. Se após o vapor ter sido completamente condensado, o líquido é resfriado para uma temperatura de 76ºF, ele foi sub resfriado em 24ºF. Através do sub resfriamento, o líquido liberado para a válvula de expansão é frio o suficiente para evitar a maior parte da vaporização prematura, que normalmente resultaria, tornando por isso, o sistema mais eficiente.

Filtro/secador

O sistema ilustrado na figura 14-38 possui um filtro/secador, que é uma unidade instalada entre o resfriador secundário e o visor.

O filtro/secador é essencialmente um invólucro de chapa de metal com conexões de entrada e de saída, e contendo “alumina” dissecante, um filtro de tela e uma base de filtro. A “alumina” dissecante atua como um absorvente de umidade para secar o fluxo de Freon para a válvula de expansão. Uma tela cônica em uma base de fibra de vidro atua como um dispositivo de filtragem, removendo os contaminantes.

O refrigerante tem que estar escrupulosamente limpo na válvula de expansão devido às folgas críticas envolvidas. A umidade pode congelar na válvula de expansão, causando interrupção e, consequentemente, falta de alimentação do sistema ou transbordamento do evaporador.

Visor

Para auxiliar, quando alguns reabastecimentos da unidade de refrigeração se tornam necessários, um visor na linha do líquido ou um indicador de nível é instalado na linha, entre o filtro/secador e o termostato da válvula de expansão.

O visor consiste de uma conexão com janelas em ambos os lados, permitindo a visão da passagem do fluido através da linha. Em alguns sistemas, o visor é construído como parte integrante do filtro/secador.

Durante a operação da unidade de refrigeração, um fluxo constante do refrigerador Freon observado através do visor, indica que existe carga suficiente. Se a unidade necessitar de adição de refrigerante, serão vistas bolhas no vidro do visor.

Válvula de expansão

O Freon líquido flui para a válvula de expansão, próxima a unidade da operação. O Freon saindo do condensador é um líquido refrigerante sob alta pressão. A válvula de expansão diminui essa pressão e, dessa forma, baixa a temperatura do Freon líquido.

O refrigerante Freon líquido torna possível refrigerar o ar da cabine que passa através do evaporador.

A válvula de expansão, montada próximo do evaporador, mede o fluxo do refrigerante que entra no evaporador.

A eficiência do evaporador depende da medição do líquido refrigerante dentro do trocador de calor pela evaporação. Se a carga de calor no evaporador fosse constante, um orifício calibrado seria calculado e usado para regular o suprimento do refrigerante.

Na prática, no entanto, o sistema sofre variações nas cargas de calor, e portanto, requerendo um mecanismo controlador para evitar interrupção ou transbordamento do evaporador, o que afetaria o evaporador e a eficiência do sistema.

Esse efeito de orifício variável é conseguido pelo termostato da válvula de expansão que, de acordo com as condições de evaporação, mede o refrigerante para satisfazer a condição. Pelas condições de temperatura e de pressão da saída do gás do evaporador, a válvula de expansão impede a possibilidade do transbordamento do evaporador, retornando o líquido refrigerante para o compressor.

A válvula de expansão, representada esquematicamente na figura 14-39, consiste de um invólucro, contendo aberturas de entrada e de saída. O fluxo do refrigerante para a abertura de saída é controlado pelo posicionamento do pino da válvula medidora.

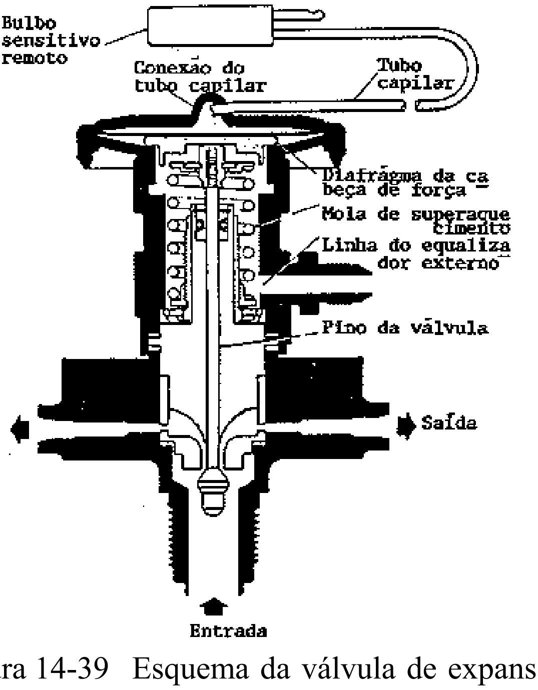


Figura 14-39 Esquema da válvula de expansão termostática.

O posicionamento desse pino é controlado pela pressão criada pelo bulbo de interpretação remota, pela seleção da mola de superaquecimento e pela descarga de pressão do evaporador, supridos através da saída do equalizador externo.

O bulbo de interpretação remota está em um sistema fechado, cheio do refrigerante e unido ao evaporador. A pressão dentro do bulbo corresponde à pressão do refrigerante que deixa o evaporador. Essa força é sentida na parte superior do diafragma na seção da cabeça da válvula, e algum aumento na pressão, causará o movimento da válvula para a posição, “aberta” (open).

O lado inferior do diafragma tem a força da mola de superaquecimento e, a pressão de descarga do evaporador, atuando na direção do fechamento do pino da válvula. A posição da válvula em qualquer situação, é o resultado da ação dessas três forças.

Se a temperatura do gás deixando o evaporador aumentar do desejado pela válvula de superaquecimento, ela será sentida pelo bulbo remoto. A pressão gerada no bulbo é transmitida ao diafragma na seção de força da válvula, fazendo com que o pino da válvula se abra. Uma queda na temperatura do gás, deixando o evaporador, fará com que a pressão no bulbo remoto caia, e o pino irá mover-se na direção da posição “fechada”. A mola de superaquecimento é projetada para controlar a quantidade de superaquecimento no gás, deixando o evaporador. Um vapor está superaquecido quando sua temperatura é mais alta que a necessária, para mudá-lo de líquido para gás, em uma determinada pressão.

Isso assegura que o Freon, retornando para o compressor está no estado gasoso.

A abertura do equalizador está prevista para compensar o efeito que a queda da pressão do evaporador causa no controle do superaquecimento. O equalizador sente a pressão de descarga do evaporador e reflete isso de volta para o diafragma da cabeça de força, ajustando a posição do pino da válvula de expansão, para manter o valor do superaquecimento desejado.

Evaporador

A próxima unidade na linha do fluxo de refrigeração, após a válvula de expansão, é o evaporador, que é um trocador de calor formando passagens para o fluxo de ar refrigerado e para o refrigerante Freon. O ar para ser resfriado flui através do evaporador.

O Freon muda de líquido para gás no evaporador. Com efeito, o Freon ferve no evaporador, e a pressão do Freon é controlada para o ponto onde a ebulição ocorre (evaporação) a uma temperatura que é menor que a temperatura do ar da cabine. A pressão necessária (pressão saturada) para produzir a temperatura correta de ebulição não deve ser muito baixa; caso contrário, o congelamento da umidade do ar da cabine bloqueará as passagens de ar do evaporador.

À medida que o Freon passa através do evaporador, ele é inteiramente convertido ao estado gasoso. Isso é essencial para se obter o máximo de refrigeração e, também, para impedir que o Freon líquido alcance o compressor. O evaporador é projetado para que o calor seja retirado do ar da cabine; dessa forma, o ar da cabine é refrigerado. Todos os outros componentes no sistema a Freon são projetados para apoiar o evaporador, onde a efetiva refrigeração é feita.

Após deixar o evaporador, o refrigerante vaporizado flui para o compressor e é comprimido. O calor vai sendo drenado através das paredes do condensador, e transportado para fora pelo ar circulante em volta da parte externa do condensador.

Quando o vapor se condensa para a forma líquida, ele perde o calor, que foi absorvido quando o líquido transformou-se em vapor no evaporador. Do condensador, o líquido refrigerante flui de volta para o reservatório, e o ciclo é repetido.

DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA TÍPICO A CICLO DE VAPOR

O sistema de ciclo de vapor, usado nas aeronaves Boeing modelos 707 e 727, são típicos da maioria dos sistemas.

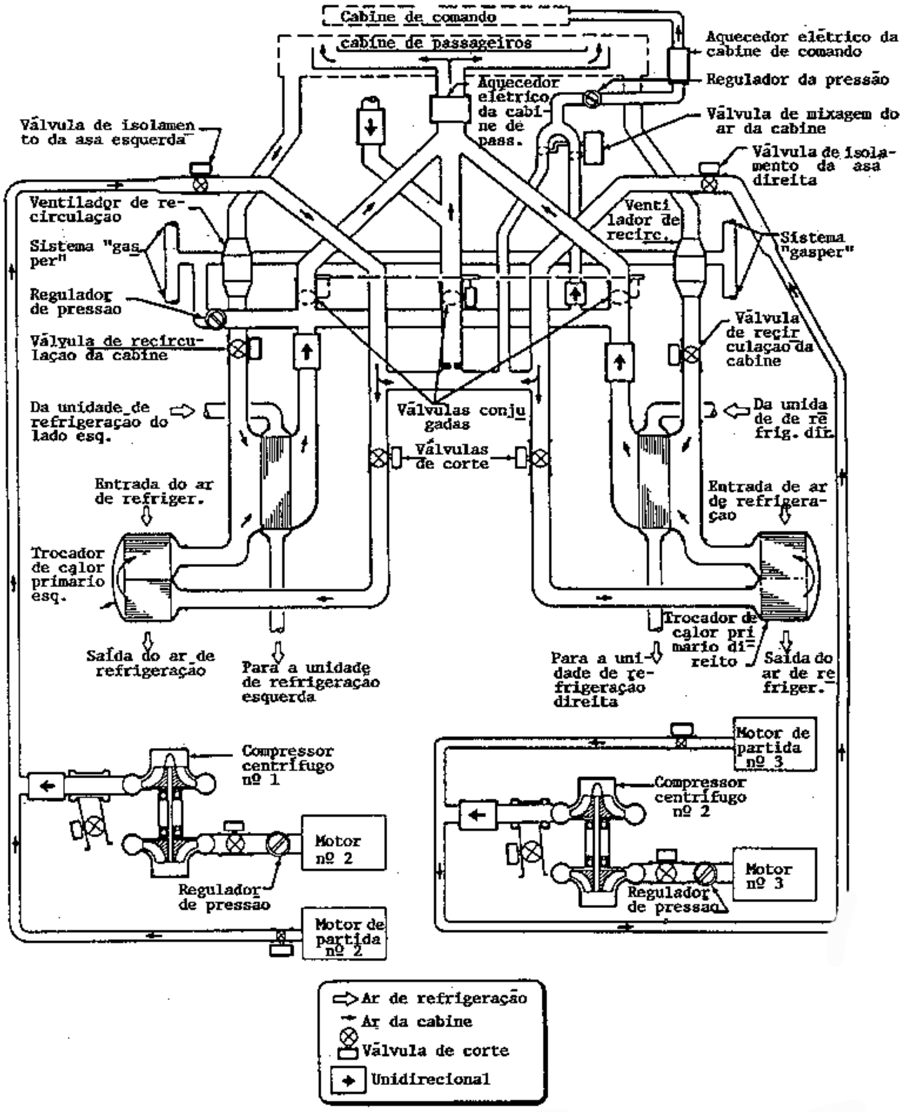

Cabine de comando
cabine de passageiros
Aquecedor elétrico da cabine de comando
Regulador da pressão
Aquecedor elétrico da cabine de pass.
Válvula de mixagem do ar da cabine
Válvula de isolamento da asa esquerda
Válvula de isolamento da asa direita
Ventilador de recirculaçao
Ventilador de recirc.
Sistema "gasper"
Sistema "gasper"
Regulador de pressao
Válvula de recirculaçao da cabine
Válvula de recirculaçao da cabine
Da unidade de refrigeraçao do lado esq.
Da unidade de refrig. dir.
Válvulas conjugadas
Válvulas de corte
Entrada do ar de refriger.
Entrada de ar de refrigeraçao
Trocador de calor primario esq.
Trocador de calor primario direito
Saída do ar de refrigeração
Para a unidade de refrigeraçao esquerda
Para a unidade de refrigeraçao direita
Saída do ar de refriger.
Compressor centrífugo nº 1
Motor nº 2
Regulador de pressao
Motor de partida nº 2
Motor de partida nº 3
Compressor centrífugo nº 2
Motor nº 3
Regulador de pressao
Ar de refrigeração
Ar da cabine
Válvula de corte
Unidirecional

Figura 14-40 Sistema de ar condicionado de ciclo de vapor das aeronaves Boeing 707 e 727.

Os principais componentes do sistema de condicionamento de ar, a ciclo de vapor são:

(1) compressores centrífugos da turbina de ar;
(2) trocadores de calor primários;
(3) unidades de refrigeração;
(4) aquecedores; e
(4) válvulas necessárias para controlar o fluxo de ar.

O sistema de ciclo de vapor mostrado esquematicamente na figura 14-40 está dividido em instalação do lado esquerdo e lado direito. Ambas as instalações são funcionalmente idênticas.

Compressor da turbina de ar

Os compartimentos de vôo e de passageiros são pressurizados pela utilização de dois compressores centrífugos da turbina de ar (turbo-compressor). Cada compressor consiste de uma seção da turbina e uma seção do compressor, como mostrado na figura 14-41.

O duto de entrada, da seção da turbina, está conectado na tubulação de ar sangrado do motor no décimo sexto estágio de ar comprimido da tubulação de ar sangrado do motor.

O ar sangrado está sob uma pressão de aproximadamente 170 P.S.I. Essa alta pressão e alta-velocidade do ar é reduzida para aproximadamente 76 P.S.I. por um regulador de pressão diferencial, localizado no duto condutor de ar para a entrada da turbina. Essa pressão de ar regulada, gira a turbina a cerca de 49.000 R.P.M.

Como o compressor está conectado diretamente à turbina, ele também gira à mesma R.P.M..

A saida do compressor é de aproximadamente 1.070 pés cúbicos de ar por minuto a um máximo de 50 P.S.I.

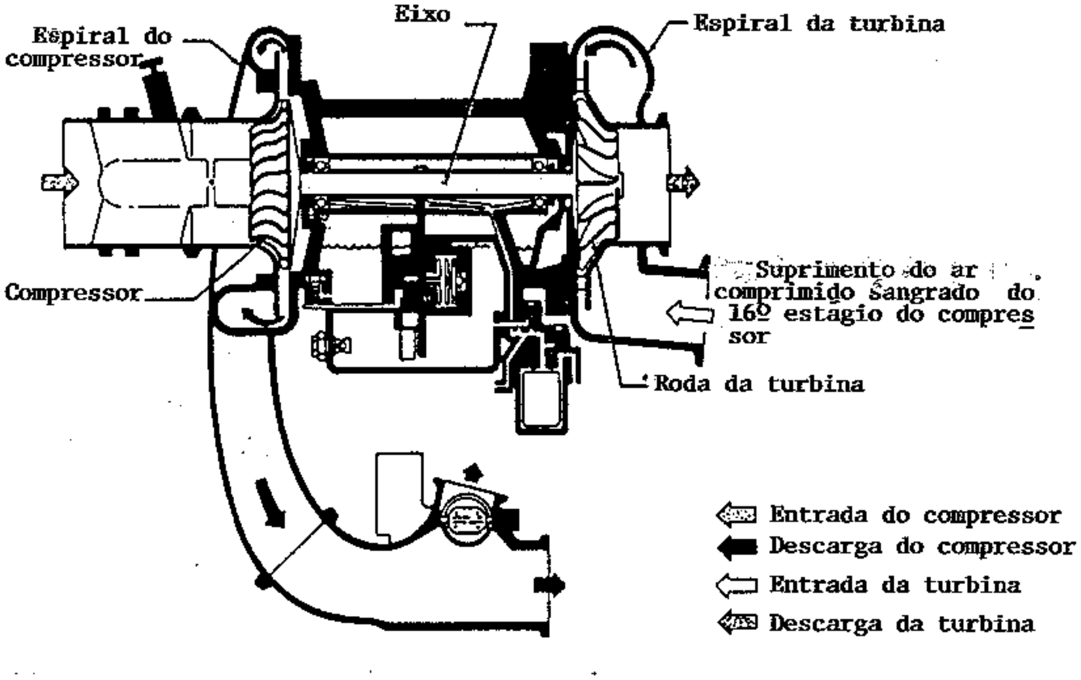


Figura 14-41 Esquema de um compressor centrífugo de uma turbina a ar.

A entrada da seção do compressor está conectada à tomada de ar de impacto e a saída está conectada através de dutos ao sistema de condicionamento de ar. O ar flui através dos dutos, através de uma válvula de isolamento da asa, passa pela válvula de corte (Shutoff), e através do trocador primário de calor.

Trocadores primários de calor

Os dois trocadores primários de calor (ar para ar) estão localizados nas instalações do lado direito e do lado esquerdo do sistema de ciclo de vapor, como mostrado na figura 14-40.

Cada trocador primário de calor consiste de um conjunto de dutos, um conjunto de núcleos e um conjunto recipiente. O conjunto de dutos soldados contêm ambas as passagens, de entrada e de saída. O conjunto do núcleo, tipo-tubular, forma a porção central da unidade.

O conjunto é completado por um recipiente que envolve os tubos.

O ar de impacto é forçado em torno e entre o lado externo dos tubos. A figura 14-42 mostra o diagrama esquemático do trocador primário de calor.

Os trocadores primários de calor removem cerca de 10% do calor da compressão do ar de ventilação da cabine, à medida que ele chega dos turbo compressores, resfriando, dessa forma, o ar em cerca de 10º a 25º acima da temperatura do ar exterior.

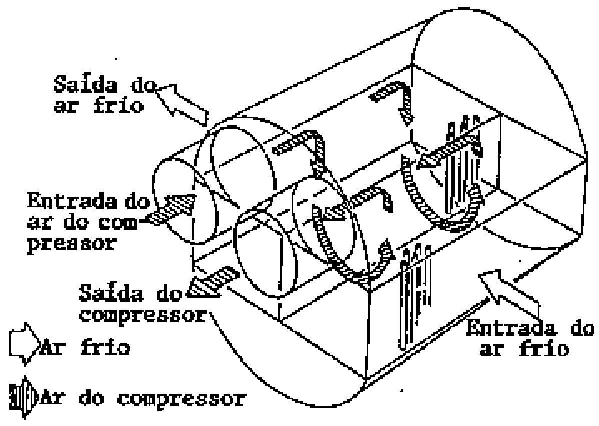


Figura 14-42 Esquema do trocador primário de calor.

Unidades de refrigeração

Dos trocadores primários de calor, o ar para ventilação é conduzido para as unidades de refrigeração. As duas unidades de refrigeração estão localizadas nas instalações do lado esquerdo e do lado direito do sistema de ciclo de vapor, como é mostrado na figura 14-40.

Cada unidade de refrigeração consiste de um compressor de Freon acionado por um motor elétrico, um condensador de refrigerante, resfriado a ar, um reservatório (reservatório de Freon), um evaporador trocador de calor, uma válvula de controle de dois elementos; um trocador de calor (líquido para gás) e os componentes elétricos necessários para assegurar a operação adequada da unidade.

O refrigerante usado no sistema é o Freon 114. Óleo lubrificante é adicionado ao Freon cada vez que a unidade de refrigeração é carregada, para proporcionar a lubrificação dos rolamentos do compressor.

Após o ar ser resfriado para a temperatura desejada, ele é canalizado para dentro das cabines, de comando e de passageiros, ou carga.

Aquecedores elétricos

O ar para ventilação da cabine principal, e ar para ventilação do compartimento de vôo, são aquecidos separadamente e independentemente por dois aquecedores elétricos, sendo um para cada compartimento.

O aquecedor do compartimento de carga consiste de um núcleo, que é feito com nove elementos aquecedores elétricos, montados em um conjunto de estrutura de alumínio retangular, três protetores, conexão de força C.A. para os elementos, e um circuito de controle para os protetores térmicos.

O aquecedor da cabine principal é similar, mas tem uma capacidade de saída maior, considerando que fornece calor para um compartimento maior e com um volume de ar maior.

Válvulas de regulagem do fluxo de ar

As setas pretas cheias, na figura 14-40, indicam a rota do fluxo do ar de ventilação do turbocompressor, através das unidades de refrigeração até a cabine de passageiros, ou carga e cabine de comando. Uma válvula tripla (three-port gang valve) regula o fluxo de ar quente à temperatura selecionada.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO E AR CONDICIONADO

A manutenção requerida nos sistemas de pressurização e ar condicionado, varia com cada modelo. Essa manutenção, segue os procedimentos fornecidos nos apropriados manuais de manutenção do fabricante do equipamento ou da aeronave. Ela consiste normalmente de inspeções, serviços, remoção e instalação de componentes, desenvolvimento de verificações operacionais e pesquisa de defeitos para a isolação e correção dos defeitos do sistema.

Inspeções

Periodicamente, inspeciona-se o sistema quanto à segurança dos componentes e defeitos visíveis. Uma atenção especial deve ser dada aos trocadores de calor quanto à sinais de fadiga estrutural, adjacente às soldas. A tubulação deve estar fixada, e adequadamente apoiada. As mantas de isolação devem estar em bom estado e firmes em volta da tubulação.

Reabastecimento

Cada unidade de refrigeração contém Freon para absorção de calor, e óleo misturado com o Freon para lubrificação dos rolamentos do motor do compressor. Se existir Freon insuficiente na unidade, ela será incapaz de absorver calor do ar que está indo para a cabine. Se houver óleo insuficiente, os rolamentos do motor irão superaquecer, provocando uma operação insatisfatória do compressor. É importante que quantidades suficientes de Freon e óleo estejam na unidade durante todo o tempo.

Em comparação com o sistema hidráulico, onde há circuitos fechados, contendo fluido o tempo todo, um circuito de Freon contém quantidades de ambos, líquido e vapor. Isso, em adição ao fato de que é imprevisível saber onde, num sistema, o líquido estará em um determinado momento, tornando difícil verificar a quantidade de Freon no sistema.

Descuidando-se da quantidade de Freon no sistema completo, o nível do líquido poderá variar significativamente, dependendo das condições de operação.

Por essa razão, um conjunto padronizado de condições deve ser obtido quando se verifica o nível de Freon. Essas condições são especificadas pelo fabricante e, como mencionado anteriormente, variam de aeronave para aeronave.

Para verificar o nível de Freon, é necessário operar a unidade de refrigeração por aproximadamente 5 minutos, para se alcançar a condição de estabilidade.

Se o sistema utiliza um visor, observa-se o fluxo do Freon através dele. Um fluxo constante, indica que uma carga suficiente está presente. Se a carga de Freon estiver baixa, bolhas irão aparecer no visor.

Quando se adiciona Freon a um sistema, adiciona-se o óleo que foi perdido com o Freon que está sendo reposto. É impossível determinar com precisão a quantidade de óleo remanescente em um sistema a Freon, após uma perda total ou parcial de uma carga de Freon. Todavia, baseado na experiência, a maioria dos fabricantes estabeleceram procedimentos para adição de óleo.

A quantidade de óleo a ser adicionada é regulada por: (1) a quantidade de Freon a ser adicionada; (2) se o sistema tiver perdido toda a sua carga e tiver sido limpo e esvaziado; (3) quando a carga máxima é para ser adicionada; ou (4) se os componentes principais do sistema tiverem sido trocados.

Normalmente, um quarto de onça de óleo é adicionado para cada libra de Freon adicionada ao sistema. Quando substituindo um componente, uma quantidade de óleo é adicionada. Para repor a que foi escoada na substituição do componente.

O óleo para lubrificação da válvula de expansão do compressor e selos associados, deve estar selado no sistema. O óleo usado é um óleo mineral especial, altamente refinado, livre de cera, água e enxofre. Sempre é usado o óleo especificado no manual de manutenção do fabricante para o sistema específico.

Freon - 12

O Freon - 12 é o refrigerante mais comumente usado. Ele é um hidrocarboneto fluoretado, similar ao tetracloreto de carbono com 2 átomos de cloro substituídos por 2 átomos de fluor.

Ele é estável em altas ou baixas temperaturas; não reage com qualquer dos materiais ou selos usados em um sistema de ar condicionado, e não é inflamável.

O Freon - 12 entrará em ebulição a -21,6ºF ao nível do mar.

Se o Freon - 12 cair na pele, resultará em uma queimadura. Mesmo um leve traço nos olhos pode causar danos.

Se isso ocorrer, PROCURE UM MÉDICO OU VÁ A UM HOSPITAL TÃO LOGO SEJA POSSÍVEL.

O Freon é incolor, inodoro e não tóxico; todavia, sendo mais pesado que o ar, ele irá deslocar o oxigênio e poderá causar sufocação.

Quando aquecido sobre uma chama aberta, ele converte-se em gás fosgênio, que é fatal.

Conjunto de distribuição

Sempre que um sistema a Freon é aberto para manutenção, uma porção do Freon e do óleo é perdida. O recompletamento do Freon e do óleo deve ser uma das mais eficientes operações do sistema. Isso requer o uso de um conjunto especial de medidores e mangueiras interligadas.

O conjunto de distribuição (figura 14-43) consiste de uma tubulação com: três conectores, nos quais as mangueiras de abastecimento de refrigerante estão fixadas; duas válvulas manuais com selos do tipo seção circular ("o" ring); e dois medidores, um para o lado de baixa pressão, e o outro para o lado de alta pressão do sistema.

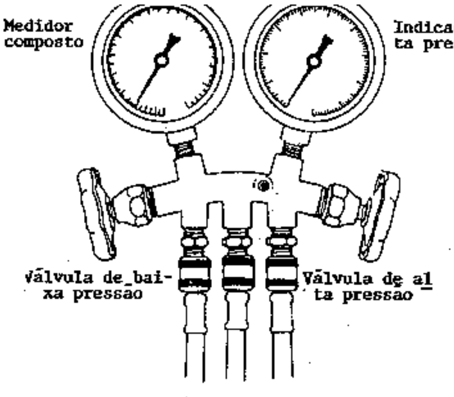


Figura 14-43 Conjunto de distribuição do Freon.

O medidor de baixa pressão é uma medidor composto, o que significa que ele indica as pressões da atmosfera em ambos os sentidos. Ele indicará cerca de 30 polegadas de mercúrio, no instrumento (abaixo da atmosférica) a cerca de 60 p.s.i.

O medidor de alta pressão normalmente tem um alcance de zero a 600 p.s.i., aproximadamente. O indicador de baixa pressão está conectado diretamente ao tubo, no lado dos encaixes de baixa pressão. O medidor de alta pressão, do mesmo modo, está conectado diretamente no lado de alta pressão.

A conexão central do conjunto pode ser isolada de qualquer um dos medidores, de alta ou baixa, pelas válvulas manuais. Quando essas válvulas são giradas completamente no sentido horário, a tubulação central é isolada.

Se a válvula de baixa pressão for aberta (girada no sentido anti-horário), a tubulação central será aberta para o medidor de baixa pressão, e a linha de abastecimento de baixa pressão. O mesmo é verdadeiro para o lado de alta, quando a válvula de alta pressão for aberta.

Mangueiras especiais estão fixadas nos conectores das válvulas do conjunto para abastecimento do sistema.

A mangueira de abastecimento de alta pressão faz a ligação da válvula de abastecimento, no lado de alta, tanto à descarga do compressor, como ao secador do reservatório ou com o lado de entrada da válvula de expansão.

A mangueira de baixa pressão faz a ligação da válvula de abastecimento com a entrada do compressor, ou com o lado de descarga da válvula de expansão. A mangueira central é fixada à bomba de vácuo para esvaziar o sistema ou para o suprimento de refrigerante, para carregar o sistema. As mangueiras de abastecimento usadas com válvulas "Schrader"devem ter um pino para comprimir a válvula.

Quando o conjunto de distribuição não estiver em uso, as mangueiras devem estar vedadas, para evitar a contaminação das válvulas com umidade.

Limpando o sistema

Sempre que o sistema a Freon for aberto para manutenção, é necessário limpá-lo. O conjunto de distribuição está conectado como previamente descrito, exceto a mangueira central, que não está ainda conectada à bomba de vácuo.

Cobre-se a mangueira central com uma toalha limpa, e abre-se ambas as válvulas vagarosamente. Isso permitirá ao gás escapar sem ventilar sobre o óleo do sistema. Quando ambos os medidores estiverem em zero, o sistema poderá ser aberto.

Esvaziando o sistema

Somente algumas gotas de água irão contaminar e bloquear completamente um sistema de ar condicionado. Se essa água congela na válvula de expansão, paralisa a ação do sistema.

A água é removida do sistema pelo esvaziamento. A qualquer tempo que o sistema for aberto, ele deve ser esvaziado antes da recarga.

O conjunto de distribuição está conectado ao sistema, com a mangueira central conectada à bomba de vácuo. A bomba reduz a pressão, a umidade se vaporiza, sendo drenada do sistema.

Uma bomba típica usada para esvaziar os sistemas de ar condicionado, bombeará 0,8 pés cúbicos de ar por minuto, e irá esvaziar o sistema para cerca de 29.62 polegadas de mercúrio (pressão no indicador). Nessa pressão, a água irá ferver a 45ºF. O bombeamento ou esvaziamento de um sistema, usualmente requer cerca de 60 minutos de tempo para bombeamento.

Recarga

Com o sistema sob o vácuo do esvaziamento, fecha-se todas as válvulas, conectando a mangueira central ao suprimento de refrigerante. A válvula do recipiente é aberta, e a mangueira afrouxada do lado de alta, em sua conexão ao sistema, deixando escapar algum Freon. Isso limpa o conjunto de distribuição. Aperta-se a mangueira.

A válvula de alta pressão aberta, permitirá ao Freon fluir para dentro do sistema. O medidor de baixa pressão deverá começar a indicar que o sistema está saindo do vácuo. Fecha-se ambas as válvulas. Liga-se o motor e ajusta-se a R.P.M. para cerca de 1250. Os controles sâo ajustados para refrigeração total. Com o reservatório de Freon na posição correta, para permitir a saída do vapor, a válvula de baixa pressão é aberta para permitir que o vapor entre no sistema. As libras de Freon no sistema são colocadas, como recomendado pelas especificações.

Todas as válvulas são fechadas, o conjunto de distribuição é removido, e uma verificação operacional é executada.

Verificação do óleo do compressor

O compressor de óleo é uma unidade selada no sistema de refrigeração. Toda vez que o sistema for esvaziado, a quantidade de óleo deve ser verificada.

O tampão de enchimento é removido, usando o tipo apropriado de vareta de medição, verificando a quantidade de óleo. O nível deverá ser mantido na faixa apropriada, usando o óleo recomendado pelo fabricante. Após a adição do óleo, recoloca-se o tampão de enchimento e recarrega-se o sistema.

VERIFICAÇÕES OPERACIONAIS DA PRESSURIZAÇÃO DA CABINE

Duas verificações operacionais podem ser executadas em um sistema de pressurização e condicionamento do ar da cabine. A primeira é uma verificação operacional geral do sistema completo, previsto para assegurar a operação apropriada de cada componente principal do sistema. A segunda é uma verificação da pressurização da cabine, para verificar quanto a vedação.

Para verificar operacionalmente o sistema de condicionamento de ar, opera-se os motores ou providencia-se o equipamento de apoio de solo, recomendado pelo fabricante da aeronave.

Com os controles do sistema posicionados para fornecer ar frio, é confirmado se o ar frio está fluindo dos bocais de distribuição da cabine. Posiciona-se os controles do sistema para fornecer ar quente; e ocorrendo um aumento na temperatura do fluxo de ar nos bocais de distribuição, deve ser confirmado.

A verificação do sistema de pressurização da cabine consiste de: (1) verificação da operação do regulador de pressão; (2) verificação da operação da válvula de alijamento e alívio de pressão; (3) teste de pressão estática da cabine; e (4) teste da pressão dinâmica da cabine.

Para verificar o regulador de pressão, conecta-se um teste de ar e um manômetro (um instrumento para medição de pressão, normalmente em polegadas de Hg) às conecxões de adaptação apropriada do teste.

Com uma fonte externa de energia elétrica conectada, posiciona-se os controles do sistema como necessário, pressurizando a cabine a 7.13 polegadas de Hg, que é equivalente a 3,5 p.s.i. Os ajustes de pressurização e tolerância apresentados aqui são somente para finalidades de ilustração.

Consulta-se o manual de manutenção aplicável, para os ajustes, relativos ao modelo da aeronave.

Deve-se continuar a pressurização da cabine, verificando se o regulador de pressão mantém a mesma pressão.

A verificação completa das válvulas, de alijamento e alívo de pressão, consiste de três verificações individuais. Primeiro, com o teste de ar conectado pressuriza-se a cabine, posicionando a chave seletora de pressão para alijar o ar da cabine. Se a pressão da cabine cair para menos que 0,3 pol. de Hg (0,15 p.s.i.), através de ambas as válvulas de alijamento e de alívio de pressão, que são na verdade válvulas de alijamento de pressão.

Segundo, usando o teste de ar, repressuriza-se a cabine. Posiciona-se então, a válvula manual de alijamento para “DUMP” (alijamento). Uma queda na pressão da cabine para 0,3 pol. Hg (0,15 p.s.i.) e um fluxo de ar através das válvulas de alijamento e alívio de pressão, indicam que a função de alijamento manual dessa válvula está satisfatória.

Terceiro, posiciona-se a válvula de corte (SHUT OFF) para “ALL OFF”. (Esta posição é usada somente para teste no solo). Usando o teste de ar, pressuriza-se a cabine até 7,64 pol de Hg (3,75 p.s.i.).

A operação das válvulas de alijamento e alívio de pressão, para manter essa pressão, indica que a função de alívio das válvulas é satisfatória.

O teste de pressão estática da cabine verifica a fuselagem, quanto a integridade estrutural. Para executá-lo, conecta-se o teste de ar, pressurizando a fuselagem até 10,20 pol. de Hg (5,0 p.s.i.). Verifica-se o revestimento externo da fuselagem quanto a trincas, distorções, mossas e condições dos rebites.

A verificação quanto a vazamento da fuselagem é chamada de teste de pressão dinâmica da cabine. Essa verificação consiste da pressurização a uma pressão específica, usando um teste de ar. Então, com um manômetro, determina-se a taxa de perda de pressão de ar dentro de um limite de tempo especificado no manual de manutenção da aeronave. Se a perda for excessiva, grandes vazamentos podem ser localizados pelo som ou pelo tato. Pequenas perdas podem ser detectadas usando uma solução para formação de bolha ou um testador de vazamento da cabine.

Uma observação cuidadosa do exterior da fuselagem, antes de sua lavagem, pode revelar pequenas perdas em torno dos rebites, junções ou diminutas rachaduras no revestimento. Uma mancha indicadora será visível, na área do vazamento.

PESQUISA DE PANES NA PRESSURIZAÇÃO DA CABINE

A pesquisa de panes consiste de três passos: (1) determinação da existência da pane; (2) determinação de todas as causas possíveis de panes; e (3) identificação ou isolamento da causa específica da pane.

As cartas de pesquisa de panes são freqüentemente fornecidas nos manuais de manutenção da aeronave, para uso na determinação da causa, do procedimento de isolamento, e solução para os defeitos mais comuns, que tornam os sistemas de pressurização e condicionamento de ar da cabine inoperantes ou incontroláveis.

Essas cartas normalmente listam a maioria das falhas do sistema.

As cartas de pesquisa de pane são organizadas em uma seqüência clara para cada defeito, e de acordo com a probabilidade de falha e facilidade de investigação.

Para obter o máximo rendimento, os seguintes passos são recomendados, quando aplicando-se uma carta de pesquisa de panes para falhas do sistema:

(1) PANE: Temperatura da cabine muito alta ou muito baixa (não atende ao controle, durante a operação automática (em “AUTO”).

CAUSA PROVÁVEL	PROCEDIMENTO DE ISOLAÇÃO	CORREÇÃO
Defeito no sensor de temperatura.	Coloca-se o sistema em operação manual, girando o botão de controle de temperatura do ar manualmente.	Se o sistema opera corretamente, substitua o sensor de temperatura, por um em bom estado e verifique o sistema novamente na operação “AUTO”.

(2) PANE: Temperatura da cabine muito alta ou muito baixa (não atende ao controle durante a operação automática ou manual).

CAUSA PROVÁVEL	PROCEDIMENTO DE ISOLAÇÃO	CORREÇÃO
Defeito no controlador de temperatura ou válvula de desvio de refrigeração inoperante.	Com o sistema sendo operado na posição manual e o botão de controle da temperatura do ar da cabine alternando entre “COLD”e “HOT”, observe o indicador de posição da válvula (localizado sobre a válvula).	Se a válvula não estiver abrindo e fechando de acordo com os ajustes do controle, desconecte o plugue elétrico do solenoide da válvula e verifique a fonte de força. Se a posição da válvula indica que ela está abrindo e fechando de acordo com os ajustes do controle, continue com o próximo ítem da pesquisa de panes.

Figura 14-44 Pesquisa de panes em um sistema de ciclo de ar.

(1) Determinar qual pane ou falha listada na tabela, com a semelhança mais próxima da falha atual, detectada no sistema.

(2) Eliminar as causas prováveis listadas sob a pane selecionada, na ordem em que elas estão listadas, executando o procedimento de isolamento para cada uma , até que o defeito seja descoberto

(3) Corrigir o defeito, seguindo as instruções listadas na coluna de correção da tabela de soluções de panes.

A figura 14-44 é um exemplo do tipo de tabela de pesquisa de panes, fornecido no manual de manutenção para uma aeronave que use um sistema de ciclo de ar.

SISTEMA DE OXIGÊNIO

A atmosfera é constituída por cerca de 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio, e 1% de outros gases por volume.

Desses gases, o oxigênio é o mais importante.

Com o aumento da altitude, o ar se torna rarefeito e a pressão do ar diminui. Como resultado, a quantidade de oxigênio disponível para sustentar as funções humanas diminui.

Os sistemas de oxigênio das aeronaves estão equipados para suprir uma quantidade requerida de oxigênio nos pulmões, para permitir uma atividade normal, até em indicadas altitudes em torno de 40.000 pés.

Aeronaves de transporte modernas cruzam altitudes, nas quais a pressurização da cabine é necessária para manter a pressão de altitude na cabine entre 8.000 e 15.000 pés, indiferente da altitude atual da aeronave. Sob tais condições, o oxigênio não é preciso para o conforto dos passageiros e da tripulação. Entretanto, como precaução, o equipamento de oxigênio está instalado para uso, no caso de falha na pressurização. Equipamento portátil de oxigênio poderá também estar a bordo para primeiros socorros.

Como algumas das aeronaves de médio e pequeno porte são previstas sem pressurização de cabine, o equipamento de oxigênio poderá ser instalado para uso dos passageiros e da tripulação, quando a aeronave estiver em grande altitude.

Em outros casos, quando o sistema de oxigênio não estiver instalado, passageiros e tripulantes dependerão do equipamento portátil de oxigênio, acondicionado em posições convenientes.

O projeto dos vários sistemas de oxigênio, usados na aviação, dependem largamente do tipo de aeronave, quer por exigências operacionais ou quando aplicável, do sistema de pressurização.

Em algumas aeronaves, um sistema de fluxo contínuo de oxigênio é instalado, tanto para passageiros como tripulantes. O sistema de pressão de demanda é amplamente usado como um sistema para tripulação, especialmente nas grandes aeronaves de transporte.

Muitas aeronaves têm uma combinação de ambos os sistemas, os quais poderão ser aumentados pelo equipamento portátil.

Sistema de fluxo contínuo

Numa forma simples, um sistema básico de fluxo contínuo de oxigênio, é ilustrado na figura 14-45.

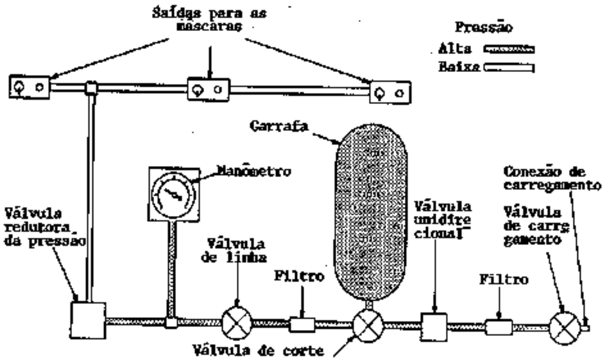


Figura 14-45 Sistema de oxigênio de fluxo contínuo.

Como mostrado na ilustração, com a linha da válvula ligada, o oxigênio fluirá do cilindro carregado até a linha de alta pressão para a válvula redutora, a qual reduz a pressão para aquela requerida na saída das máscaras. Um orifício de calibragem nas saídas irão controlar a quantidade de oxigênio liberada para as máscaras.

O sistema dos passageiros poderá consistir de uma série de tomadas de suprimento, instaladas nas paredes adjacentes da cabine, até o assento dos passageiros aos quais as máscaras de oxigênio poderão ser conectadas, ou poderá ser um arranjo de máscaras, que cairão automaticamente para cada passageiro se a pressurização falhar. Em ambos os casos o oxigênio é suprido, freqüentemente de forma automática através de uma tubulação.

Qualquer controle automático (por exemplo válvula de controle barométrico) no sistema, poderá ser substituído por um controle manualmente operado, por um membro da tripulação.

Sistema de pressão por demanda

Um sistema simples de pressão por demanda é ilustrado na figura 14-46. Nota-se que há um regulador de pressão por demanda para cada membro da tripulação, o qual poderá ajustar o regulador de acordo com a sua necessidade.

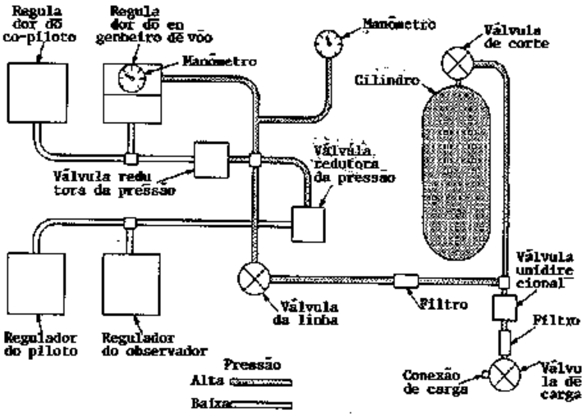


Figura 14-46 Típico sistema de oxigênio de pressão por demanda.

Equipamento portátil de oxigênio

O equipamento portátil de oxigênio típico consiste de um cilindro de liga leve, de aço, provido com uma válvula controladora/redutora de fluxo combinado e um medidor de presssão. Uma máscara para respiração, com tubulações flexíveis conectadas, e um suporte com as alças necessárias para utilização do usuário, completam o conjunto.

A pressão de um cilindro carregado é usualmente de 1.800 PSI; entretanto, a capacidade do cilindro varia. Um equipamento portátil, de tamanho popular, tem um cilindro com a capacidade de 120 litros.

Dependendo do tipo de equipamento usado, é normalmente possível selecionar no mínimo 2 tipos de fluxos, normal ou alto. Em outro equipamento, 3 tipos de fluxo poderão ser selecionados, por exemplo: normal, alto e emergência, aos quais correspondem 2, 4 e 10 litros por minuto. Com esses tipos de fluxo, um cilindro de 120 litros durará por 60 , 30 e 12 minutos.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO CONTRA FUMAÇA

Em alguns casos existem exigências para transportar o equipamento de proteção contra fumaça, ou atmosfera carregada de gases.

Esse equipamento consiste de uma máscara de proteção facial especial contra fumaça, com proteção para os olhos no formato de visor transparente, junto com o suprimento necessário de oxigênio através de traquéias e prendedores. Alguns são projetados para uso com oxigênio, proveniente do sistema de oxigênio da aeronave, e outros são acondicionados em equipamentos portáteis.

CILINDROS DE OXIGÊNIO

O suprimento de oxigênio é acondicionado em cilindros de alta ou baixa pressão. O cilindro de alta pressão é fabricado por uma liga de tratamento a quente, ou são enrolados com arame na superfície externa para prover resistência contra batidas.

Todos os cilindros de alta pressão são identificados pela coloração verde, e têm as palavras “oxigênio para consumo dos aviadores” em letras brancas de 1 polegada, gravadas longitudinalmente.

Os cilindros de alta pressão são fabricados numa variedade de formatos e capacidades. Esses cilindros poderão conter uma carga máxima de 2.000 P.S.I., mas são normalmente abastecidos com 1.800 a 1.850 P.S.I.

Existem dois tipos básicos de cilindros de baixa pressão de oxigênio. Um é feito de aço inoxidável; o outro, de liga de aço, baixo carbono, tratado a quente.

Os cilindros de aço inoxidável se tornam não fragmentáveis pela adição de camadas estreitas de aço inoxidável soldadas ao corpo do cilindro. Os cilindros de liga leve de aço não têm as bandas de reforço, mas estão sujeitos ao processo de tratamento a quente para torná-los não fragmentáveis. Eles têm um corpo fino com os dizeres “não fragmentáveis” gravados.

Ambos os tipos de cilindros de baixa pressão vem com tamanhos diferentes, e são pintados na cor amarela clara. Esta cor indica que eles são usados somente em linhas de baixa pressão de oxigênio.

Os cilindros poderão conter no máximo 450 P.S.I. de carga, mas são normalmente abastecidos com pressão de 400 a 425 P.S.I. Quando a pressão cai para 50 p.s.i., os cilindros são considerados vazios.

Os cilindros podem ser equipados com dois tipos de válvulas.

Um tipo usado é o de abertura automática da válvula, que abre quando o conjunto da válvula é acoplado à tubulação de oxigênio, na saída da válvula. Essa ligação deixa a válvula unidirecional fora da posição, permitindo que o oxigênio do cilindro encha o sistema de oxigênio sob alta pressão.

O outro tipo é uma roda manual, que deverá ser frenada na posição toda aberta, quando o cilindro estiver instalado na aeronave.

Essa válvula deverá estar fechada quando removendo ou trocando partes do sistema de oxigênio, e quando o cilindro for retirado da aeronave.

Os cilindros são freqüentemente providos com um disco projetado para romper-se, caso a pressão da válvula aumente para uma condição insegura.

Esse disco é usualmente instalado no corpo da válvula, e os suspiros do conteúdo dos cilindros para fora da aeronave, em caso de um aumento perigoso de pressão.

SISTEMA DE OXIGÊNIO EM ESTADO SÓLIDO

O suplemento de oxigênio de emergência é uma necessidade em uma aeronave pressurizada, voando acima de 25.000 pés. Geradores químicos de oxigênio podem ser usados para o cumprimento de novas necessidades.

O gerador químico de oxigênio difere do cilindro de oxigênio comprimido e do conversor de oxigênio líquido, no qual o oxigênio é realmente produzido na hora da entrega.

Geradores de oxigênio, em estado sólido, têm sido usado por longo tempo. Na década de 20 foi usado pela primeira vez em salvamento nas minas.

Durante a 2ª Grande Guerra, os japoneses, britânicos e americanos, trabalharam para desenvolver estes geradores de oxigênio para aeronaves e submarinos.

Na figura 14-47, é mostrado esquematicamente o número de polegadas cúbicas de espaço, que ocuparão 120 pés cúbicos de oxigênio (10 libras) como gás, líquido ou sólido.

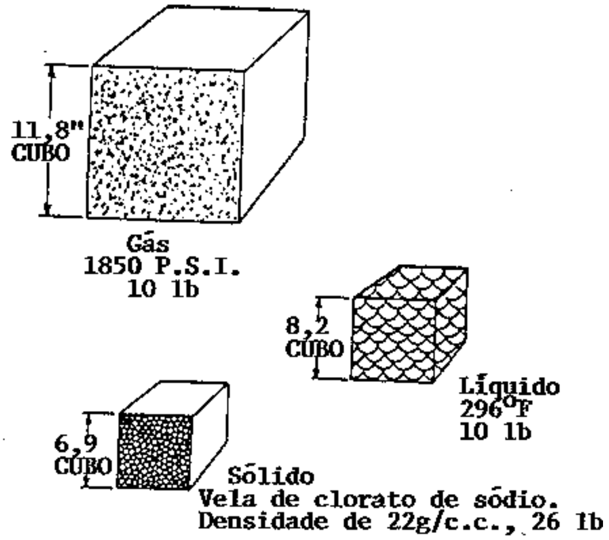


Figura 14-47 Comparação do volume.

Na figura 14-48, as ferramentas necessárias para instalar e operar o sistema foram incluídas nas medidas de tamanho e de peso. Uma rápida comparação desses valores torna aparente que o sistema gerador do oxigênio em estado sólido é o mais eficiente.

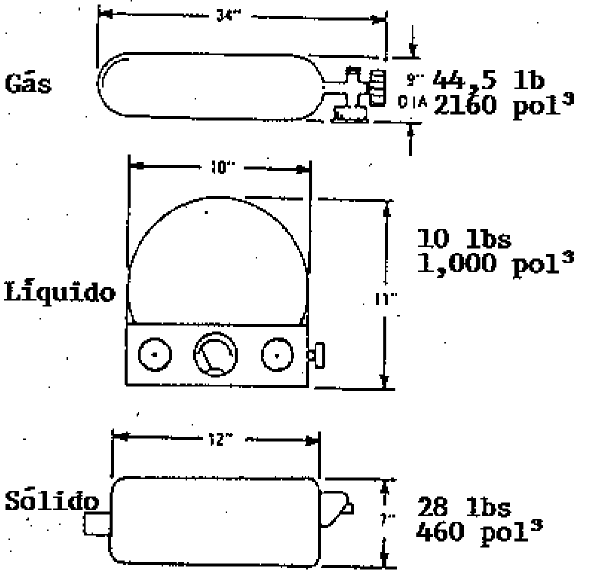


Figura 14-48 Comparação de peso e volume na estocagem do oxigênio como gás, líquido e sólido.

Dessa maneira, menor equipamento e manutenção são requeridos para conversores de oxigênio em estado sólido.

A inspeção de integridade é o único requisito usado, até que sejam implementadas outras normas.

O estado sólido descreve um processo químico do clorato de sódio, (fórmula $Na\ Cl\ O_3$). Quando aquecido a 478ºF, o clorato de sódio libera acima de 45% do seu peso como oxigênio gasoso. O aquecimento necessário à decomposição do clorato de sódio é suprido pelo ferro, o qual é misturado com clorato.

Gerador de oxigênio

A figura 14-49, ilustra uma representação esquemática de um gerador básico de oxigênio.

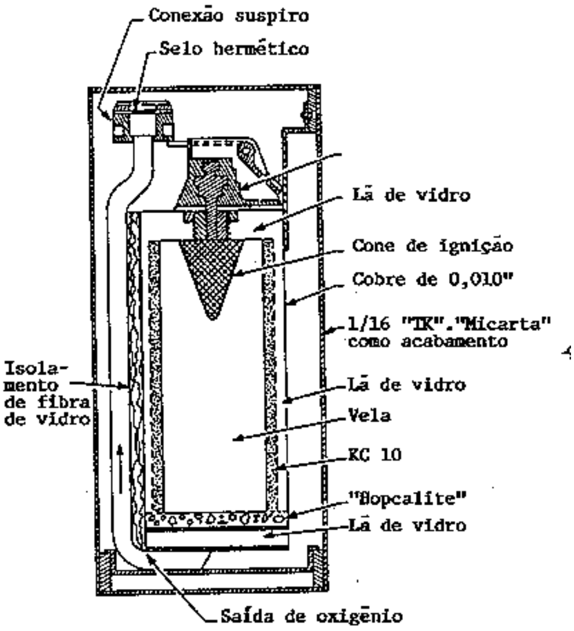


Figura 14-49 Gerador de oxigênio (vela).

A posição axial central é ocupada por um núcleo de clorato de sódio, ferro e alguns outros ingredientes misturados juntos, e cada um posicionado ou fundido numa forma cilíndrica.

Este item tem sido popularmente chamado como uma vela de oxigênio, porque quando é aceso em uma das pontas ele queima progressivamente, da mesma maneira que uma vela ou chama. Circundando o núcleo está a embalagem porosa. Ela suporta o núcleo e filtra as partículas de sal do gás, quando ele flui em direção à saída.

Um filtro químico e um filtro especial na ponta da saída do invólucro prevêem a limpeza final do gás, para que o oxigênio liberado seja medicinalmente puro para a absorção humana. Um dispositivo inicial é parte integral do pacote. Isto poderá ser tanto um dispositivo de percussão mecânica quanto um gatilho elétrico. A escolha depende da aplicação.

O conjunto todo é acondicionado num vaso de casca fina. Freqüentemente contido numa camada de isolamento térmico, dentro da casca, uma válvula unidirecional veda na saída, e uma válvula de alívio protege contra condição de sobrepressão não intencional.

Em operação, a queima é iniciada numa das pontas do núcleo pelo gatilho, ou pelo dispositivo de percussão. A evolução da razão do oxigênio é proporcional a área seccional cruzada no núcleo e a razão da queima. Essa razão é determinada pela concentração do combustível no clorato.

Em certos casos, uma das extremidades do núcleo é maior que a outra. A causa disso é para programar uma alta razão de evolução do oxigênio durante os primeiros minutos da queima, como é requerido para um suprimento de descida de emergência. A queima continua até que a parte central esteja gasta.

A simplicidade do processo poderá ser prontamente vista; da mesma maneira, as limitações. Não existem válvulas de ligar ou desligar, nem mesmo controles mecânicos. O reabastecimento é efetuado pela simples troca do dispositivo na sua totalidade.

Uma limitação é que, uma vez iniciada a geração, o fluxo é liberado a uma predeterminada razão, então o uso por demanda não é muito eficiente. Para aumentar o processo em funcionamento para o consumo de uma grande quantidade de oxigênio, a quantidade de ferro é mantida no mínimo.

Existe uma tendência para liberação de pequenas quantidades de cloro. Peróxido de bário ou, dióxido de bário, poderá ser adicionado pelo fabricante, para prover uma média alcalina para remover a quantidade de cloro que possa estar presente.

Baseados no volume, o qual é extremamente importante na instalação da aeronave, uma capacidade de armazenamento de oxigênio em velas, é cerca de três vezes o do gás comprimido.

Um modelo típico de três saídas, supre por 15 minutos, em caso de descompressão ou descida de emergência, para um transporte supersônico (25.000 pés, máxima altitude da cabine), pesando menos que 0,9 libras, e consiste simplesmente de um cilindro de aço inoxidável de 2,1 polegadas de diâmetro por 3,55 polegadas de comprimento, ligadas a 3 bicos múltiplos de mangueira.

O cilindro contém o gerador, iniciador, sal, filtro de fumaça, bastante isolação para manter a superfície do cilindro abaixo de 250ºF e, durante a queima, um plug de alívio da pressão e uma faixa pintada de indicação da temperatura, para inspeção visual das condições do gerador.

Os bicos contêm orifícios pequenos, o bastante para assegurar o fluxo essencialmente equalizado para as três máscaras.

Os geradores são inertes abaixo de 400ºF, mesmo sob um severo impacto. Enquanto a temperatura da reação for alta e um considerável calor for produzido, os geradores são isolados para que a superfície externa do cilindro fique fria o bastante, a fim de evitar qualquer perigo de fogo.

As unidades portáteis poderão ser seguradas confortavelmente durante toda a operação, até que a geração de calor seja dissipada durante um logo período de tempo. O mesmo isolamento trabalha ao inverso; para adiar a iniciação, deverá uma unidade estar sujeita a um fogo externo.

Se algum fogo for suficientemente prolongado para acender o gerador de clorato a produção de oxigênio, será a uma relativamente baixa e contínua razão.

Nos sistemas de fluxo contínuo, simples, nenhuma pressão será gerada, quando todas as saídas permitirem um livre fluxo de oxigênio, eliminando o intenso efeito de jato do oxigênio pressurizado sobre o fogo.

Estado sólido contra oxigênio gasoso sob alta pressão

- Eliminação da alta pressão em recipientes de armazenagem - alivia o peso.

- Eliminação da distribuição e regulamentação dos componentes - alivia o peso e a manutenção.

- Simplificação da linha de distribuição individual e retirada de mecanismos, pelo uso das unidades modulares de velas de clorato.

- Melhoria da confiança e, por conseguinte, a segurança pelo projeto do circuito de iniciação, no qual, um mal funcionamento individual não tornará outras unidades inoperantes (a comparação aqui, refere-se a rompimento de linhas, ou grandes vazamentos no sistema de distribuição de gases).

- Simples vigilância visual de cada unidade poderá mostrar qualquer sinal de deterioração, pela instalação dos cartuchos, pela relativa inexperiência dos serviços da tripulação; facilmente checado quanto a instalação e desembaraço para o funcionamento pelo comando da cabine.

- Programada liberação proporcional de oxigênio, independente do tipo de emergência.

TUBULAÇÕES DO SISTEMA DE OXIGÊNIO

Tubos e acessórios são feitos para a maioria das linhas do sistema de oxigênio, e conexões com os vários componentes. Todas as linhas são de metal, exceto onde as flexíveis são requeridas. Onde a flexibilidade é necessária, mangueiras de borracha são usadas.

Existem vários tipos e diferentes tamanhos de tubos para oxigênio.

O mais usado em sistema de baixa pressão de gás é o feito de liga de alumínio. Tubos feitos desse material resistem a corrosão e a fadiga, são leves em peso e facilmente moldados.

Para suprir gases de alta pressão, as linhas são feitas de liga de cobre.

As tubulações de oxigênio instaladas são usualmente identificadas com fitas com código de coloração, aplicado em cada extremidade dos tubos, e a intervalos específicos ao longo do comprimento.

A fita com código, consiste de uma faixa verde pintada com as palavras “oxigênio para consumo”, e um símbolo retangular preto sobrepintado num fundo branco.

Conexões do sistema de oxigênio

Tubos segmentados são interconectados, ou conectados aos componentes do sistema por conexões. As conexões tubo-a-tubo são projetadas com roscas retas para receber conexões tubulares cônicas.

As conexões para ligações dos tubos aos componentes (cilindro, reguladores e indicadores) têm numa das pontas roscas retas, e a parte externa do tubo rosqueado na outra ponta para fixação, como mostra a figura 14-50.

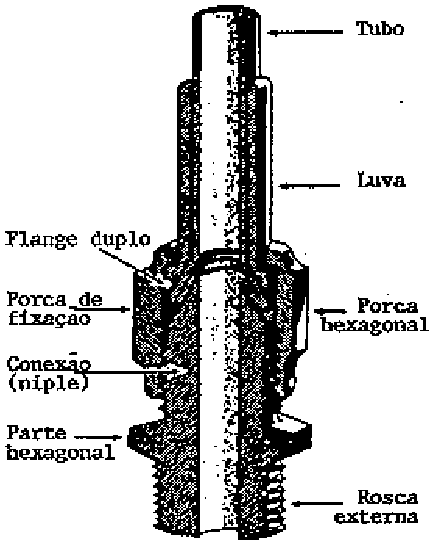


Figura 14-50 Vista em corte de uma conexão típica do sistema de oxigênio.

As conexões do sistema de oxigênio podem ser feitas de liga de alumínio, aço ou latão. Essas conexões podem ser de dois tipos: com flange ou sem flange.

Um tubo com flange típico é mostrado na figura 14-50, e um sem flange é mostrado na figura 14-51. A luva na tubulação sem flange deverá estar prefixada, antes da instalação final, no assentamento previsto para ela.

O prefixamento causa o corte da borda da luva, para apertar o tubo suficientemente, e formar um selo entre a luva e a tubulação.

A ponta da tubulação no assentamento da conexão sem flane, é para proporcionar um suporte para o tubo, depois da instalação.

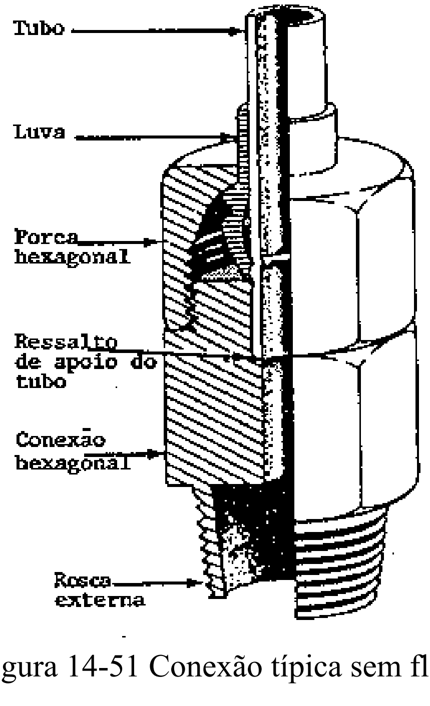


Figura 14-51 Conexão típica sem flange.

Para vedar o sistema de oxigênio nas conexões com rosqueados cônicos, e para evitar engripamentos da rosca, usa-se somente um composto para roscas aprovado. Nunca se usa uma mistura contendo óleo, graxa ou qualquer outro hidrocarbono nas conexões usadas no sistema de oxigênio.

Linhas de reposição

Os mesmos métodos de cortes e dobras descritos no capítulo 5 “Linhas de fluidos e tubulações” do C.A. 65-9A, Manual de Matérias Básicas e Grupo motopropulsor, também são aplicáveis às linhas de oxigênio. Como regra geral as linhas de oxigênio são de duplo flange, este torna a conexão forte e hábil para suportar mais torque.

Quando instalando uma linha, tenha certeza que existe espaço apropriado. A folga mínima entre as tubulações de oxigênio, e todas as partes móveis, deverá ser de 2 polegadas. A folga entre tubulações de oxigênio e fiações elétricas deve ser de 6 polegadas.

Quando não é possível, amarra-se toda fiação elétrica com braçadeiras, para que elas não possam estar mais próximas que 2 polegadas da tubulação de oxigênio.

VÁLVULAS DE OXIGÊNIO

São usados 5 tipos de válvulas nos sistemas de oxigênio gasoso de alta pressão. Existem válvulas de abastecimento, válvulas unidirecionais, válvulas de corte, válvulas de redução de pressão e válvulas de alívio de pressão.

Um sistema de baixa pressão, normalmente contém somente uma válvula de abastecimento e válvulas unidirecionais.

Válvula de abastecimento

Na maioria das aeronaves, a válvula de abastecimento do sistema de oxigênio localiza-se junto à borda de uma janela de acesso, ou diretamente abaixo de uma cobertura no revestimento.

Em qualquer localização, a válvula é rapidamente acessível ao abastecimento. Normalmente há um letreiro na parte externa, onde se lê: “OXIGEN FILLER VALVE”. Há dois tipos de válvulas de abastecimento de oxigênio em uso, uma válvula de abastecimento de baixa pressão e uma de alta pressão.

A válvula de abastecimento de baixa pressão, figura 14-52, é usada nos sistemas equipados com cilindros de baixa pressão. Quando reabastecendo um sistema de oxigênio de baixa pressão, empurra-se o adaptador de carregamento para dentro do corpo da válvula de abastecimento. Isso desloca a válvula, e permite ao oxigênio fluir da carreta de abastecimento para os cilindros de oxigênio da aeronave.

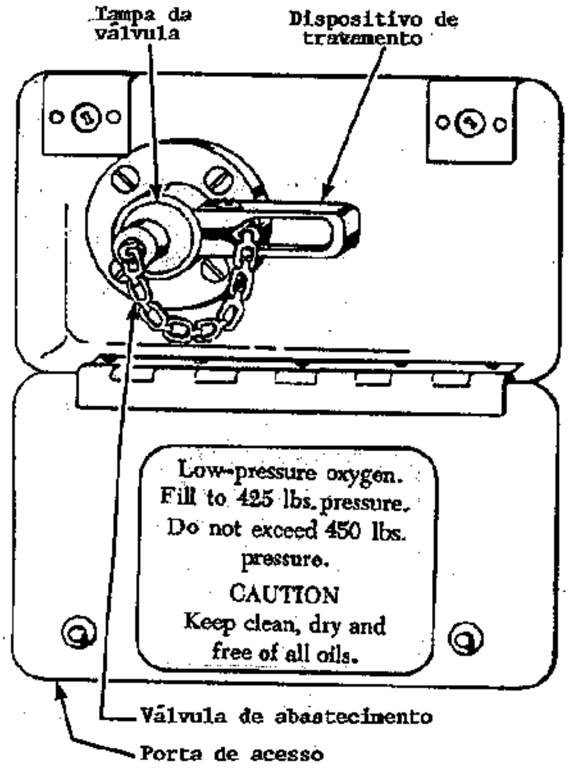

Tampa da válvula
Dispositivo de travamento
Low-pressure oxygen.
Fill to 425 lbs. pressure.
Do not exceed 450 lbs. pressure.
CAUTION
Keep clean, dry and free of all oils.
Válvula de abastecimento
Porta de acesso

Figura 14-52 Válvula de abastecimento de oxigênio gasoso de baixa pressão.

A válvula de abastecimento contém um dispositivo de travamento sob tensão de molas, que mantém o adaptador de carregamento no lugar, até que ele seja aliviado. Quando o adaptador é removido da válvula de abastecimento, o fluxo reverso de oxigênio é, automaticamente, interrompido por uma válvula unidirecional. Uma tampa proporciona a cobertura do bocal de abastecimento, evitando a contaminação.

A válvula de alta pressão possui uma parte com fios de rosca, para receber o conector de suprimento de oxigênio; e uma válvula manual para controlar o fluxo de oxigênio.

Para fazer o abastecimento de um sistema de oxigênio, que usa uma válvula de abastecimento de alta pressão, atarracha-se o adaptador de carregamento na válvula de abastecimento da aeronave. A válvula manual é aberta na válvula de abastecimento e, também, a garrafa abastecedora. Quando o abastecimento estiver pronto, fecham-se as válvulas, remove-se o adaptador de carregamento, e atarracha-se a tampa da válvula para evitar contaminação.

Válvulas unidirecionais

Válvulas unidirecionais estão instaladas nas linhas entre as garrafas de oxigênio, e em todas as aeronaves que têm mais de uma garrafa. Essas válvulas evitam um fluxo reverso do oxigênio, ou a perda de todo o oxigênio do sistema, no caso de um vazamento em uma das garrafas de estocagem.

As válvulas unidirecionais permitem um fluxo rápido de oxigênio em apenas uma direção. A direção do fluxo livre é indicada por uma seta nas válvulas.

Dos dois tipos básicos de válvulas unidirecionais comumente usados. Um tipo consiste de um alojamento contendo uma esfera sob ação de mola. Quando é aplicada pressão no lado de entrada, a esfera é forçada de encontro a mola, sendo assim, retirada de sua sede e permitindo a passagem do fluxo de oxigênio.

Quando a pressão se estabiliza, a mola recoloca a esfera em sua sede, evitando qualquer fluxo reverso de oxigênio.

O outro tipo é um cilindro em forma de sino, com uma a esfera cativa na sua abertura. Quando é aplicada pressão na aba do sino (entrada), a esfera permitirá o fluxo de oxigênio. Qualquer tendência de um fluxo reverso ocasiona o movimento da esfera de encontro a sua sede, vedando a entrada, e evitando um fluxo reverso.

Válvulas de corte

As válvulas de corte, manualmente controladas em duas posições, “ON” e “OFF”, são instaladas para controlar o fluxo de oxigênio fornecido por uma garrafa ou um conjunto de garrafas. Para operação normal, os botões que controlam as válvulas são frenados na posição “ON”(aberta). Quando necessário, como para a troca do componente, a válvula apropriada pode ser fechada (posição “OFF”).

Como precaução ao abrir a válvula, após a troca do componente, o botão deverá ser girado para a posição aberta vagarosamente, porque, de outro modo, o fluxo de oxigênio altamente pressurizado penetrando no sistema vazio, poderá romper uma das linhas.

Válvulas redutoras de pressão

Nos sistemas de oxigênio de alta pressão, válvulas redutoras de pressão são instaladas, entre as garrafas de suprimento e o equipamento das cabines de comando e de passageiros. Essas válvulas reduzem a alta pressão das garrafas de suprimento de oxigênio, para aproximadamente 300 a 400 p.s.i., necessárias às partes do sistema de baixa pressão.

Válvulas de alívio da pressão

A válvula de alívio da pressão está incorporada na linha principal de suprimento de um sistema de alta pressão.

A válvula de alívio evita que a alta pressão do oxigênio penetre no sistema, no caso de falha dos redutores de pressão; ela também está ligada a atmosfera, através de uma linha de ventilação e um plugue no revestimento da fuselagem.

REGULADORES

Reguladores diluidores de demanda

O regulador diluidor de demanda, obteve esse nome, pelo fato de fornecer oxigênio para os pulmões do usuário, em resposta à sucção de sua própria respiração.

Para prolongar a duração do suprimento de oxigênio, ele é automaticamente diluído no regulador, com quantidades adequadas de ar atmosférico. Essa diluição acontece em todas as altitudes abaixo de 34.000 pés.

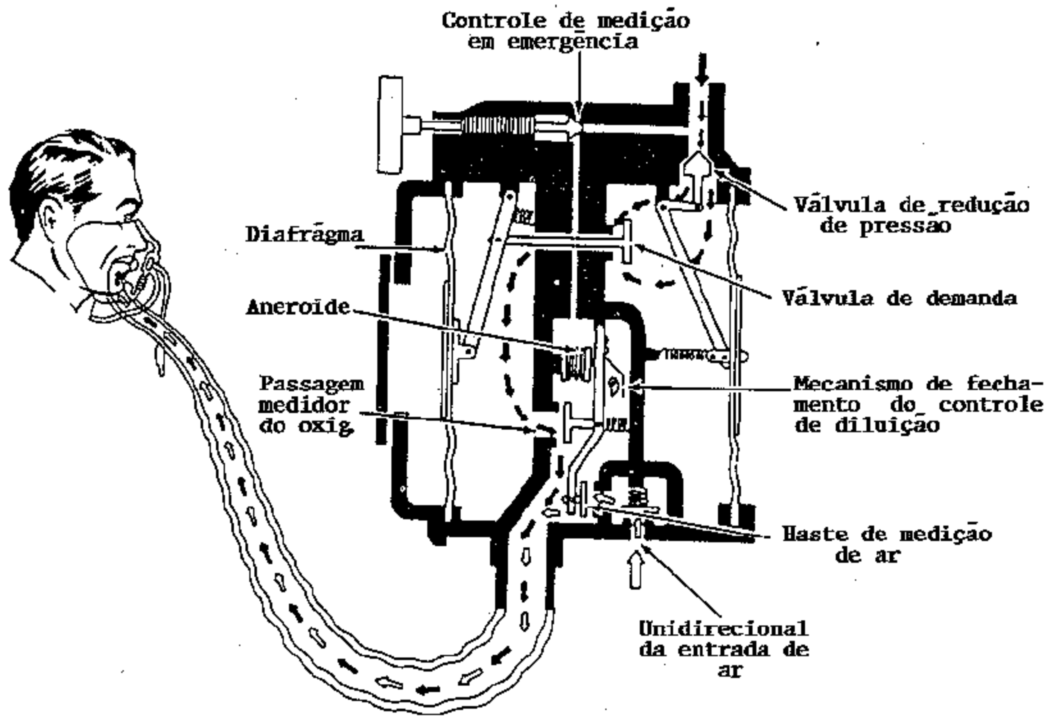

Controle de medição em emergência
Válvula de redução de pressão
Diafragma
Válvula de demanda
Aneroide
Mecanismo de fechamento do controle de diluição
Passagem medidor do oxig.
Haste de medição de ar
Unidirecional da entrada de ar

Figura 14-53 Esquema de um regulador diluidor de demanda.

A característica essencial de um regulador diluidor de demanda é uma válvula operada por um diafragma, chamada válvula de demanda (figura 14-53), que se abre pela fraca sucção no diafragma durante a inalação, e fecha-se durante a exalação.

Uma válvula de redução do fluxo acima da válvula de demanda permite um controlado funcionamento da pressão. O fluxo descendente da válvula de demanda é o controle do diluidor fechando o mecanismo. Isso consiste de um conjunto aneróide (um fole selado e em vácuo) que controla a entrada de ar.

Quando a alavanca do diluidor estiver colocada na posição marcada “Normal Oxygen”, o ar atmosférico ao nível do mar é suprido com pouquíssimo oxigênio.

Quando a altitude aumenta, a entrada de ar é gradualmente fechada pelo aneróide para fornecer uma concentração maior de oxigênio até que, ao redor de 34.000 pés, a entrada de ar fecha-se completamente, e é fornecido oxigênio a 100%. À medida que a altitude decresce, esse processo se reverte.

O controle de diluição, como mostrado na fig. 14-54, pode ser mantido, girando a alavanca para fornecer 100% de oxigênio em qualquer altitude. Em altitudes moderadas, contudo, isto faz com que o suprimento de oxigênio seja conseguido muito mais rapidamente que o normal.

O controle de diluição deve ser mantido na posição "normal oxygen", para todas as operações de rotina.

Pode ser colocado em "100% percent oxygen" nas seguintes situações: (1) Proteção contra gases de combustão ou outros gases venenosos ou perigosos na aeronave; (2) evitar enbolias ou sufocações; e (3) corrigir uma sensação de falta de oxigênio.

O regulador diluidor de demanda é equipado com uma válvula de emergência, operada por um botão vermelho (Figura. 14-54) na frente do regulador. Ao se abrir essa válvula há um fluxo constante de oxigênio puro à mascara, independente da altitude.

Os parágrafos seguintes ilustram um procedimento típico, para checar a operação de um regulador diluidor de demanda. Primeiro, o indicador de pressão do sistema deve indicar entre 425 e 450 P.S.I.; em seguida, checa-se o sistema, seguindo os passos seguintes:

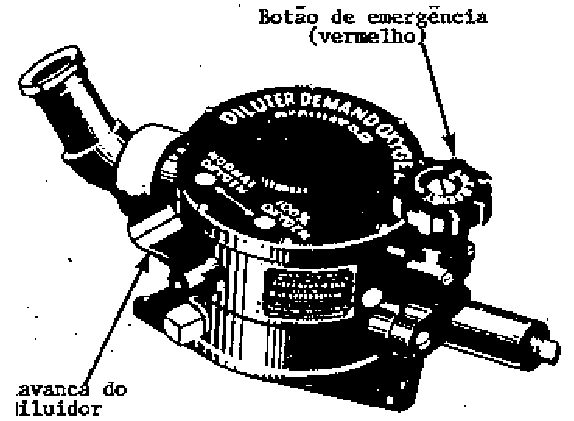


Figura 14-54 Controles do regulador diluidor de demanda.

1) Conectar uma máscara de oxigênio em cada regulador diluidor de demanda.

2) Girar a alavanca de auto misturador no regulador para a posição "100 percent oxygen", e ouvir se não há ruído de oxigênio escapando.

3) Respirar normalmente o oxigênio da máscara. O fluxômetro de oxigênio deve piscar uma vez para cada respiração. (A Figura 14-55 mostra um típico fluxômetro de oxigênio e um indicador de pressão).

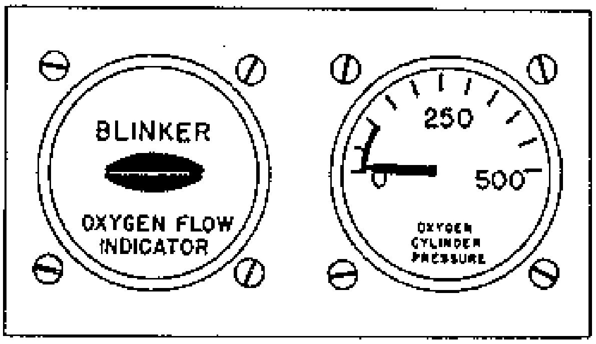


Figura 14-55 Indicador de fluxo e manômetro.

4) Com a alavanca auto misturadora na posição "100 percent oxygen", coloca-se o lado aberto da mangueira da máscara contra a boca, assoprando suavemente na mangueira. Não se assopra com força, pois a válvula de alívio do regulador poderá se abrir. Deve existir uma positiva e continuada resistência, caso contrário pode estar havendo um escapamento no diafragma ou no sistema de medição.

5) Girar a alavanca auto misturadora para a posição "normal oxygen".

6) Girar a válvula de emergência no regulador diluidor de demanda para a posição "ON" durante alguns segundos, fazendo acontecer um fluxo constante de oxigênio, e cessando quando se desligar a válvula de emergência.

7) Frenar com arame a válvula de emergência na posição "OFF", seguindo a Federal Specification QQ-W-341, ou semelhante, com fio de cobre, diâmetro 0,0179 polegadas.

Outro tipo de regulador diluidor de demanda é o de painel estreito. Esse tipo (Figura. 14-56) possui um indicador tipo flutuante, que sinaliza o fluxo de oxigênio através do regulador até a máscara.

A face do regulador também possui três alavancas de controle manual. Uma alavanca de suprimento abre ou fecha a válvula de suprimento de oxigênio.

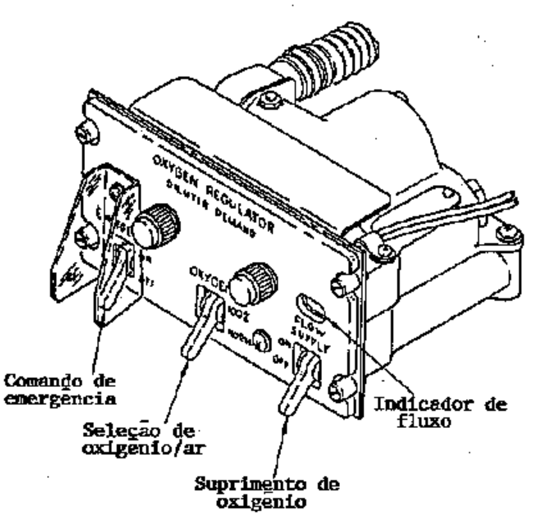

Comando de emergência
Seleção de oxigenio/ar
Suprimento de oxigenio
Indicador de fluxo

Figura 14-56 Regulador de oxigênio com painel estreito.

Uma alavanca de emergência é usada para se obter oxigênio sob pressão.

Uma alavanca seletora de oxigênio é usada para selecionar uma mistura ar/oxigênio, ou somente oxigênio.

A Figura 14-57 ilustra como operar o regulador desse tipo. Com a alavanca de suprimento na posição "ON", a alavanca de seleção de oxigênio na posição "normal"; e a alavanca de emergência na posição "OFF", o oxigênio penetra pela entrada do regulador.

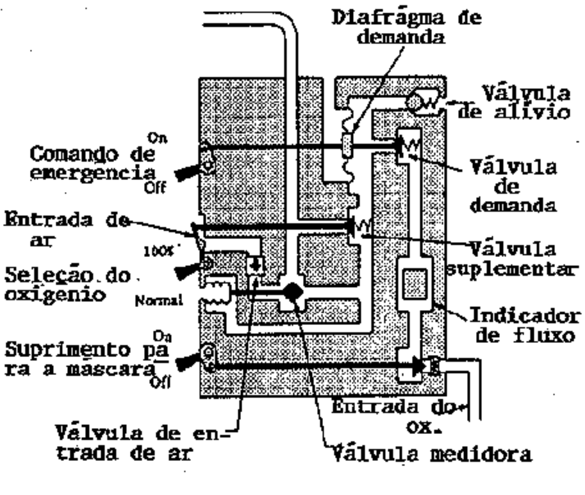

Diafrágma de demanda
Válvula de alivio
On
Comando de emergencia
Off
Válvula de demanda
Entrada de ar
100%
Válvula suplementar
Seleção do oxigenio
Normal
Indicador de fluxo
On
Suprimento para a mascara
Off
Entrada do ox.
Válvula de entrada de ar
Válvula medidora

Figura 14-57 Esquema de um regulador de oxigênio com painel estreito.

Quando houver suficiente pressão diferencial sobre o diafragma de demanda, a válvula se abre para fornecer oxigênio à máscara. Esta pressão diferencial existe durante o ciclo de inalação do usuário.

Após passar pela válvula de demanda, o oxigênio se mistura com o ar que entra através do dispositivo de entrada. A proporção da mistura é determinada por uma válvula de medição de ar tipo aneróide. Uma alta proporção de oxigênio é fornecida em grandes altitudes e uma alta razão de ar nas baixas altitudes. A válvula de entrada de ar é disposta para permitir que o fluxo de ar se inicie ao mesmo tempo que o fluxo de oxigênio.

A adição de ar pode ser cortada, girando a alavanca de seleção de oxigênio para a posição "100%". Quando esta alavanca estiver em "normal", o ar penetra pelo dipositivo de oxigênio, para formar a mistura correta ar/oxigênio.

A pressão positiva na saída do regulador pode ser obtida girando-se a alavanca de emergência para "on". Isto faz com que, mecanicamente, se carregue o diafragma de demanda para proporcionar uma pressão positiva na saída.

Regulador de fluxo contínuo

Os reguladores de fluxos contínuos, dos tipos ajuste manual e automático, são instalados para suprir oxigênio para a tripulação e passageiros, respectivamente.

O regulador ajustável manualmente, de fluxo contínuo, fornece à máscara do usuário um fluxo de oxigênio numa proporção que pode ser controlada. Usualmente, o sistema contém um indicador de pressão, um indicador de fluxo e um botão de controle manual para ajustar o fluxo de oxigênio.

O indicador de pressão indica as P.S.I. de oxigênio na garrafa ou cilindro. O indicador de fluxo é calibrado em termos de altitude. O botão de controle manual ajusta o fluxo de oxigênio. O usuário ajusta o botão de controle manual até que a altitude do indicador de fluxo corresponda à leitura do altímetro da cabine.

O regulador automático de fluxo contínuo é usado em aeronaves de transporte para suprir automaticamente oxigênio para cada passageiro, quando a pressão da cabine for equivalente a uma altitude de aproximadamente 15.000 pés.

A operação do sistema se inicia automaticamente, através de um dispositivo atuado por eletricidade. O sistema também pode ser atuado manualmente, caso o regulador automático apresente defeitos.

Após a atuação, o oxigênio flui das garrafas de suprimento para as unidades de serviço.

Uma unidade típica de serviço para passageiros é mostrada na fig. 14-58. Durante os primeiros segundos do fluxo de oxigênio, uma pressão de 50 a 100 P.S.I. faz com que as portas das caixas com as máscaras de oxigênio se abram.

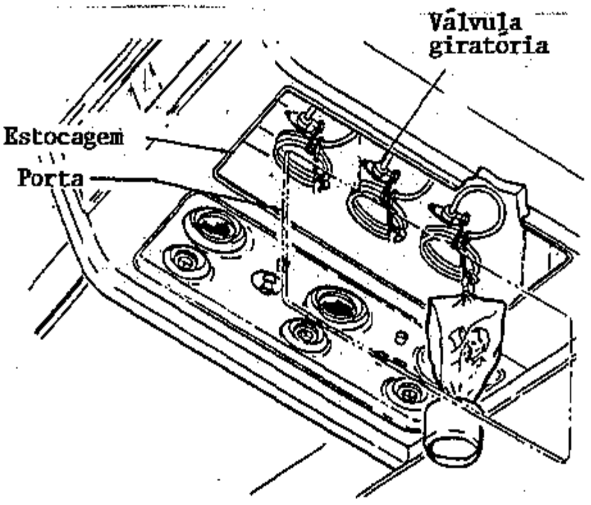


Figura 14-58 Unidade típica para servir aos passageiros.

Então, cada conjunto de máscara cai e fica suspenso pelo suporte de atuação no tubo flexível. A ação de puxar a máscara para uma posição de uso retira o pino de atuação na saída da válvula, abrindo-se a válvula giratória e permitindo que o oxigênio flua até a máscara.

INDICADORES DE FLUXO DO SISTEMA DE OXIGÊNIO

Os indicadores de fluxo são usados nos sistemas de oxigênio, para se obter uma indicação visual de que o oxigênio está fluindo através do regulador. Eles não mostram a quantidade de oxigênio que está fluindo. Em conseqüência, esta operação não indica que o usuário esteja obtendo oxigênio suficiente.

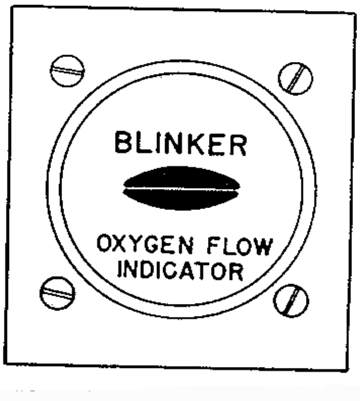


Figura 14-59 Indicador de fluxo de oxigênio.

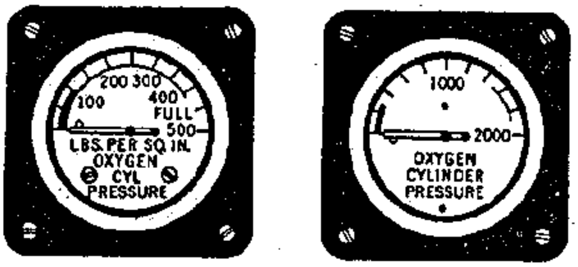
No indicador do tipo piscador (blinker) (figura 14-59) o olho abre e fecha cada vez que o usuário inala ou exala. Para se testar o indicador de fluxo, coloca-se a alavanca do diluidor na posição "100% oxigen", diversas respirações normais são feitas através da traquéia, que liga o regulador à máscara. Se o indicador abrir e fechar facilmente em cada respiração, indicará que está em condições de operação.

INDICADORES DE PRESSÃO

Os indicadores de pressão são normalmente do tipo de tubo de Bourdon. A figura 14-60 apresenta os mostradores de dois indicadores de oxigênio: 1) um indicador de baixa pressão; e 2) um indicador de alta pressão.

Devido a sua conexão em um sistema, os indicadores não mostram a pressão em cada garrafa de oxigênio. Se o sistema tem somente uma garrafa de suprimento, o indicador de pressão indicará a pressão da garrafa.

Nos sistemas onde diversas garrafas estão interconectadas através de válvulas unidirecionais, os indicadores mostrarão a garrafa que tem a maior pressão.



Indicador de baixa pressão

Indicador de alta pressão

Figura 14-60 Manômetros do Sistema de Oxigênio.

Imediatamente após o sistema ter sido reabastecido, a precisão do indicador de pressão pode ser verificada pela comparação do indicador de pressão da aeronave com o indicador da carreta de abastecimento. Nos sistemas de baixa pressão, o indicador da aeronave deve indicar 35 p.s.i. a 425 p.s.i., de pressão da carreta. A mesma verificação pode ser feita nos sistemas de alta pressão, mas a pressão de abastecimento é de 1.850 p.s.i., e a tolerância permitida é de 100 p.s.i.

As tolerâncias para a verificação da precisão dos indicadores são típicas, e não devem ser aplicadas indistintamente a todos os sistemas de oxigênio. Consulta-se o manual de manutenção aplicável da aeronave, no que se refere a tolerâncias de um particular sistema.

MÁSCARAS DE OXIGÊNIO

Existem numerosos tipos de máscaras de oxigênio em uso, que variam amplamente nos detalhes de projeto. Nessas instruções torna-se impraticável discutir todos os modelos. O importante é que as máscaras a serem usadas sejam compatíveis com o sistema de oxigênio envolvido.

Em geral, as máscaras da tripulação são escolhidas para se conseguir o mínimo de vazamento quando usadas. As máscaras da tripulação normalmente possuem um microfone, e a maioria é do tipo que cobre somente a boca e o nariz.

As grandes aeronaves de transporte são comumente equipadas com máscaras de gases para cada posição da equipagem. As máscaras de gases são instaladas em compartimentos de fácil acesso.

Essas máscaras protegem a tripulação numa emergência, entretanto não são usadas com freqüência como as máscaras de demanda e de fluxo contínuo. O equipamento de uma máscara de gases consiste de máscaras que cobrem toda a face, um tubo flexível para a respiração e um acoplamento. O acoplamento é conectado ao regulador de demanda. Um microfone está permanentemente instalado na máscara.

As máscaras dos passageiros (figura 14-61) podem ser uma simples moldagem de borracha em forma de taça, suficientemente flexível para proporcionar um encaixe individual. Elas podem ter uma simples tira elástica ao redor da cabeça ou serem seguras contra o rosto pelo passageiro.

Todas as máscaras precisam ser mantidas limpas. Isto reduz os perigos de infecção e prolonga a vida das máscaras.

Limpa-se as máscaras com água e sabão, a seguir, enxagüando com água limpa. Se um microfone estiver instalado, usa-se um esfregão limpo, em vez de água corrente para limpar a solução de sabão.

A máscara precisa também ser desinfectada. Uma almofada de gaze ensopada em uma solução de água com mertiolate pode ser usada para esfregar a máscara por fora.

Essa solução deverá conter 1/5 (um quinto) de uma colher de chá de mertiolate por uma litro de água. Limpa-se a máscara com um pano e ar secos.

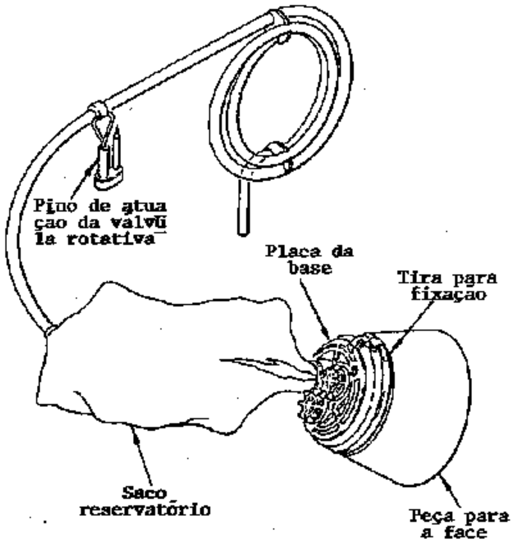


Figura 14-61 Máscara de oxigênio de passageiro.

ABASTECIMENTO DO SISTEMA DE OXIGÊNIO GASOSO

Os procedimentos para o abastecimento do sistema de oxigênio gasoso depende do tipo de sistema.

Antes do carregamento do sistema da aeronave, consulta-se o manual do fabricante.

Precauções, tais como, limpar a conexão da mangueira antes do acoplamento à válvula de enchimento da aeronave, evitar o sobreaquecimento causado pelo carregamento rápido, abrindo vagarosamente as válvulas do cilindro, e checando freqüentemente as pressões, durante o carregamento, devem ser consideradas.

O tipo de oxigênio a ser usado, as precauções de segurança, os equipamentos a serem usados, e os procedimentos para o enchimento e teste do sistema precisam ser observados.

O oxigênio gasoso usado nas aeronaves é um tipo especial de oxigênio, praticamente não contém vapor d'água e tem no mínimo 99,5% de pureza. Enquanto outros tipos de oxigênio (hospitalar e soldagem), podem ser suficientemente puros, eles normalmente possuem água, que poderá congelar e bloquear o sistema de tubulação de oxigênio, especialmente em grandes altitudes.

O oxigênio gasoso é geralmente apresentado em garrafas de alta pressão com 220 a 250 pés cúbicos. As garrafas são identificadas por uma cor verde-escura, com uma faixa branca pintada ao redor da parte superior do cilindro. As palavras "Oxigênio de Aviação" são também gravadas em letras brancas ao longo do comprimento do cilindro.

Segurança com o sistema de oxigênio

O oxigênio gasoso é muito perigoso e precisa ser carregado apropriadamente. Isto pode causar aos materiais inflamáveis queimas violentas e constantes explosões. Abaixo, estão listadas algumas medidas de precaução a serem seguidas:

(1) Etiquetar todos os cilindros que tenham vazamento nas válvulas ou conexões;

(2) Não usar jatos de oxigênio gasoso para tirar poeiras, limpar peças etc.;

(3) Retirar óleos e graxas de perto do equipamento de oxigênio;

(4) Não carregar o sistema de oxigênio dentro do hangar, porque aumentará as chances de fogo;

(5) Não abrir as válvulas de um sistema de oxigênio quando houver, por perto, chamas , faíscas elétricas ou alguma outra fonte que possa produzir uma ignição do sistema; e

(6) Proporcionar segurança para todas as garrafas quando estiverem em uso.

Transporte do oxigênio gasoso

Existem diversos tipos de transporte em uso. Cada sistema de recarregamento contém cilindros de reserva, vários tipos de válvulas e uma tubulação que conecta os cilindros de alta-pressão para um mecanismo purificador.

No mecanismo purificador, a umidade é removida do oxigênio. Partículas grossas são retiradas no filtro antes da válvula de redução, que tem um parafuso de ajuste da pressão de escape. Essa pressão é descarregada dentro de um tubo flexível, que conecta a válvula de carregamento ao adaptador.

A válvula de carregamento controla a circulação do oxigênio da carreta de abastecimento e, as conexões do equipamento de recarga, para a válvula de enchimento da aeronave.

Em muitas aeronaves um aviso está colocado ao lado da válvula de enchimento, e mostra as pressões de carregamento em função da temperatura ambiente.

É muito comum ter uma placa de aviso, proibindo o uso de óleo ou graxa nas conexões de enchimento. Os equipamentos de oxigênio em terra serão mantidos com os padrões de limpeza compatíveis com o sistema da aeronave.

Teste de vazamento do sistema de oxigênio gasoso

Esse teste é realizado em diferentes prazos, dependendo das inspeções requeridas para cada tipo de aeronave. O sistema precisa estar frio, normalmente 1(uma) hora após o carregamento, para que se façam os registros das pressões e temperaturas. Após várias horas, os registros são anotados novamente. Alguns fabricantes recomendam um período de espera de 6 horas e outros de 24 horas. As pressões anotadas são então corrigidas para uma variação na temperatura antes do carregamento.

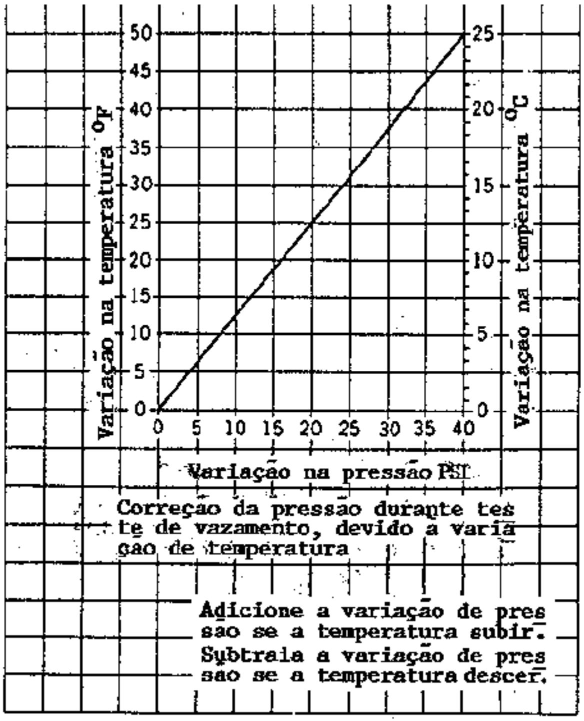


Figura 14-62 Gráfico de correção Pressão/Temperatura.

A figura 14-62 é um gráfico típico encontrado no manual de manutenção para auxiliar nas correções das pressões/temperatura. Como exemplo do uso do gráfico, suponhamos que o sistema de oxigênio tenha sido recentemente carregado.

Uma hora mais tarde, temos no indicador de pressão do oxigênio, a pressão de 425 P.S.I. a uma temperatura de 79º F.

Pela referência da figura 14-57, podemos ver que um aumento de 7º de temperatura causou um acréscimo de 5 P.S.I., fazendo com que a pressão lida no instrumento fosse de 430 P.S.I.

Quando o sistema está perdendo oxigênio através de vazamento, a leitura do instrumento seria bem menor do que o mostrado no gráfico de correção de pressão/temperatura

O vazamento poderá ser detectado, ouvindo o ruído de gás escapando, caso contrário, será necessário um teste de sabão em todas as linhas e conexões, com um pano embebido em água com sabão, ou um material especial para teste de vazamento.

Para fazer esse teste, aplicamos a solução de sabão nas áreas de suspeita de vazamento. Verificamos se existem bolhas; e fazemos uma solução suficientemente densa para aderir aos contornos das conexões.

Qualquer vazamento pequeno precisa ser encontrado e reparado. Um pequeno vazamento pode não causar problemas, porém, se os vazamentos continuam por um período grande de tempo, o ambiente e a atmosfera podem ficar saturados.

Tais condições são perigosas, porque pessoas podem não estar cientes que existe uma atmosfera enriquecida com oxigênio. Esta condição quase sempre está presente em áreas pouco ventiladas.

Nenhuma tentativa deverá ser feita para vedar adequadamente o vazamento, enquanto o sistema é carregado.

Drenagem do sistema de oxigênio

Quando é necessário drenar o sistema, usa-se um adaptador na válvula de enchimento abrindo as válvulas de corte. Não se drena o sistema muito rapidamente, pois isto causará condensação dentro do sistema.

Um método alternativo de drenagem do sistema é abrir a válvula de emergência no regulador de fornecimento de oxigênio.

Este trabalho é feito numa área completamente ventilada, observando as precauções contra incêndio.

Limpeza do sistema de oxigênio

A superfície externa dos componentes do sistema, tais como linhas, conexões, suportes dos montates, é mantida sempre limpa e livre de corrosão e contaminação de óleo e graxa. Como agente de limpeza, usamos álcool etil-anídrico (sem água), álcool isopropílico (fluido antigelo) ou qualquer outro produto aprovado.

Se as mangueiras da máscara do regulador estiverem contaminadas com óleo ou graxa, elas deverão ser trocadas.

Produtos de limpeza para o sistema de oxigênio

Existe uma fórmula de limpeza aprovada para uso no sistema de oxigênio. Esta mistura de hidrocarboneto fluoretado e cloretado (FREON) e álcool isopropílico é segura para a limpeza dos componentes do sistema de oxigênio da aeronave, para enxaguar, jatear e limpar as linhas de oxigênio. O contato com a pele e a inalação prolongada de vapores devem ser evitados.

Purificação do sistema de oxigênio

Um sistema de oxigênio precisa ser purificado se: (1) for esvaziado e não carregado dentro de 2 (duas) horas; (2) algumas linhas ou componentes forem trocados, requerendo drenagem ou abertura do sistema por mais de duas horas; ou (3) se houver suspeita de que o sistema foi contaminado.

A principal causa de contaminação no sistema é a umidade, ela que pode surgir por causa da umidade no equipamento de carregamento. Em tempo muito frio, a pequena quantidade de umidade contida na garrafa de oxigênio pode causar contaminação, devido a repetidas cargas.

Embora a entrada de umidade no sistema de oxigênio da aeronave possa ser consideravelmente reduzida pelo uso correto dos procedimentos de carga, a condensação acumulada no sistema não pode ser inteiramente evitada. Existem casos, onde sistemas de oxigênio, não usados por longos períodos, têm desenvolvido um odor não agradável, e que necessita ser purificado para remover a umidade do sistema.

O procedimento para purificar pode variar com cada modelo de aeronave. Geralmente, existe na aeronave linhas de carregamento e de distribuição, conectadas comumente a uma garrafa. O sistema pode ser purificado pelo enchimento do sistema com o oxigênio e então drená-lo pelo menos em três horas.

Na aeronave onde há linhas de carregamento conectadas no final da garrafa, e linhas de distribuição conectadas ao lado oposto, purifica-se o sistema da seguinte maneira: com todas as válvulas reguladoras de emergência abertas, pressuriza-se o oxigênio a uma pressão de 50 p.s.i., nas válvulas de carregamento do sistema durante um mínimo de 30 minutos. Este serviço é feito numa área bem ventilada, e as precauções de incêndio são observadas.

O nitrogênio seco e/ou ar seco, também podem ser usados para purificar o sistema de oxigênio. Todas as linhas abertas precisam ser lacradas após o uso, e as linhas do sistema precisam estar purificadas do nitrogênio para o uso com oxigênio.

PREVENÇÃO CONTRA FOGO E EXPLOSÃO DO OXIGÊNIO

Muitos materiais, particularmente óleos, graxas e materiais não-metálicos, são prováveis de queimar quando expostos ao oxigênio a baixa pressão. Para se evitar fogo, ou uma explosão, é essencial que o equipamento todo de oxigênio esteja limpo e livre de óleo e graxa.

A explosão ou o fogo no oxigênio depende da combinação de oxigênio, material combustível e calor. O perigo de ignição está na razão direta da concentração de oxigênio, da natureza de combustão do material exposto ao oxigênio, e a temperatura do oxigênio e do material. O oxigênio sozinho não queima, porém mantém e intensifica o fogo com qualquer material combustível.

Quando se trabalha com sistema de oxigênio, é essencial que as atenções e precauções dadas ao manual de manutenção da aeronave sejam cuidadosamente observadas.

Em geral, antes de algum trabalho no sistema de oxigênio, as seguintes precauções de fogo devem ser tomadas:

Providenciar adequados equipamentos de combate a incêndio;

Avisos de “NÃO FUMAR”;

Evitar testes de sistemas elétricos e equipamentos rádio da aeronave;

Manter todas as ferramentas e equipamentos de oxigênio livres de óleo ou graxa.

Manutenção e inspeção do sistema de oxigênio

A manutenção e inspeção do sistema de oxigênio deve ser cumprida de acordo com as medidas de precaução, e algumas instruções do manual do fabricante.

1 - Nunca tentar fazer manutenção antes do suprimento de oxigênio estar fechado;

2 - Os encaixes devem ser desapertados vagarozamente, para permitir a dissipação da pressão residual;

3 - Abrir válvulas ou tampas de todas as linhas imediatamente;

4 - Não usar fitas para selar aberturas: usar tampas ou válvulas apropriadas para a situação;
5 - Manter pelo menos 2 polegadas de espaço livre entre as linhas de oxigênio e peças ou equipamentos móveis dentro da aeronave, para prevenir a possibilidade de danos nas respectivas linhas;

6 - Manter pelo menos 2(duas) polegadas de espaço livre entre as linhas de oxigênio e toda a fiação elétrica da aeronave;

7 - Prover adequado espaço entre as linhas de oxigênio e todos os dutos quentes, conduítes e equipamentos, para prevenir aquecimento do sistema de oxigênio.

8 - Manter pelos menos 2 polegadas de espaço entre as linhas de oxigênio e todo óleo combustível, hidráulico ou outras linhas de fluidos, para prevenir contaminação.

9 - Não usar lubrificante, a menos que a especificação seja aprovada para o uso em sistema de oxigênio.

10 - Uma inspeção da pressão e vazamentos deve ser verificada constantemente, quando o sistema for aberto para a manutenção.

CAPÍTULO 10

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO MOTOR

INTRODUÇÃO

As operações de revisão e manutenção são executadas nos grupos motopropulsores de aviões, a intervalos especificados. Esses intervalos são normalmente estipulados pelo número de horas em que os motores foram operados.

Testes e experiências têm mostrado que a operação, além deste período de tempo, será ineficiente e danosa, pois certas partes serão desgastadas além de seus limites. Para que um motor revisado fique como um novo, partes danificadas devem ser detectadas e separadas, ou trocadas durante a revisão completa do motor.

O único meio para se detectar tudo isto é a inspeção detalhada de todas as peças durante a desmontagem do motor.

A inspeção não pode ser superficial, sem cuidado ou incompleta.

REVISÃO DOS MOTORES ALTERNATIVOS (CONVENCIONAIS)

Cada motor fabricado possui tolerâncias de fabricação, com as quais suas partes devem estar em conformidade. Auxílios gerais de instruções determinam as tolerâncias das partes. Entretanto, em alguns casos, a decisão final é deixada para o mecânico; ele deve determinar se a peça é reparável e refugável, ou se ainda poderá voltar a funcionar.

Os conhecimentos dos princípios de operação, esforços e solicitações mecânicas são essenciais a este tipo de decisão. Quando um mecânico decide pela revisão completa de um motor, deve certificar-se de ter usado o método de trabalho, técnica e práticas aceitáveis pelo FAA.

Revisão Parcial

Motores modernos de aeronaves são construídos com materiais duráveis, de modo que a revisão parcial (*Top Overhaul*) não vem sendo mais utilizada, ela significa revisão de todas as partes do motor no topo do cárter de força, sem desmontagem completa do motor. Isto inclui remoção de unidades assim como: coletor de escapamento, cablagem de ignição e dutos de indução necessários a remoção de cilindros.

A revisão atual consiste de recondicionamento de pistões, cilindros, mecanismo de comando de válvulas, troca de guias de válvulas e anéis de segmento, se necessários. Esta revisão não é recomendada por todos os fabricantes de motores.

Se o motor sofreu algum tipo de esforço que requeira maior atenção, ele deve ser desmontado e verificado.

REVISÃO MAIOR

Este tipo de revisão consiste de uma completa desmontagem e recondicionamento do grupo motopropulsor.

O período de revisão completa de um motor geralmente é determinado pelo fabricante do mesmo, ou por um máximo de horas de operação entre as revisões, aprovado pelo FAA.

A intervalos regulares, um motor deve ser completamente desmontado, totalmente limpo e inspecionado.

Cada parte deve ser revisada de acordo com as instruções e tolerâncias do motor envolvido. As instruções gerais serão descritas nesta seção.

Todo motor que tenha sido completamente desmontado logo de início, deve sofrer uma verificação rigorosa no eixo principal (eixo de manivelas) e no eixo da hélice quanto a empenos, desgaste, etc.

Qualquer dúvida quanto as condições desses eixos, inclusive quanto a empenos fora de limites, exige a troca dos mesmos.

Desmontagem

Mais do que uma inspeção visual logo após a desmontagem, todas as partes individualmente devem ser marcadas sobre uma bancada, a medida em que elas são removidas. Todas as peças devem ser guardadas com cuidado para evitar perdas e danos.

Peças pequenas, porcas, parafusos, arruelas, etc., devem ser colocadas em um recipiente durante a operação de desmontagem.

Outras práticas devem ser observadas durante a desmontagem:

(1) Dispor de todos os dispositivos de segurança durante a desmontagem. Nunca reaproveitar arame de freno, contra-pino, etc.

(2) Todos os fixadores, prisioneiros, conexões danificadas, etc., devem ser marcados para evitar falhas de inspeção ou passarem despercebidos.

(3) Sempre usar ferramentas adequadas para cada serviço, preferencialmente usar ferramentas de encaixe, soquetes, etc. Sempre que houver ferramentas especiais usá-las, ao invés de ficar improvisando.

(4) Drenar o óleo de lubrificação do motor e remover os filtros. O óleo deve ser drenado para um recipiente através de um pano limpo, para que se verifique se há partes metálicas importantes no óleo a serem avaliadas.

(5) Antes da desmontagem, lavar as partes externas do motor.

--Inspeção

A inspeção das partes do motor, durante uma revisão completa, é dividida em três categorias:

(1) visual.
(2) magnética.
(3) dimensional.

Os dois primeiros métodos são para determinar falhas estruturais nas peças, enquanto o último detalha as medidas e forma das peças.

Falhas estruturais podem ser detectadas através de diversos processos. Peças de aço não-austenítico podem ser examinadas pelo processo de partículas magnéticas. Outros métodos tais como raio-x e raio gama, também podem ser usados.

A inspeção visual deve ser precedida de qualquer outro método de inspeção. Algumas peças não devem ser limpas antes de uma preliminar inspeção visual, uma vez que, frequentemente, resíduos de partes metálicas podem facilitar a inspeção/detecção de falhas internas do motor.

Vários termos são usados para descrever os defeitos detectados nas peças dos motores. Alguns desses termos e definições são:

(1) Abrasão - uma área desgastada ou com marcas, causadas por objetos estranhos entre as partes móveis ou superfícies.

(2) Mossas - uma ou mais depressões que aparecem usualmente nas pistas dos rolamentos, causadas por altas cargas estáticas ou esforços excessivos praticados durante a remoção ou instalação.

Mossas podem ser circulares ou semi-esféricas devido a impressão deixada pelo contato de esferas ou roletes dos rolamentos.

(3) Queimadura - peças ou superfícies danificadas por excesso de calor. Isto poderá ser causado por montagens impróprias, falhas de lubrificação ou sobretemperatura operacional.

(4) Brunidura - polimento de uma superfície pelo contato de deslizamento suave com outra superfície mais dura. Usualmente sem remoção de metal.

(5) Rebarba - projeção de metal reto ou circular geralmente ocasionado pelo processo de usinagem, broqueamento, serragem, furação, aplainamento, etc.. Apresenta-se com uma protuberância de metal nas bordas das peças.

(6) Atrito - descrito como uma condição causada pela ação do roçamento entre duas partes, sob ligeira pressão, a qual poderá resultar em desgaste.

(7) Cavaco - descrito como sobras de corte de metal, liberação de lascas, etc, causados pelo processo de usinagem ou esforços excessivos concentrados.

(8) Corrosão - perda de metal pelo processo químico ou eletroquímico. Os resíduos da corrosão são geralmente fáceis de serem removidos por processos mecânicos. A ferrugem é um exemplo de corrosão do ferro.

(9) Rachadura - uma parcial separação de material, usualmente causada por vibração, sobrecarga, estresse, defeito ou fadiga. A profundidade poderá ser de alguns milésimos para a totalidade da espessura da peça.

(10) Corte - perda de metal, usualmente por uma apreciável profundidade ao longo de uma área, por meios mecânicos pelo uso de lâminas de serra, cinzel, tesouras, guilhotina ou até por cantos vivos, agudos, etc.

(11) Erosão - perda de metal da superfície pela ação mecânica de objetos estranhos como abrasivos, jato de areia fina, etc. A área erudida será áspera e poderá estar alinhada na direção em que o material abrasivo atingiu a peça.

(12) Delaminação - flocos de metal que se desprendem da superfície metalizada ou pintada, usualmente causado por falha da metalização, galvanização ou ainda por excesso de carga.

(13) Serrilhamento - uma condição de erosão de superfície, causada por pequenos movimentos entre duas peças que estão montadas juntas e sob considerável pressão.

(14) Sulqueamento - feitura de sulcos numa superfície acabada de uma peça, devido a vibração e fricção, causado pelo pequeno movimento relativo de duas superfícies de peças sob contato de alta pressão, caracterizando um desgaste severo.

(15) Cinzelamento - uma condição de sulqueamento, na qual um deslocamento de metal tenha ocasionado um arrancamento do mesmo.

Geralmente acontece quando um pedaço do próprio metal, ou outro corpo estranho se posiciona entre as partes móveis que trabalham muito próximas.

(16) Ranhuramento - canal de forma arredondada, geralmente causado por falha de alinhamento das partes móveis.

(17) Inclusão - presença de material estranho impregnado dentro de uma porção de metal, introduzido durante a fabricação de hastes, barras, tubos – quando em movimento ou durante o forjamento.

(18) Entalhado - superfície com entalhes nítidos, denteamento causado por impacto de objeto estranho. O material sofre deslocamento; geralmente na forma de "v", porém raramente é separado.

(19) Martelamento - uma série de depressões em forma de escamas numa superfície.

(20) Transferência - um metal passa de uma superfície para outra, tendo como causa usual o atrito entre as duas superfícies inadequadamente lubrificadas.

(21) Picado - presença de pequenas e irregulares cavidades produzidas pela corrosão ou danos; ação de picar ou corroer.

(22) Arranhado - riscado, risco profundo ou riscas, feitos durante a operação de usinagem de uma peça, produzidos por bordas pontudas de partículas estranhas.

(23) Raspado - riscado, arranhado, estriado, esfolado. Marca rasa e estreita ou marcas causadas pelo movimento de um objeto agudo ou partícula sobre uma superfície; o material exposto não é removido.

(24) Descoloração - uma mudança de cor localizada, indicando uma nítida diferença comparada com a área circundante.

(25) Recalcamento - deslocamento de material, além do contorno normal ou na superfície. Geralmente não apresenta perda de metal.

Defeitos em partes não magnéticas podem ser encontrados através de uma cuidadosa inspeção visual, assim como técnicas adequadas. Se houver desconfiança de que existe uma rachadura numa peça de alumínio, é preciso limpá-la por meio de uma escova, ou usando material abrasivo, cuidadosamente, para evitar arranhar a superfície. Cobre-se a peça com uma solução de 1 ¼ lb de hidróxido de sódio e uma pinta de água a temperatura ambiente. A peça é enxaguada com água, após a mesma ter ficado em contato com a solução por um minuto.

Neutraliza-se a peça com uma solução de uma parte de ácido nítrico e três partes de água aquecida a 100 ºF. A peça é mantida nesta solução até que o depósito negro seja dissolvido. Seca-se a peça com ar comprimido. Se existir uma rachadura, as bordas ficarão escurecidas após este tratamento, auxiliando a sua detecção. Para peças de magnésio, uma solução de 10% de ácido acético, em temperatura ambiente, pode ser aplicada por no máximo um minuto. A peça deve ser então enxaguada com a solução de uma onça de amônia comum em um galão de água.

Examina-se todas as engrenagens quanto a evidência de corrosão ou desgaste excessivo. Estas condições são particularmente importantes quando ocorre nos dentes. Pontos de desgaste profundos nesta área são motivos de rejeição da engrenagem. As superfícies das buchas de todas as engrenagens devem estar livres de rachaduras profundas; e pequenos arranhões podem ser removidos com uma lixa fina.

Todas as superfícies das buchas devem ser examinadas quanto a arranhões profundos, sulcos e desgastes. Determinados arranhões e riscos brilhantes na superfície das buchas de alumínio não prejudicam, e não devem ser considerados como causa de rejeição da peça, desde que as folgas estejam dentro dos limites das tabelas de tolerância do manual do fabricante. Mesmo que a peça esteja dentro dos limites de tolerância especificada, ela não é satisfatória para a reinstalação no motor, a menos que uma inspeção mostre que a peça esteja livre de outros defeitos.

Rolamentos de esfera devem ser inspecionados visualmente quanto ao livre giro, pontos de deformação nas esferas, delaminação ou ainda sulcos na parte externa das pistas. Todos os suportes de mancais devem ser verificados quanto a arranhões, sulcos, desalinhamento e condição de ovalização.

Eixos, pinos, etc. devem ser checados quanto a deformações, empenos e outros. Isto pode ser feito utilizando-se blocos padrão de oficina de ajustagem e um relógio comparador.

Superfícies desgastadas, corroídas ou com problemas em áreas submetidas a grandes esforços, podem causar falhas definitivas nas peças envolvidas.

As seguintes áreas devem ser cuidadosamente examinadas quanto a evidência de corrosão:

(1) Superfícies internas dos pinos dos pistões.
(2) Os filetes das bordas do eixo de manivelas e as superfícies dos pinos de mancal.
(3) As pistas dos rolamentos de escora axial.

Se existir corrosão em qualquer das superfícies mencionadas que não possam ser removidas por polimento ou outro meio abrasivo, a peça normalmente é rejeitada.

Fixadores rosqueados, ou conectores, devem ser inspecionados quanto ao estado das roscas. Roscas mutiladas não podem ser toleradas; a peça deve ser rejeitada, embora pequenos defeitos e rebarbas possam ser removidos com lixa fina ou outro material abrasivo. Se a peça apresentar distorções, danificações ou deformações causadas por aperto excessivo ou uso de ferramentas inadequadas, ela deve ser substituída por uma nova.

Limpeza

Após inspecionar visualmente as concavidades do motor quanto a depósitos de partículas metálicas, é importante limpar suas peças para facilitar a inspeção.

Os dois processos de limpeza para as peças do motor são:

(1) Desengraxamento para remoção de sujeira e fuligem.

(2) Remoção dos depósitos de carvão mais concentrados por descarbonização, escovamento, raspagem ou jateamento.

O desengraxamento pode ser feito por imersão ou jateamento da peça com solvente suave comercial.

Extremo cuidado deve ser tomado ao se usar qualquer solução composta de água misturada com desengraxante que contenha componentes cáusticos. Tais produtos, além de serem potencialmente corrosivos ao alumínio e ao magnésio, podem impregnar-se no metal e causar espuma no óleo quando o motor voltar a funcionar.

Quando for utilizada esta solução, é imperativo que as peças sejam enxaguadas total e completamente em água limpa, e aquecida após o desengraxamento.

Após ser efetuada a limpeza, por qualquer um dos métodos acima, protege-se imediatamente as superfícies das peças, através da aplicação de óleo lubrificante sobre as mesmas.

Enquanto a solução desengraxante remove sujeira, graxa e fuligem mais leve, depósitos de carvão mais densos ficarão ainda remanescentes em muitas superfícies internas. Para a remoção destes depósitos mais aderentes, deixa-se a peça de molho em um tanque contendo uma solução descarbonizante bem aquecida.

Uma grande variedade de agentes descarbonizantes comerciais estão disponíveis. Descarbonizantes, como as soluções desengraxantes previamente mencionadas, são geralmente de duas categorias: as solúveis em água e as de hidrocarbonetos. As mesmas precauções, que dizem respeito ao uso da solução desengraxante solúvel em água, são aplicáveis aos descarbonizantes solúveis. Extremos cuidados devem ser tomados ao se utilizar soluções descarbonizantes em magnésio fundido.

Evita-se a imersão simultânea de peças de magnésio e aço no mesmo tanque de descarbonização, porque esta prática frequentemente resultará em danos às peças de magnésio por corrosão.

A descarbonização normalmente ainda manterá uma boa parte de depósitos de carvão após o desengraxamento; entretanto a remoção completa requererá escovamento, raspagem ou lixamento. Em todas essas operações, toma-se cuidado para evitar danos em superfícies usinadas; principalmente com o manuseio de escova de aço e raspadeiras metálicas, que nunca devem ser usadas em buchas ou superfícies de contato. Nas operações de jateamento de peças, segue-se as recomendações do fabricante quanto ao tipo de material abrasivo a ser utilizado, tais como: areia, arroz, trigo, pelotinhas de plástico, e etc., que são exemplos de materiais abrasivos usados nas operações de jateamento de peças.

Todas as superfícies usinadas devem ser isoladas adequadamente; e todas as aberturas vedadas antes do jateamento. Exceção a isto são as sedes das válvulas que devem ser deixadas desprotegidas, quando for feito o jateamento da câmara de combustão da cabeça do cilindro.

É sempre vantajoso jatear as sedes das válvulas, uma vez que este processo corta a vitrificação, que tende a se formar (particularmente nas sedes das válvulas de escapamento), facilitando o subsequente recondicionamento das sedes das válvulas. As canaletas dos anéis de segmento dos pistões podem ser jateadas, contudo, extremo cuidado deve ser tomado para evitar remoção de metal das partes inferior e lateral.

Passagens de óleo nos cárteres ou em outras peças devem ser tapadas com tampões de borracha ou plástico durante o jateamento, a fim de proteger contra a infiltração de objetos estranhos. A solução descarbonizante geralmente remove a maior parte dos vernizes das superfícies externas; o verniz residual deverá ser removido por jateamento, particularmente entre as cavidades das aletas de refrigeração dos cilindros.

Concluindo a operação de limpeza, enxagua-se as peças em solvente de petróleo, secando e removendo qualquer partícula de carvão por jato de ar, e aplicando uma camada de óleo protetor.

Reparo e Substituições

Danos tais como: mossas, arranhões, rebarbas, sulcos, etc., podem ser removidos por meio de diversos materiais abrasivos. Seguindo a alguns reparos desse tipo, a peça deve ser limpa cuidadosamente, de modo que todo esse material abrasivo seja removido. A seguir, monta-se as peças casadas, verificando se as folgas não foram muito alteradas.

Superfícies flangeadas, empenadas, deformadas ou entalhadas com mossas podem ser reparadas, lapidando-as numa superfície plana. Novamente a peça deve ser limpa para que se tenha certeza de que todo o material abrasivo fora removido.

Roscados defeituosos, algumas vezes, podem ser reparados por uma leve passagem de uma tarracha ou macho para rosca, conforme o caso.

Pequenas depressões podem ser removidas satisfatoriamente com limas ou pedras abrasivas.

Tubos rosqueados não devem ser limpos com machos para rosca; esta prática poderia resultar num furo rosqueado com sobre-medida.

Se arranhões ou sulcos forem removidos da superfície de uma bucha, ela deverá receber um acabamento com discos de couro.

Geralmente peças não soldadas devem ser usadas no lugar de peças soldadas, e muitas vezes com fadiga avançada.

Peças soldadas podem ser usadas desde que o reparo soldado não afete a aeronavegabilidade do motor. Uma peça pode ser soldada quando:

(1) A solda é de localização externa e poderá ser inspecionada facilmente;

(2) A peça tenha sido rachada ou quebrada por esforços não usuais, encontrados na operação normal;

(3) Uma peça nova de um modelo obsoleto de motor não é encontrada;

(4) A experiência do soldador e o equipamento usado poderão assegurar uma solda de primeira qualidade, assim como a restauração do tratamento térmico original das peças.

Peças menores, não sujeitas a altas solicitações mecânicas, podem ser seguramente reparadas com o processo de soldagem. Pequenos suportes, fechos de capotas, aletas de cilindros, tampas de caixas de balancins e várias outras peças originalmente soldadas estão nesta categoria.

As peças soldadas devem passar por um processo de normalização de tensões após a soldagem; entretanto, antes de soldar uma peça do motor, verifica-se no manual do fabricante as instruções de aplicabilidade dos reparos soldados.

Peças que requerem o uso de pintura para proteção ou aparência devem ser repintadas de acordo com as recomendações do fabricante. A título de exemplo, alguns procedimentos, como as peças de liga de alumínio, deverão ter a superfície exterior original exposta e polida ligeiramente para proporcionar uma base própria para pintura.

Nota-se que as superfícies a serem pintadas devem estar completamente limpas. Cuidados devem ser tomados para se evitar pinturas em partes de encaixe. Partes externas de peças de alumínio devem receber, inicialmente, uma camada fina de tinta de base (cromato de zinco). Cada camada deve secar 2 (duas) horas em ar seco ou numa estufa a 177 ºC (350 ºF) por meia hora. Após a secagem da tinta de base, a peça deve ser pintada com tinta esmaltada para motor, a qual deve secar numa estufa a 82 ºC (180 ºF) por uma hora.

Partes de alumínio, onde a tinta não tenha sido removida, podem ser pintadas sem o uso de tinta de base, desde que não haja partes expostas.

Peças que necessitam de um acabamento negro lustroso devem receber uma camada de base de cromato de zinco, e então uma pintura brilhosa de esmalte negro. Cada camada deve secar em estufa por 1 ½ hora a 177 ºC (350 ºF). Se uma estufa não estiver disponível, a secagem poderá ser conseguida com ar seco, entretanto o acabamento será de qualidade inferior.

Toda a aplicação de tinta, acima descrita, deverá ser realizada através do processo de borrifamento; entretanto, se o uso do pincel é necessário, evita-se pontos com acúmulo de tinta. As peças de magnésio devem ser limpas com dicromato antes da pintura. Este tratamento consiste na limpeza de todos os traços de graxa e óleo da peça, usando-se um desengraxante neutro não corrosivo seguido de uma lavagem, após a qual e peça deve ser imersa pelo menos 45 minutos numa solução de dicromato quente (¾ de libra de dicromato de sódio para um galão de água de 180 a 200 ºF), então a peça deve ser lavada em água fria corrente e mergulhada em água quente para depois secar. Logo após, a peça deverá ser pintada com tinta de base e esmalte para motor, da mesma forma como indicado para peças de alumínio.

Todos os parafusos, estojos, fixadores, e etc. que estejam empenados, quebrados ou frouxos devem ser trocados. Após a remoção de um prisioneiro (estojo), o furo roscado é examinado quanto as condições gerais da rosca e do próprio furo. Se for necessário um retrabalhamento no furo roscado, também será necessário o uso de prisioneiros com sobre-medida. Prisioneiros quebrados, faceados com a carcaça, devem ser removidos com extratos especiais, tomando-se o cuidado para não danificar a rosca. Durante a troca de prisioneiros, as roscas dos mesmos são borrifadas com um composto antigripante.

RECONDICIONAMENTO DO CONJUNTO DO CILINDRO

O conjunto do cilindro e pistão é inspecionado de acordo com os procedimentos contidos no manual do fabricante do motor, cartas, tabelas e boletins.

Um procedimento geral para inspeção e recondicionamento de cilindros será discutido nas seções seguintes, – para proporcionar entendimento das operações envolvidas.

Cabeça do cilindro

Inspeciona-se a cabeça do cilindro quanto a rachaduras internas e externas; e os depósitos de carvão e tinta devem ser removidos. Rachaduras exteriores aparecerão nas aletas de refrigeração, onde houver danificações causadas por ferramentas ou por contato com outras peças, por falta de manuseio cuidadoso.

Rachaduras próximas das bordas das aletas de refrigeração não são danosas desde que as partes danificadas tenham sido removidas, e um retrabalhamento de contornos tenha sido realizado com sucesso. Rachaduras na base das aletas implicam em rejeição do cilindro. Também podem aparecer rachaduras nas caixas dos balancins.

Rachaduras interiores quase sempre aparecem nas sedes das válvulas, ou nas buchas das velas (adaptadores) de ignição, estendendo-se completamente de um lado para o outro naqueles pontos.

Essas rachaduras são usualmente causadas pela instalação imprópria das sedes ou buchas. Usa-se uma luz forte para inspecionar as rachaduras (fissuras, etc.), investigando qualquer área suspeita; inclusive com a ajuda de lentes (lupas) ou até microscópio. Rachaduras em cabeça de cilindro de liga de alumínio geralmente apresentam um serrilhado devido a natureza granular do metal. – É importante não confundir as marcas de fundição ou escamas com rachaduras. Um dos melhores métodos de confirmação é usar o processo de inspeção por líquidos penetrantes (zyglo). Qualquer rachadura na cabeça do cilindro, exceto àquelas nas aletas de refrigeração que podem ser reparadas, é razão para rejeição do cilindro.

Inspeciona-se as aletas da cabeça do cilindro quanto a rachaduras laterais. Mossas nas aletas podem ficar, se não houver rachaduras. Onde estiver faltando pedaços das aletas, usina-se suavemente refazendo os contornos das bordas. A concentração de aletas quebradas numa determinada área irá causar falhas sérias, devido a pontos quentes locais. Aletas quebradas próximo a bucha de adaptação da vela, ou no lado de exaustão do cilindro, é obviamente mais danoso do que em outras áreas.

Quando removendo ou retrabalhando uma aleta de cilindro, as instruções e os limites do manual do fabricante são seguidos.

Todos os prisioneiros (estojos) da cabeça do cilindro são inspecionados quanto a fixação, alinhamento, danos nas roscas e o próprio comprimento. Ligeiros danos podem ser corrigidos com uma tarracha adequada. Os comprimentos dos prisioneiros devem ser corrigidos dentro de ± 1/32 (0,03125 de polegada) para permitir a instalação própria das porcas de trava ou de outro dispositivo de segurança.

As guias das válvulas devem estar limpas antes da inspeção, pois frequentemente resíduos de carvão penetram nas depressões de suas guias. Se uma guia de válvula, nestas condições, é recolocada em serviço, a crosta de carvão depositada resultará em prendimento da válvula. Acúmulos laterais de carvão, arranhões e áreas queimadas por dentro das guias de válvula; assim como desgaste e fixação devem ser minuciosamente inspecionados.

A maioria dos fabricantes de motores fornece gabaritos (calibres) para a verificação dos desgastes máximos permitidos às guias de válvulas. Este calibre não deve entrar na guia de válvula, seja qualquer uma das extremidades. Não se confunde este calibre com o calibre passa-não-passa, usado para controle de guias novas após o mandrilhamento.

Inspecionar os anéis das guias de válvula antes da retífica é mais uma maneira de determinar e corrigir qualquer picado, queimadura, arranhões ou outras falhas; assim como inspecionar as buchas de adaptação das velas quanto ao estado da rosca e a sua fixação; além de passar um parafuso de teste com as mesmas dimensões, através do furo da bucha da vela.

Frequentemente, a rosca interna da bucha apresenta queimaduras. Se mais do que um filete de rosca está faltando, a bucha deverá ser rejeitada. Um plug é instalado no furo roscado e a fixação da bucha é verificada. Inspeciona-se a base do eixo oscilante quanto a escórias, rachaduras, sobre-medidas ou ovalizações.

Os arranhões geralmente são causados devido ao movimento do eixo oscilante dentro do alojamento do mancal por excesso de folga, caso contrário o balancim estaria muito apertado no eixo.

Verifica-se o flange do cilindro quanto a perda de metalização, colocando o mesmo em um gabarito; e, também, verifica-se se o contato entre o flange e o gabarito ocorre em toda a periferia do flange. A magnitude da perda de material, caso exista, poderá ser testada usando-se um calibre de espessura. Um cilindro, cujo flange tenha um desgaste de metalização, deverá ser rejeitado.

Cilindros

O cilindro é inspecionado quanto a desgaste, usando um relógio comparador e um micrômetro interno. Na inspeção dimensional dos cilindros, verifica-se o seguinte:

(1) Conicidade máxima das paredes do cilindro
(2) Máxima ovalização
(3) Diâmetro interno
(4) Degrau (rebaixo)
(5) Ajuste entre o pistão e cilindro

Todas as dimensões envolvendo o diâmetro do cilindro devem ser feitas no mínimo em duas posições, no mesmo plano, a 90 ° entre elas.

Poderá ser necessário efetuar mais de duas medições para determinar o desgaste máximo. O uso do relógio comparador para verificação do furo do cilindro é mostrado na figura 10-1. A conicidade das paredes do cilindro é a diferença entre os diâmetros do fundo e do topo do cilindro.

O diâmetro do cilindro é geralmente maior no topo do que no fundo.

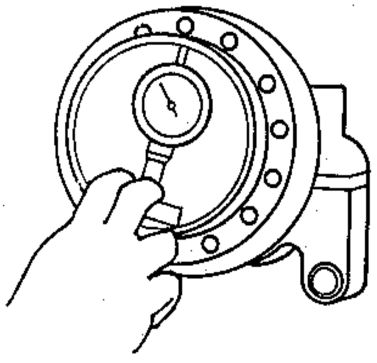


Figura 10-1 Verificação do diâmetro do cilindro.

A conicidade é causada pelo desgaste natural nos impactos gerados pela combustão, a parte superior do pistão é submetida a elevação de temperatura, de pressão e a uma atmosfera erosiva, maior do que na parte inferior, além de maior liberdade de movimento na parte superior.

Sob estas condições é que o pistão desgastará as paredes do cilindro. Na maioria dos casos, a conicidade provoca um rebaixo (degrau) na parede do cilindro (ver Figura 10-2), o qual deve desaparecer no recondicionamento.

Quando os cilindros são construídos com uma conicidade intencional, a medição da conicidade se torna mais complicada.

É necessário saber, exatamente, em que ponto as dimensões indicam desgaste ou conicidade de fabricação.

A conicidade pode ser medida em qualquer cilindro, por meio de um relógio comparador, desde que não haja um rebaixo (degrau) definido. O relógio tende a saltar no rebaixo, causando leituras imprecisas.

A medição quanto a ovalização é normalmente tomada no topo do cilindro, embora uma leitura também deva ser feita na camisa do cilindro para detectar mossas ou arranhões, causadas por falta de cuidado no manuseio ou montagem.

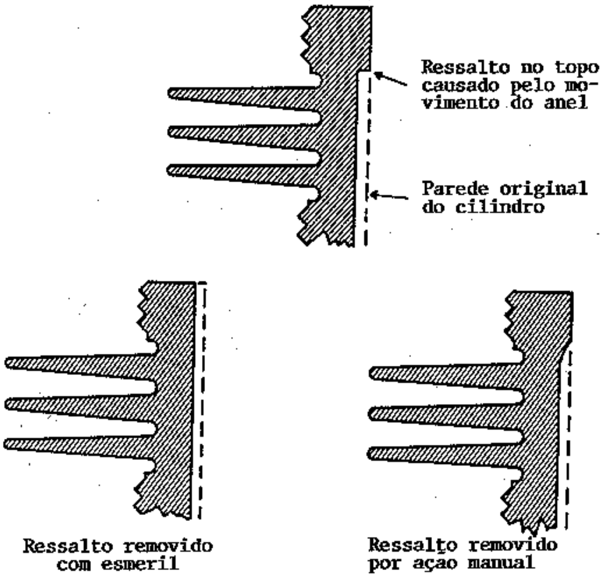

Ressalto no topo causado pelo movimento do anel
Parede original do cilindro
Ressalto removido com esmeril
Ressalto removido por açao manual

Figura 10-2 Ressalto ou degrau formado em um cilindro de motor.

Um rebaixo (degrau), figura 10-2, é formado no cilindro pelo desgaste causado pelos anéis do segmento. O maior desgaste ocorre no topo do limite de curso do anel (ponto morto alto do pistão). Este poderá causar danos ao pistão e aos anéis.

Caso tais rebaixos excedam as tolerâncias, deverão ser removidos pela retificação do cilindro ou pela raspagem manual, a fim de quebrar os cantos vivos.

Um rebaixo também poderá ser encontrado onde o anel inferior do pistão alcança o seu curso inferior do cilindro (ponto morto baixo). Esse rebaixo raramente ultrapassa os limites de desgaste; todavia, deverá ser verificado e avaliado.

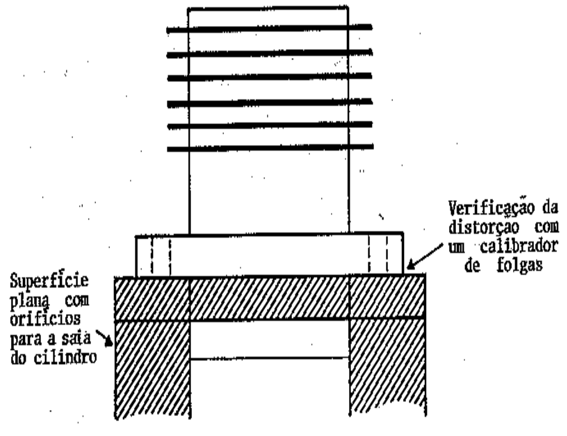

Verificação da distorçao com um calibrador de folgas
Superfície plana com orifícios para a saia do cilindro

Figura 10-3 Método de verificação da distorção do flange do cilindro.

Inspeciona-se as paredes dos cilindros quanto a arranhões, ponto de corrosão, etc. Pequenos defeitos dessa natureza podem ser removidos quando os anéis são lapidados. Com danificações mais extensas, o cilindro deve ser retificado ou mandrilhado; e se os danos forem de muita profundidade o cilindro deve ser rejeitado. Normalmente o fabricante tem um serviço de troca para cilindros danificados.

Válvulas e molas de válvulas

Removendo as válvulas da cabeça do cilindro, remove-se, também, os depósitos de carvão. As válvulas são examinadas visualmente quanto a danos físicos, ou danos causados por queimaduras ou corrosão.

Não se reutiliza válvulas que apresentem danificações dessa natureza. A face da válvula é verificada quanto a empenos e excentricidade (figura 10-4).

A espessura da cabeça da válvula é medida. Se a espessura for inferior ao limite especificado pelo fabricante, a mesma não deverá ser reutilizada.

A espessura da borda da cabeça poderá ser medida com suficiente precisão, usando-se um relógio comparador e uma placa de superfície plana.

Através de uma lente, examina-se a haste e a ponta da haste da válvula, a fim de detectar rachaduras, mossas ou outras falhas. Tais tipos de danos enfraquecem a válvula, tornando-a vulnerável a falhas mais sérias.

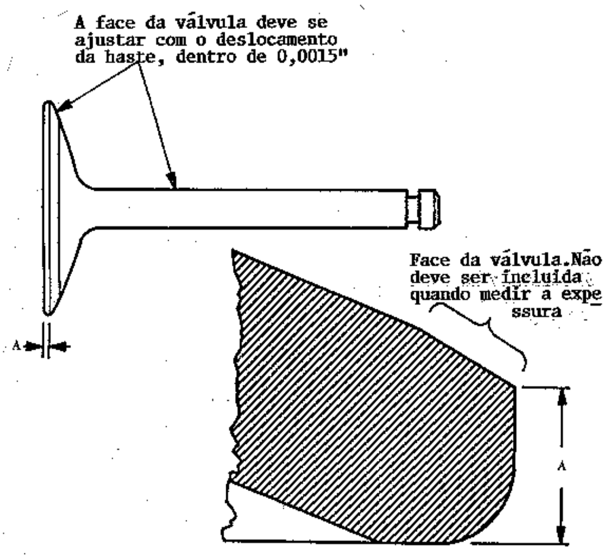

A face da válvula deve se ajustar com o deslocamento da haste, dentro de 0,0015"
A
Face da válvula.Não deve ser incluida quando medir a expessura
A

Figura 10-4 Válvula mostrando os locais de verificação de empeno e de espessura da borda.

Arranhões e mossas superficiais nas válvulas podem indicar rachaduras, devendo ser inspecionadas usando-se o método de partículas magnéticas ou líquidos penetrantes.

As áreas críticas das válvulas inclui a face e a ponta, ambas devem ser examinadas quanto a desgastes excessivos. Se um micrômetro for usado para verificação de alongamentos, serão encontrados diâmetros menores na haste junto ao gargalo da válvula. O diâmetro da haste da válvula é medido, verificando a folga entre a guia e a haste.

Pequenos picados nas sedes das válvulas saem normalmente com o esmerilhamento das faces. Inspeciona-se as válvulas quanto a alongamentos e desgastes, usando um micrômetro ou um gabarito de verificação de raios para válvulas (figura 10-5).

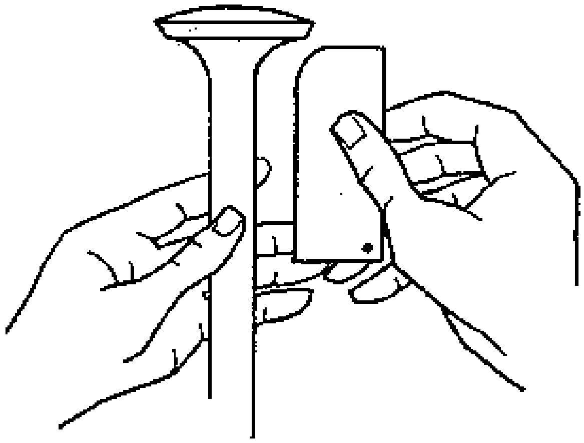


Figura 10-5 Verificação da dilatação da válvula com um calibre do fabricante.

As molas das válvulas são examinadas quanto a rachaduras, corrosão, extremidades partidas faltando pedaços e a sua tensão. Rachaduras podem ser identificadas visualmente ou pelo método de partículas magnéticas. A tensão da mola é verificada num aparelho próprio para isto.

A mola é comprimida até a altura total especificada pelo fabricante. O mostrador do teste deve indicar (em libras) a força necessária para comprimir a mola até a altura especificada pelo fabricante. A tensão indicada deve estar dentro dos limites especificados pelo fabricante.

Balancins e eixos

Deve-se inspecionar os balancins das válvulas quanto a rachaduras, desgastes, corrosão ou arranhões nas pontas; assim como verificar se as passagens de óleo estão desobstruídas.

Os eixos são inspecionados quanto as corretas dimensões com um micrômetro.

Os eixos dos balancins frequentemente são encontrados arranhados e até queimados, – devido ao giro excessivo na cabeça do cilindro. Também pode haver transferência de metal sobre o eixo (bronze das buchas dos balancins) para os eixos de aço.

Geralmente isto é causado por superaquecimento ou ajuste muito forte entre a bucha e o eixo do balancim; por isso as buchas dos balancins devem estar corretas quanto as medidas.

Frequentemente as buchas são arranhadas durante a desmontagem, portanto os furos de passagem de óleo devem estar alinhados. Nos motores que usam rolamentos nos balancins, ao invés de bucha, verifica-se se a pista externa não está girando no suporte do mancal; inspecionando as condições gerais de funcionamento dos rolamentos.

Ovalizações são geralmente causadas por válvula presa.

Se uma válvula prende, o eixo oscilante tende a se movimentar para cima e para baixo. Inspeciona-se quanto a ovalizações e sobremedida usando um relógio e um micrômetro.

Pistão e pino dos pistões

Os pistões são inspecionados quanto a rachaduras. Para facilitar, o pistão é aquecido cuidadosamente com um maçarico. Se houver alguma falha (fissura, etc.), o calor irá expandi-la e o óleo residual irá aflorar, a medida em que o pistão for limpo.

As rachaduras se iniciam mais facilmente nos pontos de maiores solicitações, por isso a base de fixação dos pinos, dentro dos pistões junto as paredes, cabeça e dentro das canaletas dos anéis de segmento, parte superior e inferior, são inspecionadas cuidadosamente.

Quando aplicável, verifica-se a planicidade da cabeça do pistão usando uma placa plana e um calibre de espessura (figura 10-6).

Se alguma deformação (depressão) for encontrada, a inspeção interna do pistão é refeita.

Uma depressão na cabeça do pistão indica que ocorreram detonações dentro do cilindro.

É preciso inspecionar a parte externa do pistão quanto a arranhões, riscos e etc. Arranhões na canaleta do anel superior não são causa para rejeição, a menos que elas tenham profundidade excessiva, já arranhões profundos na parte lateral externa dos pistões são, usualmente, causas para a sua rejeição.

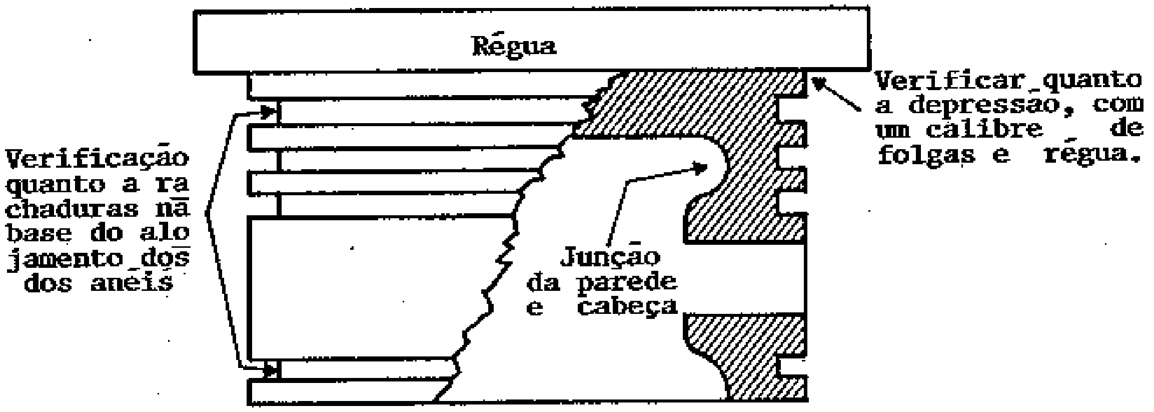

Régua
Verificar_quanto a depressao, com um calibre de folgas e régua.
Verificação quanto a rachaduras nā base do alojamento_dos dos anéis
Junção da parede e cabeça

Figura 10-6 Verificação de um pistão quanto à planicidade

. Examina-se a saia do pistão quanto as canaletas dos anéis quebrados, amassados e arranhões ou danos no furo do pino do pistão.A parte externa do pistão é medida com um micrômetro As medições devem ser tomadas em várias direções; na saia e na área dos anéis de segmento as medidas são comparadas com as originais do pistão.

Vários motores usam "*Can Ground Piston*" para compensar maiores expansões paralelas, relacionadas ao pino durante a operação do motor. Os diâmetros desses pistões medem vários milésimos de polegadas a mais no ângulo do furo do pino, do que paralelamente ao orifício do pino.

Examina-se as canaletas dos anéis quanto a evidência de degraus; se houver a canaleta deverá ser usinada para uma sobre-medida.

Usa-se um anel de segmento padrão, verificando a folga lateral com um calibre de lâminas, e assim determinando se as canaletas dos anéis precisam ser usinadas para uma sobre-medida.

Geralmente a sobre-medida das canaletas não deve ultrapassar de 0,020 de polegada acima de medida normal.

O pino do pistão deve ser examinado quanto a arranhões, rachaduras, desgaste excessivo e corrosão.

Verifica-se a folga entre o pino do pistão e o furo torneado do suporte do mancal, usando um relógio comparador e um micrômetro. O método de partículas magnéticas é usado para inspecionar o pino quanto a rachaduras.

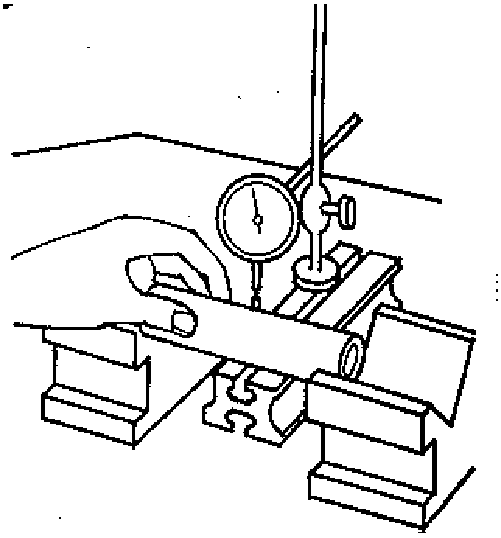


Figura 10-7 Verificação do pino do pistão quanto à espessura.

Considerando que os pinos dos pistões são frequentemente endurecidos, fissuras irão aparecer mais por dentro do que por fora.

Os pinos são observados quanto a empenos (Figura 10-7), usando blocos padrões em "V" e um relógio comparador sobre um bloco padrão paralelo.

Retífica das sedes das válvulas

As sedes das válvulas dos cilindros dos motores de avião normalmente necessitam de um refaceamento a cada revisão geral do motor. Esse refaceamento garante o correto assentamento da válvula.

Quando as guias ou sedes das válvulas são trocadas, deve haver um perfeito alinhamento entre elas.

Motores mais modernos usam sedes de bronze ou de aço. Sedes de aço são mais usadas para as válvulas de exaustão, pois são construídas de liga de aço austenítico de alta resistência ao calor.

Sedes de bronze são usadas nas válvulas de admissão ou em ambas as válvulas; elas são fabricadas de ligas de bronze alumínio ou bronze fosforoso.

As sedes de aço são refaceadas pelo processo de esmerilhamento, já as sedes de bronze são refaceadas preferivelmente pelo desgaste ou escareamento.

A desvantagem de se usar uma pedra de esmeril no desbaste de bronze é que o metal se adere a pedra, necessitando de freqüentes retíficas da pedra para mantê-la limpa.

Os equipamentos usados para esmerilhar as sedes de aço podem trabalhar a seco ou molhado (com ou sem refrigeração).

O esmerilhamento refrigerado usa uma mistura de óleo solúvel em água, que expulsa as limalhas e, ao mesmo tempo, mantém a pedra e a sede frias, promovendo um acabamento mais fino do que o esmerilhamento a seco (sem refrigeração).

A pedra pode ser de carbonato de silício ou óxido de alumínio.

Antes de refacear a sede, observa-se se a guia da válvula está em boas condições, não precisando ser substituída.

O cilindro é mantido firmemente num dispositivo de fixação.

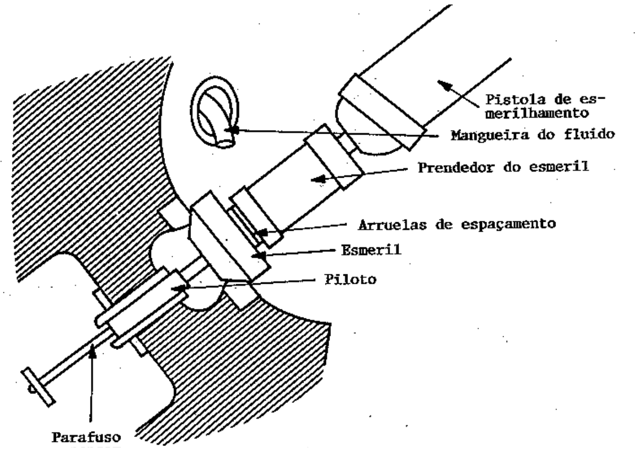


Figura 10-8 Equipamento de esmerilhamento da sede das válvulas.

As três qualidades de pedra disponíveis no mercado são assim classificadas: áspera, fina e de polimento.

A pedra áspera é designada para a limpeza inicial da sede; a pedra fina deve ser usada para remoção das marcas de esmerilhamento grosso inicial, produzindo um acabamento fino. A pedra para polimento faz quase a mesma coisa, e é usada somente quando um alto padrão de polimento da sede é desejado. As pedras são instaladas num dispositivo especial para fixação das mesmas.

As faces das pedras de esmeril podem ser retificadas com diamante. A pedra deve ser refaceada sempre que apresentar ranhuras e sobrecarga; e quando a pedra for instalada a primeira vez no suporte de fixação. O diamante de retificação da pedra deve ser usado no sentido de cortar seu diâmetro.

Esta retífica da pedra deverá ser mantida a um mínimo, como uma maneira de conservação, desta forma ela é projetada para ter suficientes suportes de fixação para todas as pedras a serem usadas nos serviços.

Nos atuais serviços de esmerilhação é preciso habilidade no manuseio do canhão da ferramenta, que deve ser centrado precisamente no suporte da pedra.

Se o canhão é fixado fora do centro, a vibração da pedra irá resultar em um esmerilhamento áspero.

É muito importante que a pedra gire numa velocidade que irá permitir um polimento estável. Esta velocidade é de aproximadamente 8.000 a 10.000 r.p.m.

Uma pressão excessiva sobre a pedra poderá afundar ligeiramente.

Não é recomendado deixar a pedra de esmeril em baixa velocidade, com pressão sobre a mesma, durante a partida ou parada do canhão (chicote). A pressão máxima recomendada sobre a pedra deverá ser a do próprio peso do canhão.

Uma outra prática que é considerada boa para o esmerilhamento é o alívio da ferramenta (pedra) a cada segundo, ou manter uma lavagem refrigerante, diretamente nas limalhas da sede. Isto regulariza a ação de esmerilhamento, mantendo a pedra na pressão e velocidade corretas.

Uma vez que a sede sai com facilidade, remove-se pouco material durante o esmerilhamento.Deve-se evitar o esmerilhamento desnecessário.

A pedra mais áspera é usada até que haja um alinhamento verdadeiro entre a guia e a sede da válvula, até que todas as pintinhas (picados), arranhões, raias ou partes queimadas (Figura 10-9) tenham sido removidas. pós o refaceamento a sede deve estar sem rugosidade e sem aspereza.

A pedra fina é usada somente até ficar polida.

Extremo cuidado deve ser tomado quando esmerilhando com pedra fina para evitar trepidação, rangido, etc.

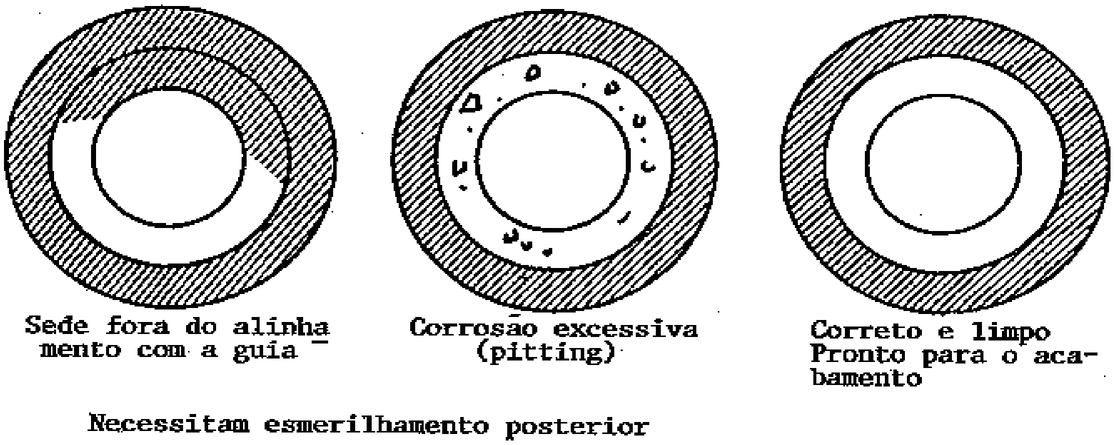

Sede fora do alinhamento com a guia
Corrosão excessiva (pitting)
Correto e limpo Pronto para o acabamento
Necessitam esmerilhamento posterior

Figura 10-9 Esmerilhamento da sede das válvulas.

As medidas e exatidão da sede podem ser verificadas por vários métodos. O contorno da sede é verificado com um indicador especial de dial, e não deve exceder de 0,002 de polegada.

A medida da sede pode ser determinada usando-se o azul da Prússia.

A verificação do assentamento da sede é feita com um borrifamento de azul da Prússia sobre toda a sede. A mancha azul transferida para a válvula irá indicar o contato da superfície. Esta superfície deve ser de 1/3 a 2/3 de largura da face da válvula, e na metade da face. Em alguns casos, um calibre passa-não-passa é usado no lugar da válvula, quando se faz a verificação com o azul da Prússia. Se o azul da Prússia não é usado, a mesma verificação poderá ser feita lapidando-se a válvula ligeiramente na sede.

Exemplos de resultados de testes são mostrados na figura 10-10. Se a sede contata a terça parte superior da face da válvula, esmerilha-se o canto superior dela, como mostrado na figura 10-11.

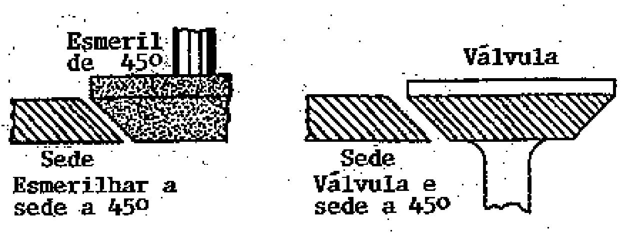

Esmeril de 45º
Sede
Esmerilhar a sede a 45º
Válvula
Sede
Válvula e sede a 45º

Figura 10-10 Conjunto de válvula e sede.

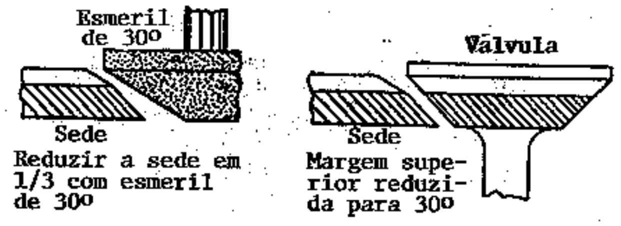

Esmeril de 30º
Sede
Reduzir a sede em 1/3 com esmeril de 30º
Válvula
Sede
Margem superior reduzida para 30º

Figura 10-11 Esmerilhamento do topo da superfície da sede da válvula.

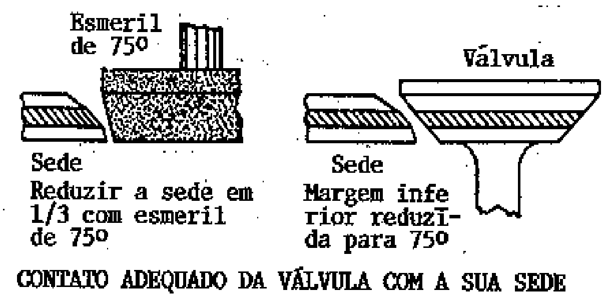

Esmeril de 75º
Sede
Reduzir a sede em 1/3 com esmeril de 75º
Válvula
Sede
Margem inferior reduzida para 75º
CONTATO ADEQUADO DA VÁLVULA COM A SUA SEDE

Figura 10-12 Esmerilhamento do canto interno da sede da válvula.

Ás vezes este esmerilhamento é chamado de retificação estreita (*narrowing grinding*), permitindo que a sede contate a terça parte central da face da válvula, sem tocar na porção superior. Se a sede contata um terço do fundo da válvula, o canto interior dela é esmerilhado, figura 10-12.

A sede é rebaixada por uma pedra que não seja do ângulo padrão. É prática comum o uso de uma pedra com um ângulo de 15º e 45º, num ângulo da sede da válvula de 30º, e uma pedra com um ângulo de 30º e 75º num ângulo da sede de 45º (figura 10-13).

Se a sede da válvula tiver sido cortada muito no fundo, ela irá contatar muito distante do topo dentro da cabeça do cilindro, e a folga da válvula, a tensão da mola e o assentamento serão afetados.

Para a verificação da altura da válvula, basta inseri-la na guia, e mantê-la de encontro a sede. Verifica-se a altura da haste da válvula, o balancim ou outra posição fixa.

Antes de refacear a sede da válvula, consulta-se o manual de revisão do motor. Cada fabricante especifica o ângulo exato para o esmerilhamento e o estreitamento da sede da válvula.

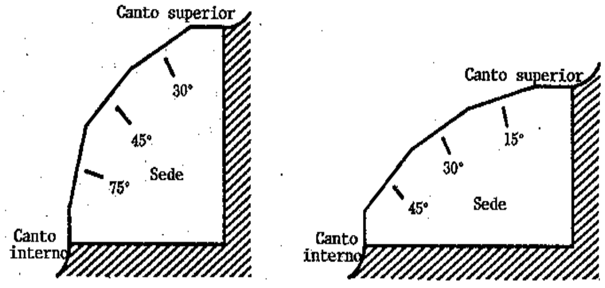

Canto superior
30°
45°
75°
Sede
Canto interno
Canto superior
15°
30°
45°
Sede
Canto interno

Figura 10-13 Ângulos da sede da válvula.

Recondicionamento da válvula

Uma das mais comuns tarefas durante a revisão completa do motor está no recondicionamento das válvulas. O equipamento usado deve ser preferivelmente bem provido de jateamento com água.

Com este tipo de máquina, uma mistura de óleo solúvel em água é usada para manter a válvula refrigerada, e retirar as limalhas liberadas no processo de esmerilhamento.

Alguns pontos devem ser seguidos ou verificados antes de se iniciar um esmerilhamento, como retificar a pedra de esmeril (rebolo) com uma ponta de diamante.

A máquina é colocada em funcionamento e o diamante é penetrado através da pedra, cortando (faceando) somente a profundidade necessária para a correta limpeza e precisão da pedra. Determina-se o ângulo da face da válvula como sendo a base, ajustando a cabeça móvel da máquina para corresponder a este ângulo de válvula.

Geralmente, as válvulas possuem um ângulo de base padrão de 30º ou 45º. Entretanto, em alguns casos, um ajuste de interferência de

0,5 ou 1,5°, menor do que o ângulo padrão, pode vir como base de face de válvula. O ajuste de interferência (figura 10-14) é usado para obter uma maior vedação positiva, por meio de um estreito contato de superfície. Teoricamente, há uma linha de contato entre a válvula e a sede. Dentro dessa linha, todas as cargas que a válvula exerce contra a sede são concentradas numa pequeníssima área, desta forma aumentando a unidade de carga em qualquer ponto considerado.

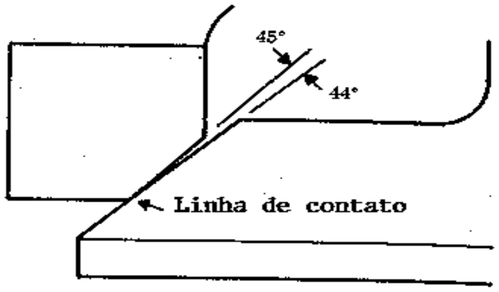


Figura 10-14 Interferência adequada da válvula e sua sede.

O ajuste de interferência é especialmente benéfico nas primeiras horas de operação, – após uma revisão completa do motor.

A vedação positiva reduz a possibilidade de queima da válvula ou da sede. Após as primeiras horas de funcionamento, estes ângulos tendem a acamar e ficar idênticos. Observa-se que o ângulo de interferência está na base da válvula, não na sede. É fácil de mudar o ângulo da válvula esmerilhando a cabeça de trabalho, do que a mudança do ângulo da sede com a pedra de esmeril (rebolo). Não se usa ajuste de interferência, a menos que aprovado pelo fabricante.

A válvula é instalada no mandril (figura 10-15), e este ajustado de modo que a face da válvula fique a aproximadamente 2 polegadas distante do mandril. Se a válvula estiver mal instalada no mandril, poderá causar empenos e esmerilhamentos da guia da válvula.

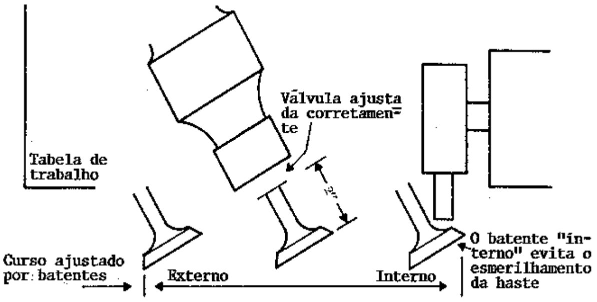

Válvula ajusta da corretamente
2"
Tabela de trabalho
Curso ajustado por batentes
Externo
Interno
O batente "interno" evita o esmerilhamento da haste

Figura 10-15 Válvula instalada na máquina de esmerilhamento.

Há vários tipos de esmerilhadoras de válvulas. Num tipo, a pedra se move através da face da válvula; num outro, a válvula é movida através da pedra.

Qualquer tipo que seja usado, os seguintes procedimentos são típicos para todos, quando refaceando uma válvula.

Verifica-se o curso da face da válvula através da pedra. A válvula deve passar completamente na pedra em ambos os lados, e ainda com o cuidado de não passar tão perto da haste para não esmerilhá-la.

Há máquinas que possuem batentes, os quais podem ser ajustados para controlar este curso.

Com a válvula ajustada corretamente na posição, gira-se a máquina e o fluido de esmerilhamento, de modo que ele borrife a área de trabalho sobre a face da válvula.

Retorna-se a roda do esmeril para fora da área de trabalho, posicionando a válvula diretamente na frente da pedra. Lentamente deve-se trazer a roda para frente, até que um ligeiro passe tenha sido realizado na válvula.

A intensidade do esmerilhamento é medida mais pelo som do que por qualquer outra coisa.

Lentamente retorna-se, avançando a válvula sobre a pedra sem aumentar o corte. Move-se a mesa da plataforma de volta, usando toda a face da pedra.

Quando o som do esmerilhamento diminui, indica que algum material da válvula foi removido, então se move a mesa da plataforma para a extrema esquerda, parando a rotação da válvula.

Inspeciona-se a válvula para determinar se um novo esmerilhamento é necessário. Se precisar fazer um novo corte, a válvula é levada para frente da pedra.

Não se aumenta o corte sem ter a válvula diretamente na frente da pedra.

Uma precaução importante no esmerilhamento de válvulas, como em qualquer tipo de esmerilhamento, é fazer ligeiros passes de cada vez.

Cortes fortes causam marcas, que podem tornar a sede da válvula tosca e inacabada, de modo que, às vezes, não se consegue um acabamento fino.

Após o esmerilhamento, verifica-se a margem da válvula para se estar seguro de que os bordos da válvula não tenham sido muito afinados, com pouca parede.

Borda muito fina é chamada "borda de pena", podendo levar a uma pré-ignição.

A borda da válvula poderia queimar, e em pouco tempo o cilindro necessitaria de uma revisão geral.

A figura 10-16 mostra uma válvula com uma margem normal e outra com borda muito fina, em forma de "borda de pena" ou cunha.

A ponta da haste da válvula pode ser refaceada durante o esmerilhamento. A ponta da haste deve ser refaceada para remover a concavidade que se forma, ou algum desgaste, e também para o ajuste da folga em alguns motores.

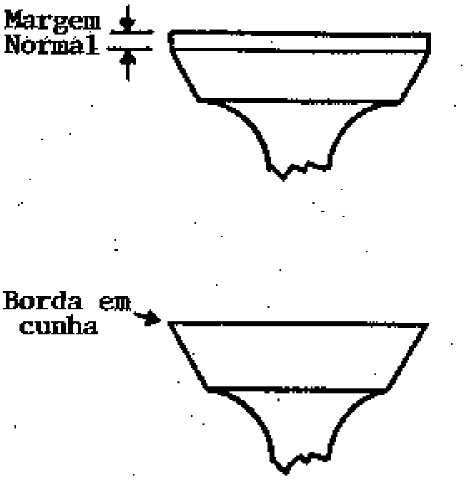


Figura 10-16 Válvulas de motor mostrando a margem normal e um bordo em cunha.

A válvula deve ser presa numa braçadeira (figura 10-17), com a ponta da haste de topo com a pedra de esmeril.

Com a máquina e a refrigeração ligada, a válvula é encostada ligeiramente de encontro com a pedra. Não se faz jogo lateral nem com a válvula nem com a pedra.

Devido a tendência da válvula aquecer durante o esmerilhamento, deve-se estar seguro de que o fluido jateia plenamente a ponta da válvula.

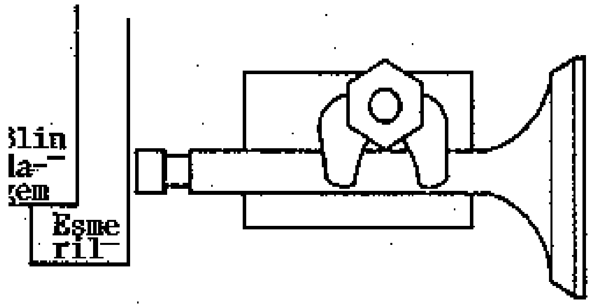


Figura 10-17 Esmerilhamento de uma válvula típica.

O esmerilhamento da ponta da válvula pode remover ou, parcialmente remover, o chanfro da borda da válvula.

Para restaurar este chanfro, ajusta-se um ângulo de aproximadamente 45º, com a pedra e com a válvula presa num bloco em forma de "v" de oficina, e, usando-se as mãos, gira-se a ponta da válvula sobre a pedra, esmerilhando com ligeiros toques toda a borda da ponta. Este chanfro evita arranhaduras da guia da válvula, quando esta é instalada.

Lapidação de válvulas e teste de vazamento

Após o teste do processo de esmerilhamento, algumas vezes é necessário que a sede da válvula seja lapidada. Isto é feito aplicando-se uma pequena camada de composto de lapidação na face da válvula, inserindo-a na guia, e girando com a ferramenta de lapidação até que apareça um anel cinza aveludado na área de contato. A aparência correta dessa lapidação da válvula está sendo mostrada na figura 10-18.

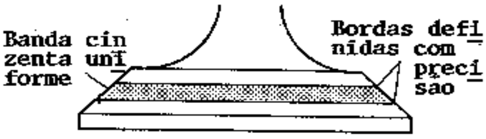
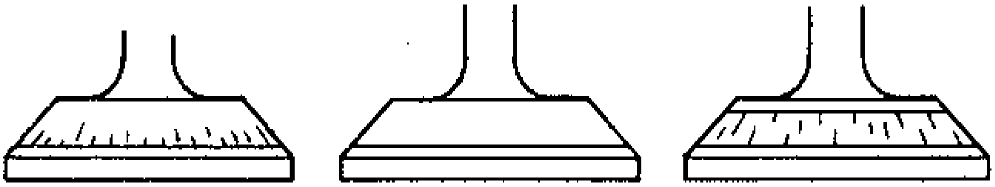


Figura 10-18 Uma válvula corretamente lapidada.

Após o processo de lapidação ter terminado, limpa-se todo o resíduo da face da sede da válvula e das áreas adjacentes.

A etapa final é a checagem do assentamento das superfícies para se fazer o teste de vazamento de selagem adequado.Isto é feito instalando-se a válvula no cilindro, segurando-a pela haste com os dedos e, ao mesmo tempo, colocando-se um pouco de querosene ou solvente através da cabeça da válvula. A pressão com os dedos na válvula ajuda a verificar se o fluido está vazando para dentro da câmara de combustão. Se não há vazamento, o trabalho de reassentamento da válvula está terminado. Se houver vazamento, continua-se o trabalho de lapidação da sede.

Qualquer superfície de face de válvula que aparente as várias figuras ilustradas na figura 10-19 é correta. Entretanto, indicações incorretas são de avaliações impróprias nos diagnósticos do esmerilhamento da válvula e da sede. Indicações incorretas, suas causas e remédios são mostrados na figura 10-19



Indicação:	Bordas frisadas	Contato muito estreito	Duas bordas de lapidação.
Causa	Usinagem grosseira.	Interferência inadequada.	Estreitamento impróprio da sede.
Solução	Esmerilhe a válvula ou continue a lapidação.	Esmerilhe a válvula e a sede.	Reajuste a sede

Figura 10-19 Válvulas lapidadas incorretamente.

Reparo dos pistões

Reparo nos pistões não são tão necessários como, frequentemente, são nos cilindros; uma vez que os maiores desgastes estão entre os anéis e a parede do cilindro, haste e guia de válvula e ainda face de válvula e sua sede. Um menor desgaste é encontrado entre a saia do pistão (êmbolo) e o cilindro, anéis e canaletas dos anéis de segmento, ou pino de pistão e alojamento. O reparo mais comum será a remoção das ranhuras (marcas). Normalmente, podem ser removidas somente na saia do pistão, quando estas são pouco profundas.

Ranhuras acima da canaleta do anel superior podem ser usinadas ou jateadas ao longo do diâmetro, desde que o diâmetro do pistão não fique reduzido abaixo dos mínimos especificados.

Para remover estes riscos, ranhuras, marcas, etc., instala-se o pistão na placa de um torno mecânico, girando em baixa velocidade.

As marcas ou riscos são removidos com lixa seca nº 320. Nunca se usa nada áspero na saia do pistão.

Nos motores onde todo o conjunto rotativo é balanceado, os pistões devem pesar dentro de ¼ de libra um do outro.

Quando um novo pistão é instalado, ele deve estar dentro das mesmas tolerâncias de peso dos removidos.

Não é suficiente ter um pistão sozinho; ele deve ser montado ao eixo de manivelas, bielas, pinos de pistão, etc. Para se conseguir ajustar o peso dos novos pistões, os fabricantes deixam na base da saia do pistão uma seção mais grossa.

A redução de peso se faz retirando metal levemente dessa parte. O peso do pistão pode ser reduzido facilmente, porém soldagem e metalização não são permitidas.

Se as canaletas dos anéis estão desgastadas ou com degraus, terão que ser usinadas para uma sobremedida, de modo que possam acomodar anéis mais largos de sobremedida, mantendo a folga correta.

Após a usinagem, observa-se se os pequenos raios em torno das canaletas dos anéis foram restabelecidos.

Quando os anéis são removidos, rachaduras ou quebras podem ocorrer devido a fadiga ou tensões localizadas.

Canaletas de anéis de sobremedida são usualmente de 0,005, 0,010 ou 0,020 de polegada. Medidas maiores poderiam enfraquecer a base de apoio dos anéis dentro das canaletas. Alguns fabricantes vendem pinos de pistão com 0,005 de sobremedida.

Quando são disponíveis, é permissível o torneamento ou o alargamento do alojamento do pino para 0,005 de polegada de sobremedida. Entretanto, estes alojamentos devem estar muito bem alinhados.

Pequenas mossas na borda do alojamento do pino podem ser lixadas. Ranhuras profundas por dentro, ou em qualquer parte em torno do alojamento do pino, são razões para rejeição.

Retífica e brunimento do cilindro

Se um cilindro tem conicidade excessiva, ovalizações, dentes, ou o seu diâmetro máximo for ultrapassado, ele poderá ser retificado para uma sobremedida permitida.

Se as paredes do cilindro estão ligeiramente enferrujadas, marcadas ou corroídas, podem ser reparadas pelo brunimento ou polimento.

A retífica de um cilindro é um trabalho especializado que até um mecânico de motores, muitas vezes, não está preparado para fazer. Entretanto, o mecânico deve ser capaz de detectar quando o cilindro precisa de uma retífica, e saber reconhecer quando o trabalho foi bem ou mal feito.

Geralmente, cilindros de sobremedida para motores de avião são de 0,010, 0,015, 0,020 ou 0,030 de polegada. Diferente de motores de automóveis, os quais podem ser retificados para sobremedidas de 0,075 a 0,100 de polegada; cilindros de motores de avião tem geralmente paredes finas, e podem ser nitretadas (tratamento termo-químico – nitretação) para endurecimento das paredes do cilindro. Alguns fabricantes, muitas vezes, não permitem o uso de todas as sobremedidas acima. Outros não permitem retífica para sobremedida.

Os manuais de revisão dos motores, ou catálogos de partes, normalmente listam as sobremedidas permissíveis para um ou outro modelo em particular de motor.

Para determinar a medida de retífica, a medida padrão inicial deve ser conhecida. Isto pode ser determinado nas especificações dos fabricantes ou nos manuais. A medida de retífica é fundamentada a partir da medida padrão do cilindro. Por exemplo, um certo cilindro tem um diâmetro de 3,875 de polegada, para se ter um cilindro retificado para 0,015 de polegada de sobremedida, será necessário uma retífica para um diâmetro de 3,890 de polegada (3,875 + 0,015). A tolerância de ± 0,0005 polegada é usualmente aceitável para cilindros retificados.

Um outro fator que deve ser considerado, quando determinando a medida para a qual o cilindro deve ser retificado, é o máximo de desgaste que tenha ocorrido.

Ao se encontrar algum batente (degrau) na parede do cilindro muito grande, que fatalmente não desapareceria na primeira retífica de sobremedida, obviamente passa-se para a sobremedida posterior, e assim por diante, até limpar completamente o cilindro.

Uma consideração importante durante a retífica de um cilindro é o tipo de acabamento desejado dentro do cilindro.

Alguns fabricantes de motores recomendam um acabamento uniforme das paredes do cilindro, o qual irá permitir um assentamento ímpar dos anéis de segmento (se estes não foram lapidados ao cilindro). Outros fabricantes recomendam um acabamento suave, para o qual um anel lapidado irá acamar, sem muita mudança nas dimensões do anel ou do cilindro. Os últimos tipos de acabamento são mais caros de serem produzidos.

O padrão é usado quando a precisão de acabamento da parede do cilindro é conhecida em termos de micro-polegada, r.m.s.

Num acabamento onde a aspereza da retífica atingiu 0,000001 de polegada de profundidade, é especificada como 1 *microinch r.m.s.*

A maioria dos cilindros de motores de avião são retificados para um acabamento de 15 a 20 *microinch r.m.s.* (micropolegada r.m.s.). Vários motores de baixa potência têm cilindros que são retificados para um valor relativo a 20 a 30 *microinch r.m.s.* de acabamento. Na outra extremidade da escala, alguns fabricantes recomendam um superacabamento de aproximadamente 4 a 6 *microinch r.m.s.*

A retífica do cilindro (figura 10-20) é conseguida através da montagem firme da pedra de esmeril (rebolo), a qual retifica a parte interna do cilindro, passando de cima a baixo em toda a extensão do cilindro. Tanto o cilindro como a pedra, ou ambos, podem se mover mutuamente. A extensão de esmerilhamento é determinada pela distância da pedra, ajustada ao longo da linha de centro do cilindro. Algumas máquinas para retificação de cilindros irão produzir um furo reto, enquanto outras são projetadas para uma retífica ligeiramente cônica do furo.

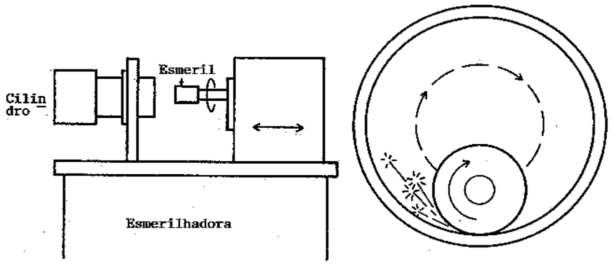


Figura 10-20 Esmerilhamento interno de um cilindro.

A conicidade de retífica do cilindro refere-se a um processo de fabricação, no qual as paredes do cilindro têm um diâmetro menor no topo do que no fundo. O propósito deste tipo de conicidade é para garantir o paralelismo total das paredes do cilindro durante a operação do motor. À medida que o cilindro aquece durante a operação, a cabeça e o topo do cilindro são mais sujeitos a calor do que o fundo (base). Isto provoca maior expansão (dilatação) térmica junto ao topo do que no fundo, desta forma mantendo as paredes paralelas (retas) como desejado.

Após a retífica pode ser necessário brunir o furo do cilindro, para obter-se um melhor acabamento. Se isto for desejado, especifica-se uma medida de reesmerilhamento para permitir diminuta remoção de metal durante o brunimento do cilindro.

O permitido, usualmente, para o brunimento é 0,0001 de polegada. Se o diâmetro final do cilindro deve ser de 3,890 polegadas, especifica-se uma retífica de 3,889 polegadas, e então, brunindo o cilindro para 3,890 polegadas.

Há várias maneiras e modelos diferentes de brunimento de cilindro.

O polimento de brunimento é usado somente para produzir o acabamento desejado nas paredes do cilindro. O mais elaborado brunimento microcromático pode ser usado para alinhar as paredes do cilindro. Um polimento de brunimento (figura 10-21) não deve ser usado numa tentativa de alinhamento das paredes do cilindro.

Uma vez que as pedras estão sob tensão de mola, elas irão seguir somente o contorno das paredes do cilindro.

Após o término da retífica do cilindro, verifica-se as dimensões e o acabamento das paredes do cilindro, e se não há evidência de superaquecimento ou rachaduras de esmerilhamento antes da instalação do cilindro do motor

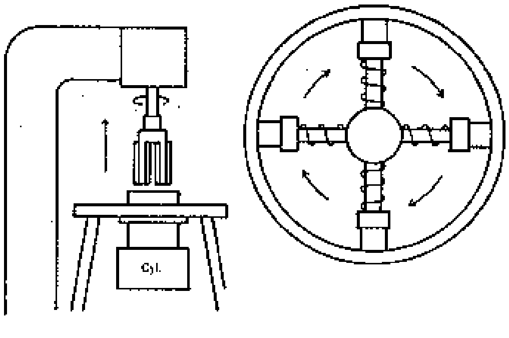


Figura 10-21 Brunimento de cilindro

INSPEÇÃO DO EIXO DE MANIVELAS

Cuidadosamente inspeciona-se todas as superfícies do eixo quanto a rachaduras. Verifica-se as superfícies dos rolamentos quanto a evidência de sulcos, arranhões ou outros danos. Quando o eixo está equipado com tubos de transferência de óleo, verifica-se sua fixação.

Alguns fabricantes recomendam, além da inspeção visual, outros métodos de inspeção não destrutivos, tais como: partículas magnéticas ou radiografia.

Coloca-se o eixo de manivelas sobre blocos em "V", suportado em pontos determinados pelo manual de revisão do motor. Usa-se uma base plana, e com um relógio comparador a ovalização do eixo é medida. Se a leitura total indicada exceder as dimensões dadas dos limites das tabelas do manual do fabricante, o eixo não poderá mais ser usado. Um eixo empenado não deve ser desempenado. Qualquer tentativa de fazer isto resultará na ruptura da superfície nitretada (temperada) dos mancais dos rolamentos, uma condição que irá causar eventual falha do eixo de manivelas.

Os mancais principais e os moentes de biela do eixo são medidos. Os resultados são comparados com os limites das tabelas do manual de revisão do motor.

Câmara de sedimentos

Alguns eixos de manivelas são fabricados com pinos de manivelas ocos que servem como removedores de resíduos. As câmaras de sedimento podem ser formadas por tubos em forma de carretel, prensados dentro dos pinos ocos da manivela, ou por meio de bujões prensados em cada extremidade do pino da manivela.

As câmaras de sedimento ou tubos devem ser removidas durante a limpeza do motor para revisão geral.

Se estes não forem removidos, o desprendimento de resíduos acumulados durante a limpeza pode entupir as passagens de óleo do eixo de manivelas e consequentemente causar subsequentes falhas de rolamentos.

Se as câmaras de sedimentos são formadas por meio de tubos prensados dentro dos pinos ocos da manivela, deve-se estar seguro de que eles foram reinstalados corretamente, para evitar o bloqueio das passagens de óleo.

BIELAS

A inspeção e reparo das bielas incluem (1) inspeção visual, (2) verificação de alinhamento, (3) reembuchamento, e (4) troca de rolamentos. Alguns fabricantes também recomendam inspeção por partículas magnéticas das bielas.

Inspeção visual

A inspeção visual deve ser feita com auxílio de lentes de aumento ou com microscópio de bancada. Uma biela que está obviamente empenada ou torcida deve ser rejeitada sem futuras inspeções. Inspeciona-se todas as superfícies da biela quanto a rachaduras, corrosão, picados, ferrugens ou outros danos. Escoriações são causadas por ligeiros movimentos rotativos, entre as superfícies da blindagem do rolamento e a biela, durante os períodos de cargas excessivas e produzidas durante condições de disparo ou com pressões de carga excessiva de admissão.

A evidência visual de qualquer escoriação aparece como se as partículas provenientes de uma superfície de contato tenha soldado em outra. Evidência de sulcos (escoriações) são razões para se rejeitar toda a biela. Sulco é uma distorção dentro do metal e é comparável a corrosão que da mesma forma enfraquece a estrutura do metal da biela.

Verificação do alinhamento

Verifica-se o embuchamento que tenha sido trocado para determinar se a bucha e o furo estão em esquadro e paralelos uns com os outros. O alinhamento da biela pode ser verificado de várias maneiras. Um dos métodos necessita da instalação de um fuso de encaixe apertado para cada extremidade da biela, uma base plana e dois blocos paralelos de precisão de mesma altura.

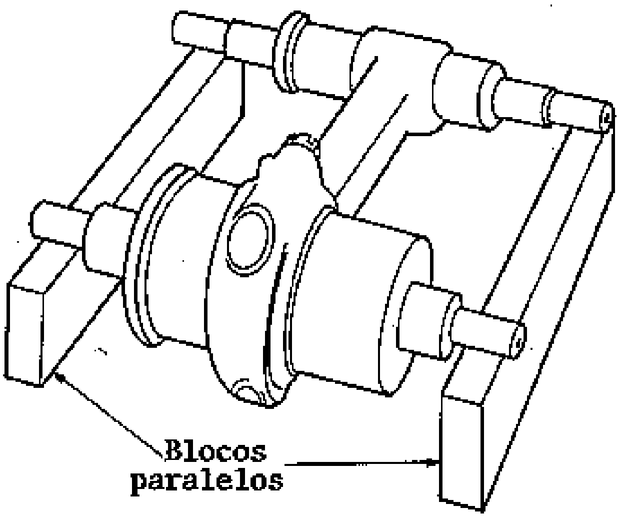


Figura 10-22 Verificação da biela quanto a empenos.

Para medir o empeno (figura 10-22), ou torções, insere-se os fusos nos furos da biela; colocando os blocos paralelos numa superfície plana.

As extremidades dos fusos são colocadas sobre os blocos paralelos. Verifica-se a folga nos pontos onde os fusos descansam sobre os blocos usando um calibre de lâminas. Esta folga dividida pela separação dos blocos, em polegadas, irá fornecer a torção por polegada de comprimento.

Mede-se a distância entre os fusos em cada lado da biela junto aos pontos equidistantes da linha de centro da biela.

Para o exato paralelismo, as distâncias verificadas em ambos os lados devem ser as mesmas. Consultam-se os limites estabelecidos no manual do fabricante do motor, para verificar o desalinhamento máximo permitido.

As operações precedentes são típicas para a maioria dos motores alternativos, e estão incluídas nos manuais de revisão completa dos motores. Seria impraticável listar todos os itens abordados no manual de revisão completa do motor. Deve ser entendido que há outros procedimentos e inspeções que devem ser executados. Para uma exata informação, o manual do fabricante do modelo específico do motor é sempre consultado.

BANCO DE TESTES PARA MOTORES ALTERNATIVOS

As informações deste capítulo “banco de testes para motores”, são entendidas como familiarização com os procedimentos e equipamentos usados na seleção de serviços, somente para aqueles motores que estão em perfeitas condições mecânicas.

Igualmente a um novo, ou a um motor recuperado de automóvel, o motor de avião deve estar em perfeitas condições mecânicas. Esta condição deve ser determinada após o motor ter sido novamente montado ou revisado completamente.

O método usado é o de teste funcional, que poderia evitar uma desmontagem completa antes de liberar o motor.

Deve ser enfatizado que o teste de funcionamento é vital como qualquer outra fase de revisão do motor, significando que a qualidade de um motor novo ou revisado foi verificada e que é um item final para liberação de um motor para serviço.

Em algumas circunstâncias, um motor que apresentava perfeitas condições mecânicas antes de um teste funcional apresenta condições mecânicas inconfiáveis ou pobres. Então, a confiabilidade e o potencial de vida em serviço de um motor, fica na dependência da passagem satisfatória no "Banco de testes" (ou banco de ensaio).

Propósito do teste

O teste atende a dois propósitos: primeiramente ele realiza um teste de funcionamento dos anéis dos pistões e suavidade dos rolamentos; segundo, ele proporciona informações sobre a performance do motor e determina as condições do mesmo. Para proporcionar fluxo de óleo adequado para a parte superior dos cilindros, com um mínimo de perda de óleo, é importante que os anéis dos pistões estejam propriamente acamados dentro do cilindro nos quais eles estão instalados.

O processo é chamado de experiência dos anéis do pistão (*piston rings run-in*) e é conseguido frequentemente pela operação controlada do motor numa operação em alta velocidade. Condição imprópria dos anéis de pistão ou "*run in*" pode resultar numa operação insatisfatória do motor.

O processo chamado "polimento dos rolamentos" cria um alto polimento de superfície nos rolamentos e buchas (instalados durante o trabalho de revisão completa do motor). O polimento é usualmente conseguido durante os primeiros períodos de funcionamento do motor para amaciamento, geralmente se estiver operando o motor em baixa velocidade.

Requisitos do teste

O teste operacional e o teste de procedimentos variam de acordo com o motor em questão, porém as necessidades básicas serão discutidas nos parágrafos seguintes.

A falha de qualquer parte interna durante o teste de funcionamento "*run in*" necessita que o motor retorne para substituições de unidades necessárias e, então, ser completamente retestado.

Se qualquer componente do motor básico falhar, um novo deve ser instalado; um tempo mínimo de operação será preciso para avaliação desse componente instalado.

Após o motor ter sido aprovado completamente no teste, é especialmente tratado para evitar corrosão. Terminando o período de "*run in*", durante o teste, os motores são operados com o combustível próprio de qualidade para o motor em questão.

O sistema de óleo é abastecido com uma mistura de composto preventivo de corrosão e óleo de motor.

A temperatura desta mistura é mantida de 105º a 121º C. Próximo do final do "*run in*" a CPM (mistura preventiva de corrosão) é usada como lubrificante do motor. Passagens de indução do motor e câmara de combustão são também tratados com CPM pelo método de aspiração (CPM é aspirado ou ventilado para dentro do motor).

EQUIPAMENTO MÓVEL DE TESTE PARA MOTOR CONVENCIONAL

Esse teste é praticamente o mesmo do banco de testes. Eles têm o mesmo propósito, isto é, assegurar que o motor está pronto para ser instalado no avião. Uma vez que o motor tenha sido operado no teste móvel, e que todas as falhas tenham sido corrigidas, é de se esperar que o motor opere corretamente no avião. Um típico teste móvel consiste de uma estrutura, montantes para fixação do motor, cabine de controle e um reboque, soldados ou aparafusados4 juntos.O berço de teste do motor e a parede de fogo estão localizados na parte traseira da plataforma do reboque, e recursos de acesso a parte traseira do motor.

O berço de teste do motor é uma estrutura de aço de suportes, braços, com montantes soldados e aparafusados juntos, formando uma única unidade. O braço traseiro do berço possui degraus de aço antiderrapante soldado no lugar, para permitir uma subida fácil do mecânico ao topo da secção dos acessórios do motor.

No lado da parte fronteira do motor há um painel de aço, contendo conectores elétricos para serem ligados aos circuitos do motor. Há também conexões no painel de aço do tipo de desconexão rápida de linhas de fluidos para o motor.

O tanque hidráulico está localizado no lado traseiro do equipamento de teste. Finalmente o equipamento móvel de teste de motor possui plugues para o sistema de comunicação. A cabine de controle está localizada na parte média do equipamento móvel de teste, alojando controles e os painéis de instrumentos.

A coisa mais importante acerca do posicionamento da unidade móvel de teste é a face da hélice estar posicionada diretamente contra o vento. Se isto não for feito, o teste do motor não terá precisão.

Instrumentos do equipamento de teste

A cabine de controle de teste do operador engloba os controles usados para operar o motor; e instrumentos usados para medir várias temperaturas e pressões, fluxo de combustível e outras indicações. Estes dispositivos são necessários para proporcionar cheques e avaliações precisas da operação do motor.

A cabine de controle é separada, porém adjacente ao espaço da célula de teste, a qual envolve o motor que está sendo testado.

A segurança, a economia e a confiabilidade do teste dos motores modernos de avião dependem fundamentalmente do uso de instrumentos.

Num procedimento operacional do motor "*run in*", os mesmo instrumentos básicos usados, quando o motor está instalado no avião, são também usados neste teste; entretanto, algumas conexões adicionais para alguns instrumentos e dispositivos de medições, as quais praticamente não podem ser instalados no avião, estão disponíveis neste equipamento de teste.

Os instrumentos usados nestes procedimentos de teste são inspecionados e calibrados periodicamente, assim como quando estão instalados no avião. Desta forma, as informações concernentes a operação do motor estão asseguradas.

Instrumentos de motores são operados de várias maneiras diferentes, alguns mecanicamente, outros eletricamente, e também outros através da pressão de um líquido.

Este capítulo não irá discutir como ele opera, mas a razão da informação que ele fornece, seus nomes comuns e as características sobre eles. Os instrumentos que deverão ser cobertos são:

(1) Indicador da temperatura de ar do carburador.
(2) Indicador de pressão de combustível.
(3) Medidor de fluxo de combustível.
(4) Indicador de pressão de admissão.
(5) Indicador de temperatura de óleo.
(6) Indicador de pressão de óleo.
(7) Tacômetro.
(8) Indicador de temperatura na cabeça do cilindro.
(9) Torquímetro.
(10) Indicador de sucção.
(11) Sistema de quantidade de óleo.
(12) Manômetro de medição diferencial.

As marcações dos instrumentos, e a interpretação destas marcações deverão ser discutidas antes das considerações individuais sobre os instrumentos.

Marcações de instrumentos indicam faixas de operação ou limites mínimos e máximos, ou ambos. Geralmente, o sistema de marcação no instrumento consiste de quatro cores (vermelho, amarelo, azul e verde) e espaços intermediários brancos.

A linha vermelha ou a marca vermelha indicam o ponto além do qual as condições operacionais perigosas existem, e o arco vermelho indica o limite perigoso de operação. Das duas, a marca vermelha é mais comumente usada e está localizada radialmente na cobertura de vidro ou na face do dial. A cobertura do arco amarelo fornece a faixa de operação e é uma indicação de perigo. Geralmente, o arco amarelo está localizado na parte extrema da circunferência da abertura de vidro do instrumento ou na face do "dial" (mostrador).

O arco azul semelhante ao amarelo indica a faixa de operação. O arco azul pode indicar, por exemplo, a faixa de pressão no duto no qual o motor pode ser operado com o controle do carburador ajustado em "autopobre". O arco azul é usado somente em certos instrumentos de motor, como o tacômetro, pressão de admissão, temperatura da cabeça do cilindro e torquímetro.

O arco verde mostra a faixa normal de operação. Quando usado em certos instrumentos de motor, contudo, também significa que o motor deve ser operado com o ajuste do carburador em "auto-rico", quando o ponteiro estiver nesta faixa.

Quando as marcações aparecem na cobertura de vidro, uma linha branca é usada como uma referência (*index mark*), muitas vezes chamada "marca de deslizamento".

A marca radial branca indica qualquer movimento entre a cobertura de vidro e o alojamento, uma condição que poderá causar um deslocamento errado em outra faixa limite de marcação.

Os instrumentos mostrados nas figuras 10-23 até 10-31 possuem faixas marcadas. A parte do "dial" que possui a faixa marcada nos instrumentos é também mostrada de forma "expandida" (maior), com propósito de instrução. A parte "expandida" é mostrada fora do instrumento para tornar mais fácil a identificação de suas marcas.

Indicador de temperatura do ar do carburador

A medição na entrada do carburador, CAT (*carburator air temperature*) temperatura do ar do carburador é considerada por muitos como uma indicação de indução do sistema de formação de gelo.

Embora este sirva para este propósito, também fornece muitos outros itens importantes de informação.

O grupo motopropulsor é uma máquina quente, e a temperatura de seus componentes ou de seus fluidos que seguem através deste processo de combustão é afetada direta ou indiretamente. O nível de temperatura de indução do ar afeta não somente a carga de densidade, mas também a vaporização do combustível.

Em adição ao uso normal do CAT, este também tem encontrado uso para teste na condição do sistema de indução.

O "Retorno de chama" deverá ser indicado como elevação momentânea no indicador, provendo que esta seja suficientemente severa para que o aquecimento seja sentido no ponto de medição do ar no carburador.

O fogo prolongado no sistema de indução deverá mostrar um contínuo aumento na temperatura do ar.

O CAT deve ser observado antes da partida, e imediatamente após o corte.

A temperatura antes da partida é a melhor indicação da temperatura do combustível no corpo do carburador, avisando se a vaporização será suficiente para a queima ou se a mistura deve ser aumentada através da bomba de partida (*priming*).

Se um motor foi cortado (desligado) há apenas um curto espaço de tempo, o aquecimento residual no carburador pode tornar possível a vaporização do aquecimento no combustível no motor, e a injeção inicial (*priming*) poderá tornar-se desnecessária.

Após o corte, a alta temperatura do ar do carburador (CAT) é um aviso de que o combustível retido (remanescente) irá expandir, produzindo uma alta pressão interna.

Quando a alta temperatura durante este tempo estiver presente, a linha de combustível e as válvulas dos dutos devem ser abertas para que a pressão possa ser aliviada através da passagem de retorno de combustível para o tanque.

O mostrador de temperatura do ar do carburador indica a temperatura do ar antes de sua entrada. A temperatura lida é sentida através da um bulbo.

Na célula de teste o bulbo é colocado na passagem do ar de impacto para o motor, e no avião é colocado no duto de tomada da "*RAM-AIR*". O mostrador da temperatura do ar do carburador é calibrado em escala de centígrados. A figura 10-23 mostra um mostrador típico de temperatura de ar de carburador ou CAT. Este mostrador, como muitos outros instrumentos de aviões multimotores, é um mostrador duplo; que são dois mostradores, cada um com um ponteiro e uma escala separada, que são usados no mesmo instrumento.

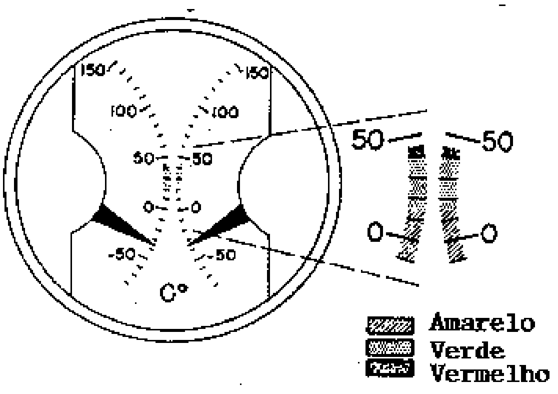


Figura 10-23 Indicador da temperatura do ar do carburador.

O arco amarelo indica os limites de -10º C até +15º C, desde que o perigo de gelo ocorra entre estas temperaturas. A faixa verde indica o limite normal de operação de +15º C até +40º C. A linha vermelha indica a temperatura máxima operacional de 40º C; qualquer operação a uma temperatura acima deste valor coloca o motor em perigo de detonação.

Indicador de pressão de combustível

O mostrador de pressão de combustível é calibrado em libras por polegadas quadradas de pressão.É usado durante o teste de operação geral (em funcionamento) do motor no banco de provas para medir a pressão de combustível na entrada do carburador, o combustível de alimentação da válvula de descarga do injetor e a linha principal de suprimento de combustível. Indicadores de combustível são colocados na sala de controle do operador, e são conectados através de linhas flexíveis a diferentes pontos, nos quais a leitura é necessária durante o procedimento de teste.

Em algumas instalações em aviões, a pressão de combustível é tomada na entrada do carburador em cada motor, e a pressão é indicada em mostradores individuais (figura 10-24) no painel de instrumentos. O dial é calibrado na graduação, de 1 P.S.I., e os números estão dispostos de 0 a 25. A linha vermelha no "dial" em 16 P.S.I., mostra a pressão mínima de combustível necessária durante o vôo. O arco verde mostra o limite desejado para operação, que é de 16 a 18 P.S.I. A linha vermelha na graduação de 18 P.S.I. indica a pressão máxima permitida de combustível. As pressões de combustível variam com o tipo de instalação de carburador e o tamanho do motor. Na maioria dos motores que usam carburação com pressão de injeção, a faixa de pressão é a mesma que a ilustrada na figura 10-24.

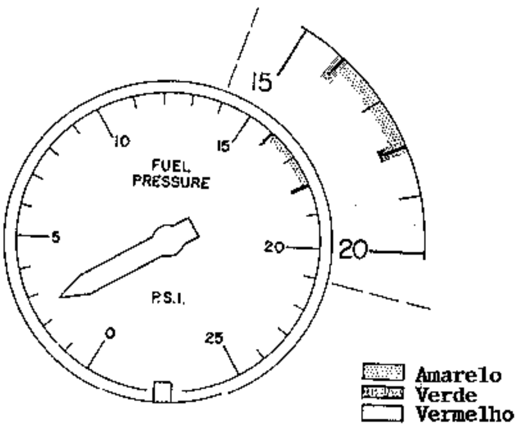


Figura 10-24 Indicador da pressão do combustível.

Quando os carburadores tipo bóia, ou sistema de carburação de baixa pressão, são usados, o limite da pressão de combustível é de um valor menor; a pressão mínima permitida é de 3 P.S.I., e a máxima é de 5 p.s.i. com a faixa de operação desejável entre 3 e 5 p.s.i.

Medidor de fluxo de combustível

O medidor de fluxo de combustível mede o montante enviado ao carburador. Durante o procedimento de teste do motor, o fluxo de combustível para o motor é medido através de uma série de tubos calibrados, localizados na sala de controle.

Os tubos são de vários tamanhos para indicar os diferentes volumes do fluxo de combustível. Cada tubo possui uma bóia que pode ser observada pelo operador, e como o fluxo de combustível varia através dos tubos, a bóia é cada vez abaixada ou elevada, indicando o montante do fluxo de combustível.

Com essas indicações, o operador pode determinar que o motor está operando com a correta mistura ar/combustível para fornecer a tração desejada.

Na instalação do avião, o sistema de indicação de fluxo de combustível consiste de um transmissor e de um indicador para cada motor.

O transmissor de fluxo de combustível é convenientemente instalado na seção de acessórios do motor e mede o fluxo de combustível entre a bomba do motor (mecânica) e o carburador.

O transmissor é um dispositivo elétrico que é conectado eletricamente a um indicador localizado no painel de operação do avião. A leitura no indicador é calibrada para gravar o montante de fluxo de combustível em libras de combustível por hora.

Indicador da pressão de admissão

O tipo preferido de indicador para medição da pressão de admissão é um mostrador que grava a pressão como uma leitura de pressão absoluta. Um manômetro de mercúrio, um tubo calibrado em polegadas, é usado durante os procedimentos de teste.

Este é parcialmente abastecido com mercúrio e conectado ao adaptador no duto de admissão localizado no motor. Como é impraticável a instalação de manômetros de mercúrio no avião para gravar a pressão de admissão dos motores, um indicador de pressão do duto especialmente projetado para indicar a pressão absoluta no duto em polegadas de mercúrio será usado.

No indicador de pressão de admissão, o arco azul representa a faixa onde há operação com o controle de mistura em "autopobre", e o arco verde indica a faixa na qual o motor deve ser operado com o controle de mistura em "NORMAL" ou posição "RICA".

O arco vermelho indica a máxima pressão permitida no duto durante a decolagem.

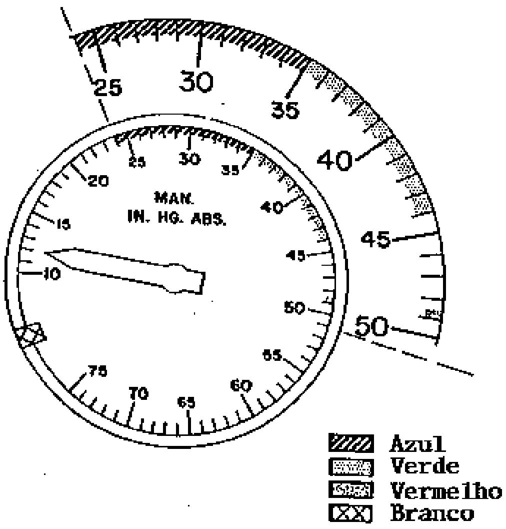


Figura 10-25 Indicador da pressão de admissão.

As marcas na faixa do indicador de pressão de admissão e indicações variam com os diferentes tipos de motores e instalações. A figura 10-25 ilustra o mostrador de um típico indicador de pressão de admissão e mostra como as marcas das faixas são posicionadas.

O arco azul começa na graduação 24 in.Hg, a pressão mínima permitida no duto durante o vôo. O arco continua até a graduação de 35 in.Hg, e mostra a faixa onde a posição de operação "autopobre" é permitida.

O arco verde começa em 35 in.Hg e continua até a graduação de 44 in.Hg, indicando a faixa em que a operação na posição "RICA" é requerida.

Qualquer operação acima dos valores indicados pela extremidade superior do arco verde (44 in.Hg no mostrador do instrumento na figura 10-25) deverá ser limitado a operação contínua que não exceda a 5 minutos. A linha vermelha em 49 in.Hg mostra a pressão de admissão recomendada para decolagem; esta pressão não deve ser excedida. Nas instalações onde injeção de água é usada, uma segunda linha é colocada no mostrador para indicar a pressão de admissão máxima permitida para uma decolagem "molhada".

Indicador de temperatura do óleo

Durante o funcionamento do motor no teste, as leituras de temperatura do óleo do motor são tomadas na entrada e na saída. Destas leituras, poderemos determinar se o aquecimento do motor que é transferido para o óleo é baixo, normal, ou excessivo.

Esta informação é de extrema importância durante o "amaciamento" do motor.

A linha do indicador da temperatura do óleo no avião é conectada à entrada de óleo do motor.

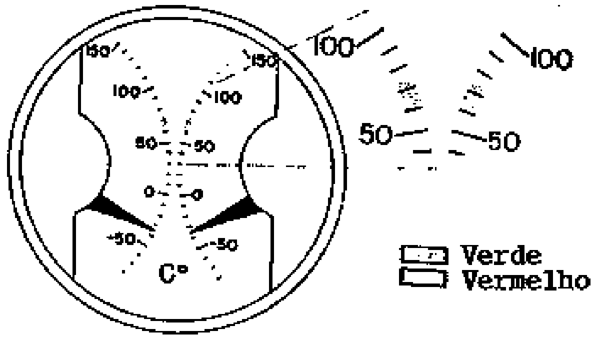


Figura 10-26 Indicador da temperatura do óleo.

Indicador de pressão de óleo

A pressão de óleo no teste do motor é verificada em vários pontos. A leitura principal de pressão de óleo é tomada na linha de pressão da bomba de óleo. Outras leituras de pressão são tomadas da seção dianteira (*NOSE SECTION*) e da seção intermediária (*BLOWER SECTION*); e quando é usado o superalimentador, a leitura é tomada na embreagem de alta e baixa do motor (*HIGH and LOW-BLOWER CLUTCH*).

Geralmente, temos apenas um indicador de pressão de óleo para cada motor, e a conexão é feita no lado de pressão (saída) da bomba principal.

O mostrador do indicador de pressão de óleo, da figura 10-27, não mostra a faixa de pressão ou os limites para todas as instalações. As referências atuais para aviões específicos podem ser encontradas nas especificações de aviões (*AIRCRAFT SPECIFICATIONS*) ou nas folhas de dados de certificado de tipos (*TYPE CERTIFICATE DATA SHEETS*). A linha vermelha inferior em 50 p.s.i. indica a pressão mínima de óleo, permitida em vôo. O arco verde entre 60 e 85 p.s.i. mostra a faixa de pressão de óleo desejável para operação. A linha vermelha em 110 p.s.i. indica a pressão de óleo máxima permitida.

O indicador da pressão de óleo indica a pressão (em P.S.I.) de que o óleo do sistema de lubrificação está sendo enviado para as partes móveis do motor. O motor deve ser cortado (desligado) imediatamente se o indicador falhar ao registrar a pressão quando estiver funcionando.

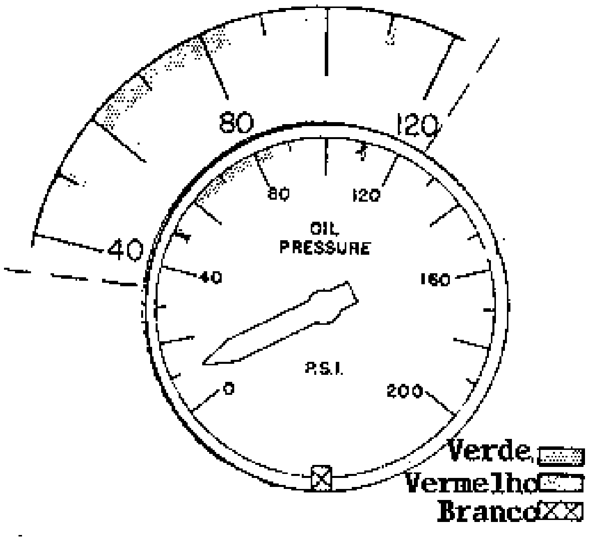


Figura 10-27 Indicador da pressão de óleo.

Oscilações excessivas no ponteiro indicam que existe ar nas linhas de tomada de pressão para o indicador ou que alguma unidade do sistema de óleo está com um funcionamento impróprio.

Indicador tacômetro

O tacômetro (ou contagiros) mostra a r.p.m. do eixo de manivelas do motor. O sistema usado no teste do motor é o mesmo que o sistema existente no avião.

A figura 10-28 mostra um tacômetro com as faixas marcadas, colocadas na cobertura de vidro.

O tacômetro, geralmente referido como "TACH", é calibrado em centenas com graduações a cada intervalo de 50 r.p.m.. O "dial" mostrado aqui começa no 5 (500 r.p.m.) e vai até 40 (4.000 r.p.m.).

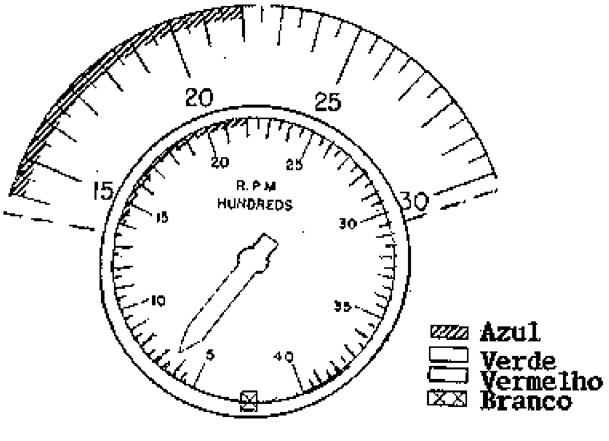


Figura 10-28 Tacômetro.

O arco azul no tacômetro indica a faixa de r.p.m. na qual a operação "autopobre" é permitida. A parte inferior deste arco, 1.400 r.p.m., indica a r.p.m. mínima permitida em vôo. A parte superior do arco azul, 2.200 r.p.m., indica a rotação do motor na qual o controle de mistura deve ser movido para "auto-rico".

O arco verde indica a faixa de r.p.m. na qual é necessária a operação na condição de "auto-rico".

O topo (parte superior) do arco verde, 2.400 r.p.m., indica a força máxima contínua (*MAXIMUM CONTINUOUS POWER*).

Todas as operações acima desta r.p.m. são limitadas por tempo (geralmente de 5 ou 15 min).

A linha vermelha indica a r.p.m. máxima permitida durante a decolagem 2.700r.p.m. Qualquer r.p.m. acima deste valor é uma condição de disparo (*OVERSPEED CONDITION*).

Indicador da temperatura na cabeça do cilindro

Durante o procedimento de teste do motor, um "pirômetro" indica a temperatura na cabeça do cilindro, dos vários cilindros do motor que estão sendo testados.

Pares termoelétricos são conectados em vários cilindros. Através de uma chave seletora, qualquer temperatura de cabeça de cilindro pode ser indicada no pirômetro. Temos uma cablagem e uma escala para cada motor instalado no avião.

As temperaturas da cabeça dos cilindros são indicadas por mostradores conectados a um termopar fixado ao cilindro que vai mostrar no teste o aquecimento, em particular do motor. O termopar pode ser colocado como uma junta especial localizada sob a vela traseira; ou num alojamento na parte superior ou traseira da cabeça do cilindro.

A temperatura gravada em ambos os pontos é meramente uma referência ou controle de temperatura; mas por quanto mais tempo forem mantidos os limites descritos, a temperatura da cobertura do cilindro, válvula de escapamento e pistão, também permanecerão na faixa satisfatória. Desde que o termopar seja fixado em apenas um cilindro, isto fará nada mais do que dar uma evidência da temperatura geral do motor. Entretanto, normalmente isto pode ser a indicação de que a temperatura remanescente no cilindro deverá ser baixa; e condições como detonação não serão indicadas a não ser que venham a ocorrer no cilindro em que está fixado o termopar.

A marcação na faixa do mostrador de temperatura do cilindro é similar a do indicador da pressão de admissão e do indicador tacômetro.

O indicador de temperatura da cabeça do cilindro, ilustrado na figura 10-29, é um instrumento duplo que incorpora duas escalas de temperatura separadas. As escalas são calibradas com incrementos de 10, com numerais de 0º, 100º, 200º e 300º de graduações. O espaço entre qualquer marca de graduação representa 10 º C.

O arco azul no mostrador indica a faixa na qual é permitida operação em "auto-pobre". A parte inferior deste arco, 100 º C, indica a temperatura mínima desejada para assegurar a operação eficiente do motor durante o vôo.

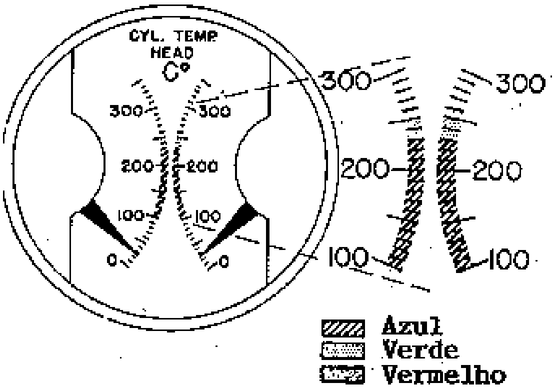


Figura 10-29 Indicador de temperatura da cabeça do cilindro.

O topo (parte superior) do arco azul, 230 º C, indica a temperatura na qual o controle de mistura deve ser movido para a posição "auto-rica". O arco verde descreve a faixa onde a operação deve ser feita em "auto-rica". O topo (parte superior) deste arco 248 º C indica a tração máxima contínua; toda operação acima desta temperatura é limitada por tempo (usualmente 5 a 15 min). A linha vermelha indica a temperatura máxima permitida, 260 º C.

Torquímetro

O sistema de pressão de torque é usado para indicar a resposta de tração do motor nos vários ajustes de tração. O torquímetro indica o montante de pressão do torque em p.s.i. O instrumento é usualmente numerado como mostrado na figura 10-30; e calibrado em intervalos de 5 p.s.i.

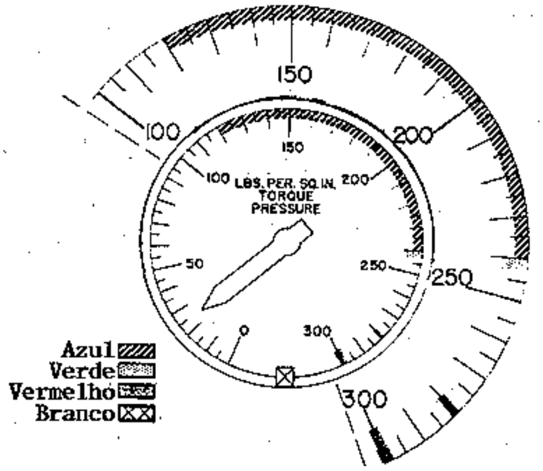


Figura 10-30 Torquímetro.

O arco azul no torquímetro indica a faixa permitida para operação em "autopobre". A parte inferior do arco, 120 p.s.i. é o mínimo desejável durante o vôo, como determinado pelas características particulares do motor. O topo (parte superior) deste arco 240 p.s.i. indica a pressão de torque na qual o controle de mistura deve ser movido para "auto-rica".

A linha verde indica o ponto de tração máxima contínua, e acima deste ponto o ajuste "auto-rica" deve ser usado.

Qualquer operação acima desta pressão de torque indicada deve ser limitada por tempo (normalmente 5 a 15 min). Se o arco verde é usado no lugar da linha verde, a parte inferior do arco é o ponto acima do qual a operação deve ser limitada.

Duas marcas radiais vermelhas são geralmente mostradas no torquímetro. A linha vermelha mais curta até 280 p.s.i. indica a máxima pressão de torque quando a injeção de água não é usada. A linha vermelha maior (300 p.s.i.) representa a máxima pressão de torque quando a injeção de água for usada.

Indicador de sucção

O indicador de sucção não é classificado como um instrumento de motor, desde que este não indique qualquer informação que determine a operação eficiente do motor. O mecânico é preocupado (interessado) com isto, porque ele é responsável pelo ajuste do regulador de sucção e teste da leitura no mostrador de sucção durante os testes operacionais do motor.

O mostrador de sucção (figura 10-31) é calibrado para indicar a redução da pressão abaixo da pressão atmosférica em polegadas de mercúrio; o espaço entre as linhas de graduação representa 0,2 in.Hg.

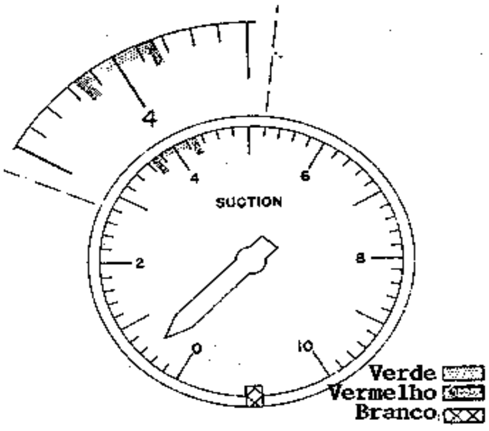


Figura 10-31 Indicador de sucção.

A linha vermelha com 3,75 in.Hg indica a sucção mínima desejável. O arco verde mostra a faixa de sucção desejável, 3,75 in.Hg até 4,25 in.Hg. A linha vermelha de 4,25 in.Hg indica a sucção máxima desejável.

Sistema de quantidade de óleo

O sistema de quantidade de óleo determina o seu consumo durante o teste do motor em funcionamento, medindo a exata quantidade de óleo consumida pelo motor durante os vários períodos de operação.

O sistema consiste de um tanque de alimentação, uma linha de óleo para o motor, uma linha de retorno para o óleo de retorno do motor, sistema de refrigeração e uma escala de peso (quantidade), que registra todas as quantidades, incluindo tanque cheio. O óleo consumido pelo .motor é determinado meramente pela subtração da leitura da escala de quantidade de tanque cheio.

Manômetro de medição diferencial

O manômetro de medição diferencial, usado durante o teste final, é de 100 in., manômetro de água tubo simples (um indicador de medição de pressão), este é conectado ao carburador, de maneira a medir a diferença de pressão (medir a força do ar) entre a câmara A e a câmara B (nos motores que usam carburadores com injeção de pressão).

Através do uso deste instrumento, as medições características do carburador são rigorosamente observadas durante os testes do funcionamento do motor.

Instrumentação geral

Muitos dos vários indicadores e meios de indicação mostram apenas que o sistema está funcionando, ou há uma falha de função. Em algumas aeronaves, uma luz de aviso acende quando a pressão de combustível está baixa. Uma luz similar é usada para os sistemas de pressão de óleo.

OPERAÇÃO DO MOTOR CONVENCIONAL

A operação do grupo motopropulsor é controlada da cabine de comando (*cockpit*). Algumas instalações possuem numerosos controles manuais e manetes conectadas ao motor por hastes, cabos, quadrantes, roldanas, etc. Os controles manuais, em muitos casos, são convenientemente montados nos quadrantes na cabine de comando (*cockpit*).

Adesivos e marcas são colocados no quadrante para indicar as funções e posições das manetes. Em algumas instalações, embreagens de fricção estão instaladas para segurar os controles no lugar. Pressão de admissão, r.p.m., temperatura do motor, do óleo, do ar do carburador, e a razão combustível/ar podem ser controladas através da manipulação de controles na cabine de comando. Coordenando o movimento dos controles com as leituras dos instrumentos, os excessos dos limites operacionais são protegidos.

A operação dos motores é normalmente limitada por faixas específicas operacionais, como as seguintes:

(1) Velocidade do eixo de manivelas (r.p.m.).
(2) Pressão de admissão.
(3) Temperatura na cabeça do cilindro.
(4) Temperatura do ar do carburador.
(5) Temperatura do óleo.
(6) Pressão do óleo.
(7) Pressão de combustível.
(8) Ajuste da mistura combustível/ar.

Os procedimentos, pressões, temperaturas e r.p.m. usados através desta seção são somente com o propósito de ilustração, e não possuem aplicação geral. Os procedimentos operacionais e os limites usados nas fabricações individuais e modelos de motores de aviões variam consideravelmente dos valores mostrados aqui. Para a informação exata recorre-se ao modelo de motor específico, consultando as instruções aplicáveis.

Instrumentos de motor

O termo "instrumentos de motor" usualmente inclui todos os instrumentos necessários para medir e indicar o funcionamento do grupo motopropulsor. Os instrumentos de motor são geralmente instalados no painel de instrumentos de maneira que todos eles sejam facilmente observados ao mesmo tempo.

Alguns aviões simples e leves (menores) podem ser equipados apenas com um tacômetro, um indicador de pressão de óleo, e indicadores de temperatura de óleo.

Os aviões mais pesados e mais complexos deverão ter todos, ou parte, dos seguintes instrumentos de motor:

(1) Sistema de indicação e aviso de pressão de óleo.
(2) Indicador de temperatura de óleo.
(3) Sistema de indicação e aviso de pressão de combustível.
(4) Indicador de temperatura de ar no carburador.
(5) Indicador de temperatura na cabeça do cilindro para motores refrigerados a ar.
(6) Indicador de pressão de admissão.
(7) Tacômetro.
(8) Indicador de quantidade de combustível.
(9) Indicador de fluxo de combustível ou mistura de combustível.
(10) Indicador de quantidade de óleo.
(11) Indicador de quantidade de aumento de líquido.
(12) Indicadores de aviso de fogo.
(13) Meios para indicar quando a hélice está em reverso.
(14) Indicador de BMEP (pressão efetiva de acionamento ao freio).

Partida do motor

A técnica correta de partida é uma parte importante na operação do motor. Procedimentos impróprios muitas vezes são usados porque alguns dos princípios básicos envolvidos na operação do motor são mal interpretados.

Procedimentos típicos para partida, relativos ao motor, são discutidos no volume 1 de Matérias Básicas, capítulo 11. Em geral, dois procedimentos diferentes de partida devem cobrir todos os motores.

Um procedimento é para motores que usam carburadores tipo bóia, e o outro para motores com carburadores de injeção sob pressão. O procedimento específico do fabricante para um motor em particular e a combinação com a aeronave deve sempre ser seguida.

Aquecimento do motor

O aquecimento do motor é importante, particularmente quando as suas condições são desconhecidas.

Ajuste impróprio na mistura de marcha lenta, centelha intermitente nas velas, e ajuste impróprio das válvulas do motor, – todos possuem um efeito prejudicial na estabilidade do motor. Portanto, o aquecimento deve ser feito na velocidade do motor onde a máxima estabilidade é obtida. Experiência tem mostrado que a velocidade ótima de aquecimento é entre 1.000 e 1.600 r.p.m..

A velocidade selecionada deve ser aquela na qual a operação do motor é a mais suave, desde que a suavidade da operação seja a indicação de que todas as fases da operação do motor sejam as mais estáveis.

Muitos motores *PRATT and WHITNEY* incorporam válvulas de alívio de pressão de óleo com temperatura compensada. Esse tipo de válvula de alívio resulta em uma alta pressão de óleo imediatamente após as partidas, se a temperatura de óleo estiver abaixo de 40 º C. Consequentemente, a temperatura na partida destes motores é aproximadamente atingida em 1.000 r.p.m. e então acelera-se, sendo a velocidade do motor mais estável pelo menos até a temperatura do óleo atingir 40 º C.

Durante o aquecimento, observam-se os instrumentos associados a operação do motor. Isto deverá ajudar a ter certeza de que todas as fases operacionais do motor estejam normais. Por exemplo, a pressão de óleo deve ser indicada aos 30 segundos após a partida.

Além disto, se a pressão de óleo não subir para ou acima do normal, em 1 minuto após a partida do motor, o motor deve ser "cortado" (desligado).

As temperaturas da cabeça do cilindro e de refrigeração devem ser observadas continuamente para que elas não excedam ao limite máximo permitido.

Uma mistura pobre não deve ser usada para apressar o aquecimento.

Atualmente, na r.p.m. de aquecimento, existe uma pequena diferença no suprimento da mistura para o motor, quer a mistura esteja na posição "rica" ou "pobre", desde que a medição desta faixa de força seja governada pela posição do acelerador.

O aquecimento do carburador pode ser usado quando necessário sob condições que conduzam a formação de gelo.

Para motores equipados com carburadores tipo bóia, isto é desejável para elevar a temperatura do ar do carburador durante o aquecimento, prevenindo a formação de gelo e assegurando a operação suave.

O teste de segurança do magneto pode ser feito durante o aquecimento.

O propósito é assegurar que todas as conexões estejam firmes (seguras) e que o sistema de ignição permita operação em ajustes de alta tração, usada durante fases posteriores ao teste de solo.

O tempo necessário para o respectivo aquecimento fornece ampla oportunidade de fazer este teste simples, o que pode revelar uma condição não aconselhável para continuar a operação até que as correções tenham sido feitas.

O teste de segurança do magneto é feito com a hélice em posição de alta r.p.m., em aproximadamente 1.000 r.p.m.

Move-se a chave de ignição de "ambos" para "direito" e retorna-se para "ambos"; de "ambos" para "esquerdo" e retorna-se para "ambos", de "ambos" para “desligado” momentaneamente, e retorna-se para "ambos".

Quando for colocada a chave de "ambos" para a posição de magneto simples, uma pequena, mas notável queda na r.p.m. deverá ocorrer. Isto indica que o magneto oposto está sendo bem "aterrado".

O corte completo do motor quando o contato é colocado de "ambos" para "OFF" (desligado) indica que ambos magnetos estão apropriadamente aterrados.

Falha para obter alguma queda de r.p.m. quando da colocação na posição magneto simples, ou falha no corte do motor quando colocado o contato para "desligado”, indica que uma ou ambas conexões de aterramento não estão seguras.

Teste de solo

O teste de solo é realizado para avaliar o funcionamento do motor pela comparação da força aplicada, como medição da pressão de admissão, com a tração de saída (final), é medida pela r.p.m. ou pressão de torque.

O motor pode ser capaz de produzir a tração indicada, até alcançar tração de decolagem, e não estar funcionando bem.

Apenas através da comparação da pressão de admissão requerida durante o teste, contra um conhecimento básico, esta condição pode ser descoberta.

O teste do magneto pode também falhar ao mostrar um curto-circuito e, desde que tolerável, a queda de r.p.m. é apenas a medição de um funcionamento impróprio do sistema de ignição, e não necessariamente afetado por outros fatores.

Ao contrário, é possível para o teste do magneto provar uma condição insatisfatória presente em outro lugar do motor.

O teste de solo é feito após o motor completar o aquecimento, e consiste no teste de operação do grupo motopropulsor e equipamentos acessórios através da audição, inspeção visual, e através da correta interpretação das leituras dos instrumentos, movimentos dos controles e reações aos contatos.

Durante o teste de solo, o avião deve ser colocado contra o vento, se possível, para obter a vantagem do fluxo de ar de refrigeração. O teste de solo deve ser feito como segue:

Teste do controle de posição

Flapes de cobertura (*Cowl Flaps*) → abertos
Mistura → rica
Hélice → alta r.p.m.
Aquecimento do carburador → frio
Filtro de ar do carburador → como requerido

Controle do superalimentador → baixo, neutro ou "off" (onde aplicável)

Procedimento

(1) Testar a hélice de acordo com a instrução do fabricante.

(2) Abrir o acelerador para a pressão de admissão, equalizando a pressão barométrica.

(3) Acionar o contato de "ambos" para "direito" e retornar para "ambos". Acionar de "ambos" para "esquerdo" e retornar para "ambos". Observar a queda de r.p.m. durante a operação nas posições "direita" e "esquerda". A queda máxima não deve exceder àquela especificada pelo fabricante do motor.

(4) Testar as pressões de combustível e óleo. Elas devem estar dentro da tolerância estabelecida para aquele motor.

(5) Anotar a r.p.m.

(6) Recuar o acelerador.

Em adição as operações descritas acima, testa-se o funcionamento dos vários itens do equipamento do avião, como sistemas de gerador, sistemas hidráulicos, etc.

Teste do ângulo (passo) da hélice

A hélice é testada para assegurar adequada operação do controle de ângulo e o mecanismo de troca de passo. A operação de controle do passo da hélice é testada através das indicações do tacômetro e do indicador de pressão de admissão, quando o controle do governador da hélice é movido de uma posição para outra. Cada tipo de hélice necessita de um procedimento diferente.

Teste de potência

A relação específica entre a r.p.m. e a pressão de admissão deve ser testada durante cada teste de solo, que pode ser feito ao mesmo tempo em que o teste de magneto, durante o aquecimento.

A idéia básica deste teste é medir a performance do motor contra uma condição padrão. Testes de calibração vão determinar que o motor é capaz de produzir uma determinada tração, uma determinada r.p.m. e uma pressão de admissão.

A calibração original, ou medição de tração é feita através de um dinamômetro. Durante o teste no solo, a tração é medida com a hélice. Em condições de densidade de ar constante, a hélice, em alguma posição de passo fixo, irá sempre necessitar da mesma r.p.m para absorver a mesma tração do motor. Esta característica é usada na determinação da condição do motor.

Quando o controle do governador é comandado para ângulo baixo total, a hélice opera como uma hélice de passo fixo. Sob estas condições, a pressão de admissão para qualquer motor específico, com controle de mistura "auto-rica", indica se todos os cilindros estão operando apropriadamente. Com um ou mais cilindros mortos, ou com queima intermitente, a operação dos outros cilindros deverá fornecer mais força para obter uma determinada r.p.m. Consequentemente, o acelerador do carburador deve estar mais aberto.

Diferentes motores do mesmo modelo usando a mesma instalação de hélice numa localização geográfica devem requerer a mesma pressão de admissão, de 1in.Hg (uma polegada de mercúrio) para obter a r.p.m. quando o barômetro e a temperatura estiverem com a mesma leitura.

A pressão de admissão mais alta que a normal geralmente indica um cilindro inoperante (morto), ou tempo de ignição atrasado. Uma excessiva baixa pressão no duto para uma determinada r.p.m. normalmente indica que o tempo de ignição está adiantado. Ignição adiantada pode causar detonação e perda de tração nos ajustes de decolagem.

Antes da partida do motor, observa-se o indicador de pressão de admissão, no qual deverá ser lido aproximadamente a pressão atmosférica (barométrica) quando o motor não estiver funcionando.

Ao nível do mar é aproximadamente de 30 in.Hg (polegadas de mercúrio), nos campos acima do nível do mar a pressão atmosférica deverá ser menor, dependendo da altitude acima do nível do mar.

Quando o motor é girado (colocado a funcionar) e então acelerado, a pressão de admissão deverá diminuir até que, ao ser então alcançada, em torno de 1.600 ou 1.700 r.p.m., esta deverá começar a crescer. Em aproximadamente 2.000 r.p.m. com a hélice na posição passo mínimo, a pressão de admissão deve ser a mesma que a pressão barométrica.

Se a leitura no indicador de pressão (campo de pressão barométrica) era 30 in.Hg, antes da partida do motor, a pressão lida deverá retornar aos 30 in.Hg a aproximadamente 2.000 r.p.m. Se o indicador de pressão de admissão indica 26 in.Hg antes da partida, este deverá mostrar 26 in.Hg a aproximadamente 2.000

r.p.m.. A r.p.m. exata deverá variar com os vários modelos de motores ou por causa das variações das características da hélice.

Em certas instalações, a r.p.m. necessária para assegurar a pressão barométrica do campo pode ser acima de 2.200 r.p.m. Contudo, uma vez a r.p.m. requerida tenha sido estabelecida e instalada, qualquer variação apreciável indica algum mau funcionamento. Esta variação pode ocorrer porque o batente de ângulo (passo) mínimo da hélice não está apropriadamente regulado (colocado), ou porque o carburador ou o sistema de ignição não estão funcionando devidamente.

A precisão do teste pode ser afetada pelas seguintes variáveis:

(1) VENTO → algum movimento de ar apreciável (5 m.p.h. ou mais) irá trocar a carga na pá da hélice quando esta estiver na posição de passo fixo. A direção do vento irá aumentar a R.P.M. obtida com uma dada pressão de admissão. Um vento de cauda irá diminuir a R.P.M..

(2) TEMPERATURA DA ATMOSFERA → os efeitos das variações na temperatura da atmosfera tendem a cancelar qualquer outro. Grande admissão no carburador e temperaturas altas no cilindro tendem a reduzir a r.p.m., mas a carga da hélice é aliviada por causa da menor densidade do ar.

(3) TEMPERATURAS DO MOTOR E DO SISTEMA DE INDUÇÃO → se as temperaturas do cilindro e do carburador são altas por causa de outros fatores que não seja a temperatura atmosférica, uma baixa r.p.m. deverá resultar, desde que a força seja diminuída sem a compensação da redução na carga da hélice.

(4) TEMPERATURA DO ÓLEO → óleo frio tende a manter baixa a r.p.m., pois a alta viscosidade resulta no aumento de fricção e perda de força.

A adição de um torquímetro pode aumentar a precisão do teste de potência através do fornecimento de outra medição de tração final. Tão logo o teste seja feito com as pás em uma posição de passo fixo conhecido, o torquímetro não fornece informação adicional, mas seu uso pode aumentar a precisão; em frequentes instantes, onde as escalas do tacômetro são graduadas mais grosseiramente, as leituras do indicador tacômetro podem ser a mais conveniente fonte de informação.

Teste operacional do sistema de ignição

Na realização do teste operacional do sistema de ignição (teste do magneto), as características de absorção de força da hélice em posição de baixo ângulo são utilizadas.

No contato para os magnetos individualmente, o corte das ligações opostas resulta em uma diminuição da razão de combustão, que causa o mesmo efeito que o retardo do avanço da vela.

A queda na velocidade do motor é medida na perda de tração pela diminuição da razão de combustão.

Quando o teste do magneto está concluído, a queda na indicação de pressão do torquímetro é um bom suplemento para a variação de r.p.m. e nos casos onde a escala do torquímetro é graduada grosseiramente, a variação do torquímetro pode fornecer uma evidência positiva da troca de tração, quando é acionada a posição individual do magneto.

Não se deve esperar uma perda que exceda a 10% na pressão do torquímetro, quando operado com um magneto simples. Através da comparação da queda da r.p.m. com um conhecimento padrão, o seguinte será determinado:

(1) A sincronização própria de cada magneto.

(2) O desempenho geral do motor como evidência pela operação suave.

(3) Teste adicional para a própria conexão dos cabos de ignição.

Qualquer irregularidade anormal em cada magneto é uma indicação de falha de ignição causada por uma vela mal conectada, ou por mau funcionamento do sistema de ignição. O operador deve ser muito sensível a irregularidade do motor durante este teste. A ausência de queda na r.p.m. poderá ser uma indicação da falta de "aterramento" de um dos lados do sistema de ignição.

O corte completo, quando selecionado um magneto, é evidência definitiva de que este lado do sistema de ignição não está funcionando.

Diferença excessiva na queda de r.p.m. entre as posições esquerda e direita da chave pode indicar a diferença na sincronização entre os magnetos esquerdo e direito.

Tempo suficiente deve ser dado ao teste de cada posição individual do contato para permitir a completa estabilização da velocidade do motor e da pressão de admissão.

Existe uma tendência de fazer este teste muito rápido com indicações de resultados errôneos. Não é excessiva a operação de no mínimo 1 minuto da ignição individual.

Outro ponto que deve ser enfatizado é o perigo de tacômetro com ponteiro preso. O tacômetro deve ser "batido" levemente para se ter certeza que o ponteiro do indicador move livremente.

Em alguns casos, a "prisão" do tacômetro tem causado erros na indicação acima de 100 r.p.m. Sobre certas condições, o sistema de ignição deve ter dado 200 r.p.m. de queda com apenas 100 r.p.m. de queda indicada no instrumento.

Em muitos casos, uma leve "batida" no instrumento elimina o problema e resulta em leituras precisas.

De acordo com os resultados do teste do sistema de ignição, grava-se o montante de queda total de r.p.m. que ocorre rapidamente, e o montante que ocorre lentamente.

Este colapso na r.p.m. fornece meios de localizar certos problemas no sistema de ignição.

Isto pode economizar um longo tempo de trabalho desnecessário através da manutenção limitada a parte específica do sistema de ignição, que é responsável pelo problema.

Queda rápida de r.p.m. é normalmente resultado de falha ou das velas na cablagem de ignição. Isto é verdadeiro porque a falha nas velas ou cablagem tem efeito rápido. O cilindro vai parar (morrer) ou começar a funcionar intermitentemente no instante em que o contato (chave) é movido da posição "ambos" para "direito" ou "esquerdo".

Queda lenta de r.p.m. normalmente é causada pela incorreta sincronização da ignição ou falha no ajuste de válvula. Com a sincronização de ignição atrasada, a carga é inflamada muito tarde com relação ao curso do pistão, para que a pressão de combustão seja a máxima no tempo próprio.

O resultado é uma grande perda de força mais do que a normal para ignição simples (um magneto) porque um "pico" de pressão mais baixa é obtido no cilindro. Contudo, esta perda de força não deve ocorrer tão rapidamente quando acompanhada com a parada (morte) da vela de ignição. Isto explica a lenta queda de r.p.m., quando comparada com a queda instantânea com uma vela inoperante (morta) ou cablagem defeituosa.

Claros (folgas) de válvulas incorretas, através deste efeito no cruzamento das válvulas pode causar uma mistura muito rica ou muito pobre.

A mistura muito rica ou muito pobre pode afetar uma vela mais do que outra, por causa da localização, e mostrar uma queda de r.p.m. alta ou lenta no teste de ignição.

Teste da mistura de cruzeiro

O teste da mistura de cruzeiro é um teste de medição do carburador. Testando as características de medição do carburador a intervalos de 200 a 300 r.p.m., até a velocidade de 800 r.p.m. para a velocidade do teste do sistema de ignição, um completo padrão da "performance" básica do carburador é dado.

Para fazer este teste, coloca-se o motor acima da velocidade especificada com a hélice em ângulo totalmente reduzido. O primeiro teste é feito a 800 r.p.m. Com o controle da mistura do carburador na posição "auto-rica", lê-se a pressão de admissão.

Com o acelerador permanecendo na mesma posição, o controle de mistura é movido para a posição "auto-pobre".

A velocidade do motor e as leituras de pressão de admissão devem ser anotadas. Repete-se este teste nas r.p.m. de 1.000, 1.200, 1.500, 1.700 e 2.000 ou nas r.p.m. especificadas pelo fabricante.

Há proteção contra a má indicação do instrumento através da leve "batida" no tacômetro.

Movendo o controle de mistura da posição "auto-rico" para a posição "autopobre", testa-se a mistura de cruzeiro.

Em geral, a velocidade não deve aumentar mais de 25 r.p.m. ou diminuir mais do que 75 r.p.m. durante a troca de "auto-rico" para "auto-pobre".

Por exemplo, supondo que a troca de r.p.m. esteja acima de 100 para o teste de 800 até 1.500 r.p.m. é óbvio que, a provável causa, seja uma mistura de lenta incorreta. Quando o ajuste de lenta é correto, o carburador deverá corrigir através desta faixa.

Teste de velocidade e de mistura de marcha lenta

Falhas nas velas dificultam e, inevitavelmente, resultam em falha para fornecer um ajuste de mistura apropriado.

A tendência é parecer que o ajuste de mistura lenta esteja extremamente do lado de "rica", e a compensação para isto é através do ajuste do batente do acelerador de uma relativa alta r.p.m. para uma mínima lenta.

Com o ajuste apropriado da condição mistura lenta, é possível operar o motor em marcha lenta (IDLE r.p.m.) por longos períodos.

Com estes ajustes resultarão falhas mínimas nas velas e fumaça na descarga, pagando dividendos pela economia de freios do avião após os pousos e durante o táxi.

Se o vento não estiver muito forte, o ajuste de mistura lenta pode ser testado facilmente durante o teste de solo, como segue:

(1) Fechar o acelerador.

(2) Mover o controle de mistura para a posição "corte de lenta", e observar a troca na r.p.m. Retornar o controle de mistura para trás para a posição "rica" antes do corte (parada) do motor.

Quando a manete de controle de mistura é movida para corte de lenta, e antes do corte normal, uma ou duas coisas podem ocorrer momentaneamente:

(1) A rotação do motor pode aumentar. Um aumento de r.p.m., porém menor do que a recomendada pelo fabricante (normalmente 20 r.p.m.). Um grande aumento indica que a mistura está muito "rica".

(2) A rotação do motor pode não aumentar ou cair imediatamente. Isto indica que a mistura em marcha lenta está muito "pobre".

A mistura de marcha lenta deve ser colocada para fornecer uma mistura levemente mais "rica" do que a de maior tração, resultando em 10 ou 20 r.p.m. de aumento após o corte de lenta "*idle cut off*".

A mistura de marcha lenta dos motores equipados com injetores elétricos pode ser testada através do acionamento da chave do injetor, notando qual a troca na pressão de admissão e na r.p.m.. A diminuição da r.p.m. e o aumento da pressão de admissão deverão ocorrer quando o injetor for energizado se a mistura lenta estiver muito "rica". Se a mistura de lenta é ajustada muito "pobre", a r.p.m. deverá aumentar e a pressão de admissão diminuir.

Teste do superalimentador de duas velocidades

Para se testar a operação do mecanismo do ventilador, coloca-se a velocidade do motor em uma r.p.m. suficientemente alta para obter a pressão mínima de óleo requerida para a operação da embreagem. Move-se o controle do superalimentador para a posição "alta". Uma queda momentânea na pressão de óleo deve acompanhar a mudança.

O acelerador é aberto para obter não mais do que 30 in.Hg na pressão de admissão. D

Quando a velocidade do motor estiver estabilizada, observa-se a pressão de admissão e a mudança do controle do superalimentador para a posição "baixa" sem movimento do acelerador.

Uma súbita queda na pressão de admissão indica que o acionador do superalimentador está funcionando apropriadamente.

Se não ocorrer queda, a embreagem pode estar inoperante.

Tão logo a troca de pressão de admissão for testada, reduz-se a velocidade do motor para 1.000 r.p.m., ou menos.

Se a mudança do superalimentador não parecer satisfatoriamente, opera-se o motor a 1.000 r.p.m. por 2 ou 3 min para permitir que a geração de calor, durante a mudança, se dissipe para as embreagens, repetindo o procedimento de mudança. A mudança no ventilador deve ser feita sem hesitação ou parada entre as posições de controle, para evitar arrasto ou deslizamento nas embreagens.

Deve ser certificado de que o controle do superalimentador está em posição de "baixa", quando o teste de solo estiver terminado.

Teste de aceleração e desaceleração

O teste de aceleração é feito com o controle de mistura em ambos "auto-rico" e "auto-pobre".

Move-se o acelerador de lenta para uma tração de decolagem suave e rapidamente. A r.p.m. do motor deverá aumentar sem hesitação e sem evidência de retorno de chama.

Este teste deverá, em muitos casos, apresentar condições críticas, que não são reveladas por nenhum outro teste.

Isto é verdadeiro por causa da alta pressão que os cilindros desenvolvem durante este teste, adicionando ao máximo esforço em ambos sistemas de ignição e sistema de medição de combustível.

Esta adição máxima é suficiente para elevar ao máximo certos defeitos que de outro modo não apareceriam.

Os motores devem ser capazes de acelerações rápidas, desde que em uma emergência, como uma "arremetida" durante o pouso, a capacidade de um motor em acelerar rapidamente em alguns casos é a diferença entre o sucesso de uma "arremetida" e um acidente no pouso.

O teste de desaceleração é feito durante o "retardamento" do acelerador no teste de aceleração.

A r.p.m. deve diminuir suave e uniformemente. Poderá haver ou não uma pequena tendência de "pós-queima" no motor.

Parada do motor

Com cada tipo de instalação de carburador, procedimentos específicos são usados para a parada do motor.

O procedimento geral descrito nos parágrafos seguintes reduz o tempo para a parada, minimiza a tendência de retorno de chama, e, o mais importante, previne o superaquecimento do ar da refrigeração forçada dos motores durante a operação no solo.

Na parada de qualquer motor de avião, os controle devem ser colocados como se segue, independente do tipo de carburador ou sistema de combustível.

(1) Os flapes de cobertura estarão sempre colocados na posição "totalmente abertos" para evitar superaquecimento do motor, e serão mantidos nesta posição após a parada para prevenir aquecimento residual para a deterioração do sistema de ignição.

(2) As persianas (tampas) do radiador de óleo devem estar "totalmente abertas" para manter a temperatura do óleo de retorno normal.

(3) As persianas do intercambiador são mantidas na posição totalmente abertas.

(4) O controle de ar quente do carburador é mantido na posição "fria" para prevenir danos que podem ocorrer com o retorno de chama.

(5) As portas de descarga do superalimentador são colocadas na posição "totalmente abertas".

(6) O controle de duas velocidades é colocado na posição "baixa ventilação".

(7) A hélice de duas posições será normalmente parada com o controle colocado na posição ângulo alto "*high pitch*" (diminuindo a r.p.m.).

Abre-se o acelerador para aproximadamente 1.200 r.p.m. e muda-se o controle da hélice para a posição ângulo alto "*high pitch*". Mantendo o motor em operação aproximadamente 1 minuto antes do "corte" (parada), assim que o óleo for passado para o motor vindo da hélice pode ser retornado e enviado para o tanque.

Contudo, para inspecionar o pistão da hélice quanto a abastecimento, e protegê-la para outros propósitos especiais, esta hélice pode ser parada com o controle de hélice na posição "baixo ângulo", e aumento de r.p.m. quando o motor for parado.

Nenhuma menção é feita ao acelerador, controle de mistura, válvula seletora de combustível e contatos de ignição quanto ao procedimento de colocação, porque a operação destes controles varia com o tipo de carburador usado no motor.

Motores equipados com carburador "tipo bóia", sem unidade de corte de lenta, são parados como segue:

(1) Ajustar o acelerador para obter a velocidade de aproximadamente 600 a 800 r.p.m., dependendo do tipo do motor.

(2) Fechar a válvula seletora de combustível.

(3) Abrir o acelerador lentamente até o motor operar a aproximadamente em 800 a 1.000 r.p.m.

(4) Observar a pressão do combustível. Quando esta cair para zero, girar o contato de ignição para a posição "desligada" (*OFF*) e, simultaneamente, mover o acelerador lenta-

mente para a posição "totalmente aberta". Esta operação deverá remover a carga de aceleração do sistema de indução, e evitar a possibilidade de uma partida acidental.

(5) Quando o motor estiver parado, colocar a válvula seletora de combustível na posição "aberta", e reabastecer as linhas de combustível e o carburador através do uso da bomba auxiliar.

Um motor equipado com carburador que incorpore o corte de lenta (*IDLE CUT OFF*) é parado como segue:

(1) Colocar o motor em lenta, levando o acelerador de 800 a 1.000 r.p.m.

(2) Mover o controle de mistura para a posição corte de lenta (*IDLE CUT OFF*). No carburador "tipo pressão", isto causa chegada ao batente da válvula para parar (fechar) a descarga de combustível através do injetor de descarga.
No carburador "tipo bóia", isto equaliza a pressão na câmara da bóia e no injetor de descarga.

(3) Após a hélice ter parado de girar, colocar o contato de ignição na posição "fechado".

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO DE MOTOR

O entendimento dos princípios básicos com os quais operam os respectivos motores, e os vários fatores que afetam esta operação, são necessários para diagnosticar os problemas do motor. Alguns destes princípios básicos serão revistos não como uma mera repetição de teoria básica, mas como uma concreta e prática discussão de como fazer para melhorar a má performance (desempenho) do motor.

Os respectivos motores convencionais de aviões operam com o princípio de 4 tempos. Pressão da queima dos gases atuam sobre o pistão, causando com isto um respectivo retorno para cima dentro do cilindro.

Este movimento recíproco do pistão é mudado por um movimento de rotação através do eixo de manivelas, ao qual o pistão é acoplado através de uma biela. O eixo de manivelas, em movimento, é fixado ou engrenado na hélice do avião.

Portanto, o movimento de rotação do eixo de manivelas causa o giro da hélice. Desse modo, o movimento da hélice é resultado direto das forças que atuam sobre o pistão, como o movimento para cima e para baixo no cilindro.

Quatro movimentos (ciclos) do pistão, dois para cima e dois para baixo, são necessários para proporcionar uma força de impulso no eixo de manivelas. Cada um destes movimentos é considerado um evento no ciclo de operação do motor. Ignição dos gases (mistura combustível/ar) é o final do segundo, ou compressão. Então, o quinto evento que completa um ciclo de operação, ocorre no quarto movimento do pistão.

Quando o pistão se move para baixo no seu primeiro movimento (admissão), a válvula de admissão é aberta e a válvula de descarga é fechada. Quando o ar é sugado através do carburador, a gasolina é introduzida dentro da massa de ar formando uma mistura combustível (inflamável).

No segundo movimento, a admissão é fechada e a mistura combustível é comprimida quando o pistão se move para cima. Este é o movimento de compressão.

No instante exato, as velas lançam através dos terminais a centelha que inflama a mistura combustível/ar. A ignição da mistura combustível/ar é regulada para ocorrer um pouco antes do pistão chegar ao ponto morto alto.

Quando a mistura queima, a temperatura e a pressão sobem rapidamente. A pressão chega ao máximo logo após que o pistão tenha passado do ponto morto alto. As forças da expansão e da queima dos gases forçam o pistão para baixo, transmitindo energia ao eixo de manivelas. Isto é o movimento de potência. Ambas as válvulas de admissão e escape estão fechadas no início do movimento de potência.

Perto do final do movimento de potência, a válvula de escape abre, e os gases queimados começam a ser descarregados através do porte de escape. No movimento de retorno, o pistão força para fora os gases remanescentes. Esse movimento, o movimento de escape, finaliza o ciclo. Com a introdução de uma nova carga através do porte de admissão, a ação é repetida, e o ciclo de eventos ocorre repetidas vezes ao longo da operação do motor.

A ignição da carga de combustível deve regular a ignição para inflamar a carga ocorrer no tempo exato em relação ao curso do eixo de manivelas.

Os meios de ignição devem exatamente antes do pistão chegar ao ponto morto alto no movimento de compressão.

A ignição da carga neste ponto permite a pressão máxima para determinar o ponto ligeiramente após a passagem do pistão sobre o ponto morto alto. Para a combustão ideal, o ponto de ignição deve variar com a velocidade do motor e com os graus de compressão, a força da mistura, e outros fatores que governam a razão de queima. Contudo, certos fatores limitam a faixa de operação da r.p.m. e os perigos da operação com ajustes de centelha incorreta, proibindo o uso de controle variável de centelha em vários instantes.

Por isso, muitas unidades dos sistemas de ignição de aviões são reguladas (calibradas) para inflamar a carga combustível/ar em uma posição fixa (avançada).

Nos modelos mais novos de motores a quatro tempos, a válvula de admissão abre no ponto morto alto (*top center*), começando o movimento de admissão, e é fechada no ponto morto baixo (final do movimento de admissão). A válvula de escapamento é aberta no ponto morto baixo (final do tempo de potência) e fechada no ponto morto alto (final do movimento de escape). Maior eficiência pode ser obtida através da abertura da válvula de admissão de vários graus antes do ponto morto alto, e fechando vários graus após o ponto morto baixo.

A abertura da válvula de escape antes do ponto morto inferior, e fechando-a após o superior, também melhora o desempenho do motor. Como a válvula de admissão abre antes do ponto morto superior do ciclo de escape, e a válvula de escape fecha após o ponto morto superior do ciclo de admissão, existe o período onde ambas as válvulas, de admissão e escape, estão abertas ao mesmo tempo. Isto é conhecido como cruzamento de válvulas ou válvulas sobrepostas. A regulagem da válvula, com referência ao pistão ou a posição do eixo de manivelas é sempre feita em termos de antes ou depois dos pontos mortos altos e baixos (ATC, BTC, ABC e BBC).

A abertura da válvula de admissão, antes do pistão atingir o ponto morto superior, inicia o evento de admissão enquanto o pistão ainda está se movendo para cima no ciclo de exaustão. Isto ajuda a aumentar o volume da carga admitida para dentro do cilindro. A seleção do ponto onde a válvula de admissão deve abrir depende da r.p.m. na qual o motor normalmente opera.

Na baixa r.p.m., esta regulagem resulta em baixa eficiência, se não houver velocidade suficiente na entrada da carga e na saída dos gases de escape para desenvolver a energia necessária.

Também, na baixa r.p.m. o cilindro não é bem esvaziado, e gases residuais se misturam com o combustível que entra, além de serem apanhados durante o movimento de compressão. Alguma mistura que entra também é perdida através da válvula de escape aberta; contudo, as vantagens obtidas na operação em r.p.m. normal, compensam a deficiência que ocorrerá em baixa r.p.m. Outra vantagem desta sincronização da válvula é o aumento da vaporização do combustível e a benéfica refrigeração do pistão e cilindro.

Atrasando o fechamento da válvula de admissão, temos a vantagem da inércia do rápido movimento de entrada da mistura combustível/ar no cilindro. Este efeito de impacto aumenta a carga, que deverá ser formada se a válvula de admissão fechar no ponto morto inferior (final do movimento de admissão). A válvula de admissão inicia sua abertura durante a parte final do movimento de escape, permanece aberta durante todo o ciclo de admissão, e na primeira parte do movimento de compressão. A mistura combustível/ar é fornecida durante todo esse tempo.

A antecipação da abertura e o atraso do fechamento da válvula de escapamento conjugados com a sincronização da válvula de admissão irão aumentar a eficiência do motor. A válvula de descarga (escape) abre no tempo de potência vários graus do eixo de manivelas, antes do pistão chegar ao ponto morto inferior do curso. Esta abertura ajuda a obter uma melhor escorva dos gases queimados. Isto também resulta na melhoria da refrigeração dos cilindros, por causa da descarga mais cedo dos gases quentes. Atualmente, nos motores de avião, a maior porção dos gases de escapamento, e o não usado aquecido, descarregam antes do pistão chegar ao ponto morto inferior do curso. Os gases queimados continuam para a descarga quando o pistão passa pelo ponto morto inferior, move-se para cima no movimento de escapamento, e começa o próximo movimento de admissão.

O fechamento tardio da válvula de escape procura melhorar o retorno (escorva/ventilação) através da obtenção da vantagem da inércia do rápido movimento da saída (descarga) dos gases.

A válvula de escape realmente permanece aberta durante a parte final do movimento de força, todo o movimento de exaustão (escape), e a primeira parte do movimento de admissão.

Desta descrição de sincronia de válvulas, podemos ver que as válvulas de admissão e escape são abertas ao mesmo tempo na parte final do movimento de escape, e na primeira parte do movimento de admissão. Durante este período de sobreposição, os gases queimados remanescentes são descarregados através da saída de escape, enquanto uma carga de ar fresco é admitida através da entrada de admissão.

Muitos motores de avião são superalimentados. Superalimentação aumenta a pressão do ar ou da mistura combustível/ar antes de entrar no cilindro. Em outras palavras, o ar ou a mistura combustível/ar são forçados para dentro do cilindro antes de fazer a aspiração. A Superalimentação aumenta a eficiência do motor, tornando possível mantê-la nas grandes altitudes. Isto é verdade por causa da alta pressão a mais, colocada dentro do cilindro durante o evento de admissão. Este aumento do peso da carga resulta no correspondente aumento de tração. Em adição, a alta pressão dos gases de entrada ejeta mais facilmente os gases queimados para fora através do porte de descarga. Isto resulta em um melhor retorno (escorva/ventilação) do cilindro.

Processo de combustão

A combustão normal ocorre quando a mistura combustível/ar inflama no cilindro, queimando progressivamente com razão uniforme e precisa em torno da câmara de combustão. Quando a ignição é apropriadamente sincronizada, a pressão máxima é obtida imediatamente após o pistão ter passado o ponto morto alto no final do movimento de compressão.

A queima inicia em cada vela, e queima mais ou menos em forma de ondas (figura 10-32). A velocidade do percurso da chama é influenciada pelo tipo de combustível, razão da mistura combustível/ar, e a pressão e temperatura da mistura de combustível.

Com a combustão normal, o percurso da chama é em torno de 100 pés por segundo. A temperatura e a pressão no cilindro aumentam na razão normal da queima da mistura combustível/ar.

Este é um limite, contudo, para o valor da compressão e o aumento do grau de temperatura que pode ser tolerado com o cilindro do motor mantendo e permitindo uma combustão normal.

Todos os combustíveis possuem limites críticos de temperatura e compressão. Além deste limite, eles poderão inflamar espontaneamente e queimar com explosiva violência.

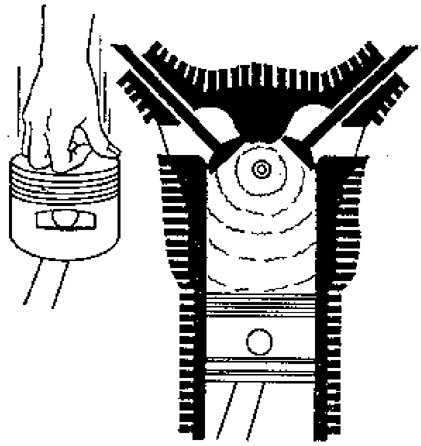


Figura 10-32 Combustão normal em um cilindro.

Esta instantânea e explosiva queima da mistura combustível/ar é, mais precisamente, na parte final da carga, chamada detonação.

Como anteriormente mencionado, durante a combustão normal, a chama fronteira progride do ponto de ignição para ao redor do cilindro. Essas chamas comprimem os gases à frente deles. Ao mesmo tempo, os gases vão sendo comprimidos para cima através do movimento do pistão.

Se a compressão total nos gases remanescentes não queimados excederem o ponto crítico, ocorrerá detonação. A detonação (figura 10-33) nesta ocasião, é uma combustão espontânea da carga não queimada a frente da chama após a ignição de carga.

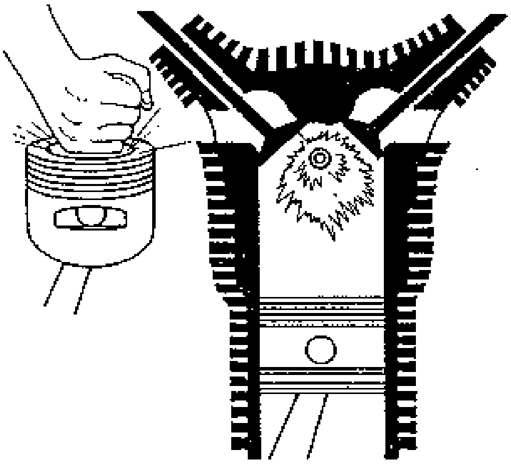


Figura 10-33 Detonação no cilindro.

A queima explosiva durante a detonação resulta em um aumento extremamente rápido de pressão. Este rápido aumento de pressão e alta instantânea de temperatura, combinada com a alta turbulência gerada, causa uma ação de "roçamento" no cilindro e no pistão. Isto pode produzir um furo através do pistão.

O ponto crítico da detonação varia com a razão de combustível para o ar na mistura. Por isto, a característica de detonação da mistura pode ser controlada pela variação na razão de combustível/ar. Nas altas trações, pressões de combustão e temperaturas são maiores do que nas baixas ou médias trações. Portanto, na alta tração a razão combustível/ar é feita mais "rica" do que o necessário para uma boa combustão na média ou baixa potência. Isto é feito porque, em geral, uma mistura "rica" não irá detonar tão rapidamente do que uma mistura "pobre".

A não ser uma detonação pesada, não haverá evidência de sua presença na cabine de comando. Detonações leves ou médias não causam ruídos que chamem a atenção, aumento de temperatura, ou perda de potência. Como resultado, isto pode estar presente durante a tração máxima de decolagem e na alta tração de subida.

De fato, os efeitos de detonação muitas vezes não são descobertos, até posterior remoção do motor. Quando o motor é revisado, a presença de severa detonação durante a operação é indicada através de fraturas na cabeça do pistão, colapso na cabeça das válvulas, anéis de segmento quebrados, ou alojamentos de válvulas com erosão, pistões e cabeças de cilindro também com erosão.

A proteção básica contra a detonação é fornecida no projeto de ajuste do carburador do motor, que automaticamente fornece as misturas "ricas" necessárias pra evitar a detonação em alta tração; a razão de limitação, que inclui as temperaturas máximas operacionais; e seleção correta da octanagem do combustível.

Os fatores de projeto, refrigeração de cilindro, sincronização de magneto, distribuição de mistura, superalimentação, e ajuste de carburador são tidos como cuidados do projeto e desenvolvimento do motor e seu método de instalação no avião.

O restante da responsabilidade de prevenção d\a detonação repousa igualmente nas mãos da manutenção e dos tripulantes; eles são responsáveis pela observância dos limites de r.p.m. e pressão de admissão.

O uso apropriado do superalimentador e da mistura de combustível, a manutenção adequada da cabeça do cilindro e carburador, e a temperatura de ar são usados inteiramente neste controle.

Pré-ignição, como o nome subentende, significa que a combustão tem lugar no cilindro antes do tempo de sincronização com as velas. Esta condição pode, muitas vezes, ser ocasionada por excessivo carbono ou outros depósitos os quais causam locais com pontos quentes (a detonação e freqüentemente ocasionada por pré-ignição).

Contudo, a pré-ignição pode ser causada também por alta tração operacional nas misturas excessivamente pobres. Pré-ignição é normalmente indicada na cabine de comando por ruído do motor, retorno de chama, e através de um aumento repentino da temperatura na cabeça do cilindro.

Alguma área dentro da câmara de combustão torna-se incandescente, servindo como um "ignitor" avançado ao tempo normal de ignição, causando combustão mais cedo do que o desejado. Pré-ignição pode ser causada por uma área de roçamento e aquecimento através da erosão da detonação. Uma rachadura na válvula ou pistão, ou quebra do isolador da vela, pode fornecer um ponto quente que serve como "tomada incandescente".

O ponto quente pode ser causado por depósitos nas superfícies da câmara, como resultado do uso de combustíveis com chumbo. Depósitos normais de carbono podem também causar pré-ignição. Especificamente, a pré-ignição é uma condição similar ao centelhamento adiantado da vela.

A carga no cilindro é inflamada antes do tempo requerido para uma queima normal no motor. Não se deve confundir pré-ignição com o centelhamento que ocorre muito cedo no ciclo. A pré-ignição é causada por um ponto quente na câmara de combustão e não por tempo incorreto de ignição.

O ponto quente pode ser causado devido ao cilindro superaquecido, ou defeito dentro do cilindro.

O mais óbvio método de correção da pré-ignição é a redução da temperatura do cilindro. O passo imediato é o "retardo" do acelerador. Isto reduz o volume da carga de combustível e a quantidade do aquecimento gerado.

Se um superalimentador está em uso e está com "alta razão", é necessário que seja retornado para "baixa razão" para reduzir a carga de temperatura. A mistura deve ser enriquecida, se possível, para abaixar a temperatura de combustão.

Se o motor está em alta potência quando a pré-ignição ocorre, o retardamento do acelerador por poucos segundos pode prover suficiente refrigeração para o lugar com algum acúmulo de chumbo, ou outro depósito dentro da câmara de combustão.

Estas partículas soltas incandescentes são jogadas para fora através do escape. Elas são visíveis a noite como um "chuveiro" de centelhas. Se o "retardo" do acelerador não permite um retorno para não interromper a tração normal de operação, os depósitos devem ser removidos através do imediato choque térmico de refrigeração. Alguns tratamentos são injeção de água, álcool do sistema de degelo, ar totalmente frio no carburador, ou qualquer outro método que forneça o imediato resfriamento da câmara do cilindro.

Retorno de chama

Quando a mistura combustível/ar não contém o volume de combustível para consumir todo o oxigênio, chama-se mistura pobre. Inversamente, a carga que contém mais combustível do que o necessário é chamada uma mistura "rica". Uma mistura extremamente pobre também não deverá queimar ao todo, ou deverá queimar tão lentamente que a combustão não seja completada ao final do movimento de escape. A chama se retardará no cilindro e, nesta ocasião, inflamará o conteúdo no duto de admissão ou no sistema de indução quando a válvula de admissão abrir. Isto causa uma explosão conhecida como "retorno de chama", que pode danificar o carburador e outras partes do sistema de indução.

O ponto responsável pelo retorno de chama raramente envolve o motor. Em praticamente todos os casos, o retorno de chama é limitado a um ou dois cilindros.

Normalmente isto é resultado de falha no ajuste na folga da válvula, defeito nos injetores de combustível, ou outras condições que causam a operação destes cilindros mais "pobres" do que o motor. Por causa deste retorno de chama, os cilindros acenderão intermitentemente e, portanto, operarão frios.

O teste do cilindro frio é discutido mais tarde neste capítulo.

Algumas vezes, um retorno de chama é no regime de marcha lenta, mas o motor opera satisfatoriamente em regime de altas e médias trações.

A mais provável causa, neste caso, é uma mistura de lenta excessivamente pobre. O ajuste próprio na mistura combustível/ar de lenta normalmente corrige esta dificuldade.

Queima atrasada

Queima atrasada, algumas vezes chamada de queima posterior (*afterburning*), frequentemente é resultado de uma mistura combustível/ar muito "rica".

O disfarce de uma mistura "rica" é ter uma queima lenta. Por isso, cargas de combustível não queimado estão presentes nos gases de escape. Ar do lado de fora do escape mistura-se com este combustível não queimado que inflama. Isto causa uma explosão no sistema de escapamento.

Queima posterior é mais comum onde longos dutos retêm grandes quantidades de cargas não queimadas. Como no caso do retorno de chama, a correção para a queima posterior é o ajuste adequado da mistura combustível/ar.

Queima posterior pode ser causada também por cilindros que não estão queimando por causa da falha nas velas, defeito nos bicos injetores de combustível, ou ajuste no "claro de válvulas" incorreto.

A mistura não queimada destes cilindros "mortos" (inoperantes) passa para o sistema de escapamento, onde estes são inflamados e queimam. Infelizmente, a resultante tocha ou pós-queima pode facilmente ser mal interpretada como evidência de um carburador "rico".

Cilindros que estão queimando intermitentemente podem causar o efeito similar. Novamente, a má função pode ser remediada apenas pela descoberta da causa real e correção do defeito. Ambos os cilindros "mortos" (não queimando), ou com queima intermitente, podem ser localizados através do teste do "cilindro frio".

FATORES QUE AFETAM A OPERAÇÃO DO MOTOR

Compressão

Para prevenir perda de potência, todas as aberturas nos cilindros devem fechar e "selar" completamente nos movimentos de compressão e tração. A este respeito, existem três (03) itens para a operação adequada dos cilindros que devem ser seguidos para se obter a máxima eficiência.

Primeiro, os "anéis de segmento" do pistão devem estar em boas condições para a vedação máxima durante o movimento do pistão. Não deve haver vazamentos entre o pistão e as paredes da câmara de combustão. Segundo, as válvulas de admissão e escapamento devem fechar adequadamente para que não haja perda de compressão por estes pontos. Terceiro, e muito importante, a sincronização das válvulas deve ser aquela em que a mais alta eficiência é obtida quando o motor estiver operando em sua normal razão de r.p.m. A falha de qualquer destes pontos resulta em grande redução de eficiência do motor.

Medição de combustível

O sistema de admissão faz a parte de distribuidor de combustível medido para o motor. Obviamente, qualquer defeito no sistema de indução afeta seriamente a operação do motor. Para a melhor operação, cada cilindro do motor deve ser abastecido com a mistura adequada de combustível/ar, normalmente medida pelo carburador.

Nos motores com injeção de combustível, a medição é feita pelo injetor do divisor de fluxo e pelos "bicos" injetores de combustível. A relação entre a razão combustível/ar e tração é ilustrada na figura 10-34.

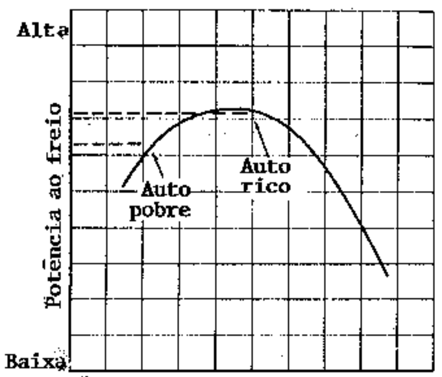


Figura 10-34 Curva de tração “versus” mistura combustível/ar.

Nota-se que, como a mistura do combustível varia de "pobre" para "rica", a tração desenvolvida pelo motor aumenta até chegar ao máximo. Além deste ponto, a tração desenvolvida cai quando a mistura é enriquecida demais. Isto é porque a mistura de combustível é agora muito "rica" para proporcionar uma perfeita combustão.

A máxima tração pode ser obtida através da colocação do carburador em um ponto da curva (figura 10-34).

No estabelecimento dos ajustes do carburador para um motor de avião, o projeto de engenharia confecciona uma série de curvas similares a mostrada na figura 10-34. Uma curva é confeccionada para cada uma das várias velocidades do motor.

Se, por exemplo, a velocidade de lenta é 600 r.p.m., a primeira curva deverá ser feita com esta velocidade.

Outra curva (gráfico) deverá ser feita a 700 r.p.m., outra a 800 r.p.m. e assim por diante, com aumentos de 100 r.p.m. até chegar a r.p.m. de decolagem.

Os pontos de tração máxima nas curvas são então ligados para obter a curva de melhor tração no motor para todas as velocidades. Esta curva de melhor tração é estabelecida no ajuste "auto-rico" do carburador.

No estabelecimento e detalhamento das necessidades de se observar o ajuste do carburador, o fato é que a temperatura da cabeça do cilindro que varia com a razão do combustível/ar deve ser considerada.

Esta variação é mostrada na curva da figura 10-35.

Nota-se que a temperatura da cabeça do cilindro é mais baixa com o ajuste em "auto-pobre" do que com a mistura "auto-rica". Isto é exatamente o oposto à crença comum, mas é a verdade.

Além disso, o conhecimento deste fato pode ser usado como proveito pelos tripulantes. Se, durante o vôo em cruzeiro, tornar-se difícil manter a temperatura da cabeça do cilindro nos limites, a mistura combustível/ar pode ser "empobrecida" para se conseguir a operação de refrigeração.

A refrigeração desejada pode, então, ser obtida sem a ida para a posição "auto-rica" com este caro desperdício de combustível. A curva mostra apenas a variação da temperatura da cabeça do cilindro.

Para uma determinada r.p.m., a tração fornecida pelo motor é menor com um ajuste de melhor economia ("autopobre") do que com a mistura de melhor tração.

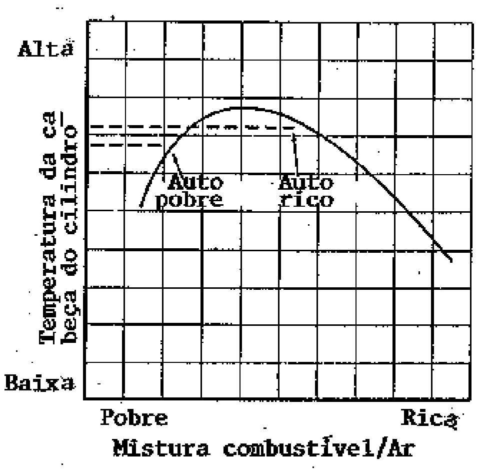


Figura 10-35 Variação da temperatura da cabeça do cilindro com a mistura combustível/ar (tração de cruzeiro).

A diminuição da temperatura da cabeça do cilindro com o empobrecimento da mistura se mantém verdadeira apenas através da faixa normal de cruzeiro.

Nas ajustagens de alta tração, as temperaturas do cilindro são maiores com as misturas "pobres". A razão para esta reversão de dependência na capacidade de refrigeração do motor, como altas potências são de aproximação, – é o ponto alcançado onde o fluxo de ar em torno dos cilindros não fornecerá a suficiente refrigeração.

Neste ponto, um método secundário de refrigeração deve ser usado. Esta refrigeração secundária é dada pelo enriquecimento da mistura combustível/ar além do ponto de melhor tração.

Através do "enriquecimento" da mistura para aumentar o resultado na perda de potência, ambas, tração e economia, devem ser sacrificadas ao propósito da refrigeração do motor.

Para auxiliar a investigação da influência das necessidades na mistura combustível/ar, os efeitos da injeção de água devem ser examinados. A figura 10-36 mostra a curva combustível/ar para um motor com injeção de água.

A porção pontilhada da curva mostra como a mistura combustível/ar é "empobrecida" durante a injeção de água.Este "empobrecimento" é possível por causa da água, que melhor que o combustível extra, é usada como refrigerante do cilindro.

O "empobrecimento" fornece um aumento na tração. A água não altera as características de combustão da mistura. Combustível adicionado para a mistura "auto-rica" na faixa de tração durante a operação "em seco" é unicamente para a refrigeração. Uma mistura "pobre" deverá fornecer mais tração.

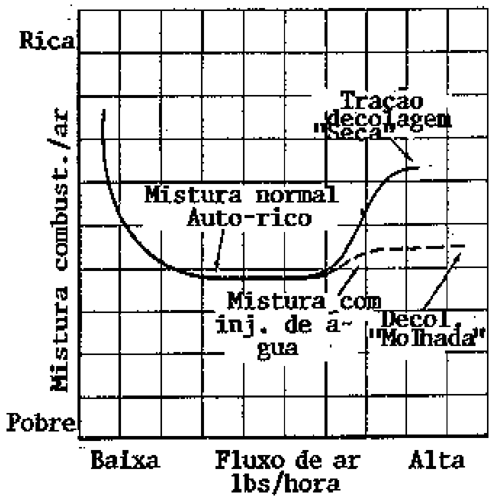


Figura 10-36 Curva de combustível/ar para motor com injeção de água.

Atualmente, a água ou, mais precisamente, o antidetonante, a mistura (água/álcool) é um melhor refrigerante do que combustível adicional. Além disso, a injeção de água permite maiores pressões na admissão, e garante futuros aumentos na tração.

Com o estabelecido no final da curva para a operação do motor, a capacidade do motor se "auto-refrigerar" nas várias regulagens de tração é, logicamente, levada em consideração.

Algumas vezes, a mistura deve ser alterada para uma dada instalação, para compensar o efeito do projeto de capotas (cobertura do motor), fluxo de ar refrigerante, ou outros fatores na refrigeração do motor.

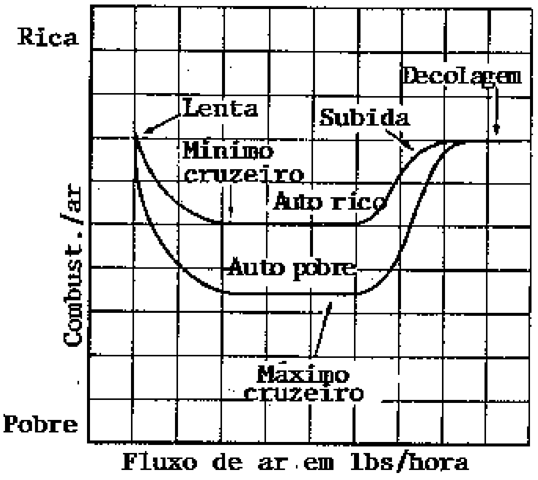


Figura 10-37 Curva típica de mistura combustível/ar para carburador tipo injeção.

O final da curva combustível/ar faz uma consideração sobre as características em "lenta" de economia, tração e refrigeração do motor, e todos os outros fatores que afetam a combustão.

A figura 10-37 mostra uma típica curva final para carburadores tipo injeção.

Nota-se que a mistura combustível/ar na "lenta" e em tração máxima é a mesma em "auto-rica" e "autopobre"

Além de lenta, uma gradual expansão ocorre quando aproxima-se a força de cruzeiro. Esta aproximação é máxima na faixa de cruzeiro.

A expansão diminui na direção da tração máxima. Esta aproximação das duas curvas na faixa de cruzeiro é básica para o teste de medição em cruzeiro.

A figura 10-38 mostra uma típica curva final para um carburador tipo "bóia". Nota-se que a mistura combustível/ar para "lenta" é a mesma para "rica" e em "manual pobre".

A mistura se mantém a mesma até que a faixa de "mínimo cruzeiro" seja atingida. Neste ponto, a curva se separa e, então, se mantém paralela através das faixas de tração de cruzeiro.

Nota-se a propagação entre os ajustes de "pobre" e "rica" na faixa de cruzeiro de ambas as curvas. Por causa desta propagação, deverá ser diminuída a tração quando o controle de mistura é movido de "auto-rica" para "autopobre", com o motor operando na faixa de cruzeiro.

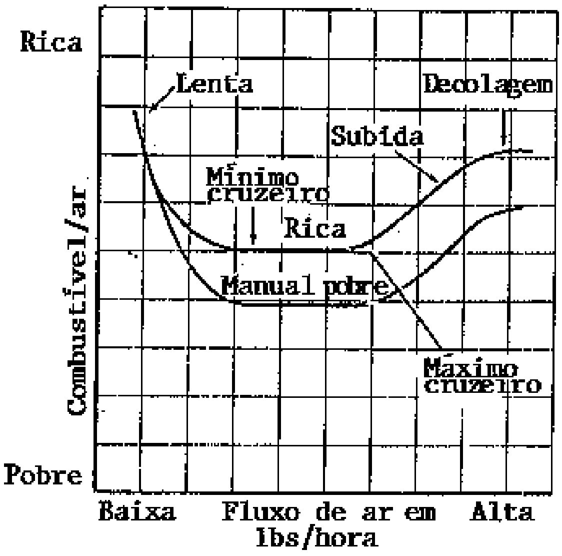


Figura 10-38 Curva típica de mistura combustível/ar para carburador tipo bóia.

Isto é verdade porque o ajuste de "auto-rica" na faixa de cruzeiro é muito próximo da razão de mistura de melhor força. Portanto, qualquer "empobrecimento" deverá fornecer a mistura a qual é mais "pobre" do que a melhor tração.

Mistura de marcha lenta

A curva da mistura de “marcha lenta" (figura 10-39) mostra como a mistura muda quando o ajuste de mistura de "lenta" é mudado. Nota-se que o maior efeito é nas velocidades lentas; contudo, existe algum efeito da mistura no fluxo de ar acima de lenta.

O fluxo de ar que afeta o ajuste de lenta cancela vários outros de mínimo cruzeiro para máximo cruzeiro. O ponto exato depende do tipo e do ajuste do carburador.

Em geral, o ajuste de lenta afeta a mistura combustível/ar para cima da média de cruzeiro na maioria dos motores que possuem carburadores tipo pressão injeção, e para cima no cruzeiro de "baixa" nos motores equipados com carburadores tipo "bóia".

Isto significa que ajustes incorretos na mistura de lenta podem facilmente causar falhas no desempenho em cruzeiro quanto mais escasso for a "lenta".

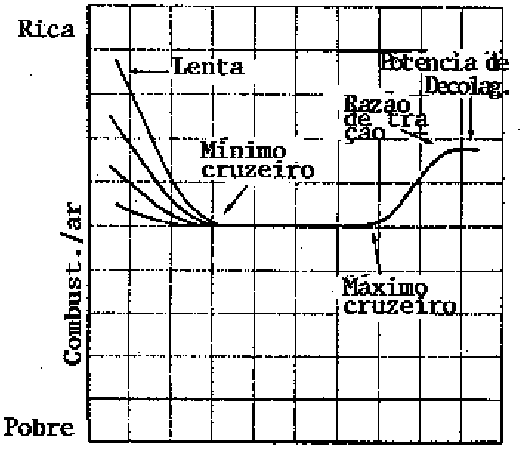


Figura 10-39 Curva da mistura de marcha lenta.

Existem variações na mistura necessária entre um motor e outro por causa da distribuição do combustível, e a capacidade do motor se refrigerar.

O ajuste do carburador deve ser "rico" o bastante para suprir o combustível na mistura para "empobrecer" o cilindro.

Se a distribuição do combustível é "pobre", o total da mistura deve ser mais "rica", do que seria requerida para o mesmo motor se a distribuição fosse boa.

A capacidade do motor em "esfriar" depende de vários fatores, como o projeto do cilindro (incluindo o projeto das janelas de refrigeração), razão de compressão, acessórios na frente do motor que causam em cilindros individualmente trabalho quente, e o projeto dos defletores usados para defletir o fluxo de ar ao redor do cilindro. Na potência de decolagem, a mistura deve ser "rica" o bastante para suprir de combustível e manter refrigerados os cilindros que estão aquecidos.

A tubulação de admissão

A tubulação de admissão fornece os meios de distribuição de ar ou a mistura de ar/combustível para os cilindros.

O tempo de fornecimento da mistura ou ar pela tubulação depende do tipo do sistema de medição usado.

Em um motor que usa carburador a tubulação de admissão distribui a mistura de ar/combustível do carburador para os cilindros. Em um motor com injeção de combustível, o combustível é liberado para os bicos de injeção, um em cada cilindro, que fornece um jato apropriado para uma queima eficiente. A mistura de ar e combustível acontece dentro do cilindro. Em um motor de injeção de combustível, a tubulação de admissão fornece somente ar.

A tubulação de admissão é um importante item pelo efeito que ela tem sobre a mistura de ar/combustível que chega ao cilindro. O combustível é introduzido no fluxo de ar pelo carburador, em uma forma líquida. Para vir a ser um combustível, o mesmo tem que ser vaporizado no ar. Essa vaporização é feita na tubulação de admissão, que inclui um supercarregador, caso usado.

Qualquer combustível que não vaporize irá para as paredes dos tubos de entrada. Obviamente, isto afeta a razão da mistura de ar/combustível que chega aos cilindros, na forma de vapor. Isto explica a razão para a aparente mistura rica necessária para a partida de um motor frio. Em um motor frio, algum combustível no fluxo de ar é condensado e vai para as paredes das tubulações. Além disso, nenhum combustível vaporiza no primeiro lugar.

Quando o motor aquece, menos combustível é requerido, porque menos combustível é condensado no fluxo de ar e mais combustível é vaporizado, dando ao cilindro a requerida mistura de ar/combustível para combustão normal.

Qualquer vazamento no sistema de admissão tem um efeito na mistura enviada para os cilindros. Isto é particularmente verdadeiro para um vazamento de um cilindro no final de tubo de admissão.

Para uma tubulação de admissão com pressão abaixo da atmosfera, um vazamento empobrecerá a mistura. Isto ocorre porque a adição de ar é tirada para a atmosfera pelo vazamento.

O cilindro afetado pode aquecer, falhar intermitentemente, ou então ocorrer tudo ao mesmo tempo.

Efeito operacional da folga das válvulas

Quando é considerado o efeito operacional da folga das válvulas, deixa em mente que todo avião de motores convencionais desta descrição usa sobreposição de válvulas.

A figura 10-40 mostra a pressão de entrada e saída nas válvulas, sob duas condições diferentes de ajuste para condições de operação. Em um caso, o motor está operando com uma pressão de admissão igual a 35 in.Hg. A pressão barométrica (pressão de saída do escapamento) é 29 in.Hg. Isto é igual a uma pressão diferencial de 6 in.Hg (3 PSI) atuando na direção indicada pela seta.

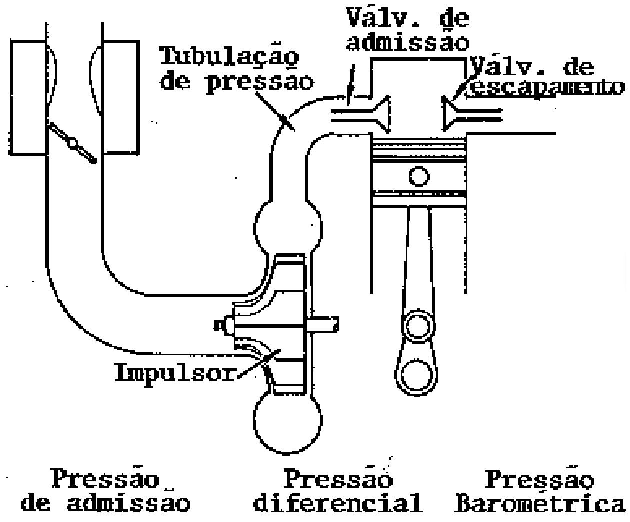


Figura 10-40 Efeito da sobreposição das válvulas.

Durante o período de sobreposição das válvulas, esta pressão diferencial força a mistura de ar/combustível através da câmara de combustão para na direção da exaustão aberta.

Este fluxo de ar/combustível que força para adiante os gases de escapamento, permanece no cilindro, resultando numa recuperação completa da câmara de combustão. Isto, por sua vez, permite o completo preenchimento do cilindro com uma carga fresca no seguinte ciclo de admissão. Esta é uma situação em que a sobreposição das válvulas fornece aumento de força.

Em uma situação em que a tubulação de admissão está com pressão abaixo da pressão atmosférica, 20 in.Hg, por exemplo, existe uma pressão diferencial de 9 in.Hg (4,5 PSI) em direção oposta. Isto causa ao ar, ou gás de escapamento, serem puxados para dentro do cilindro, através da porta de escapamento durante a sobreposição das válvulas.

Em motores com anéis coletores, este fluxo inverso através da válvula de exaustão em regulagens de baixa potência, consiste de gases de exaustão queimada. Esses gases são puxados de volta para o cilindro e misturados com a entrada de ar/combustível.

Contudo, estes gases de exaustão são inertes, eles não contêm oxigênio. Portanto, a razão da mistura de ar/combustível não será muito afetada. Com o tubo de escapamento aberto (curto, sem anel coletor), a situação é totalmente diferente.

Aqui, ar fresco contendo oxigênio é puxado pelo cilindro através do escapamento. Isto empobrece a mistura. Por isso o carburador deverá ser ajustado para liberar uma mistura lenta excessivamente rica, tanto que, quando a mistura é combinada com o ar fresco retirado através do escapamento, a mistura no cilindro estará na razão desejada.

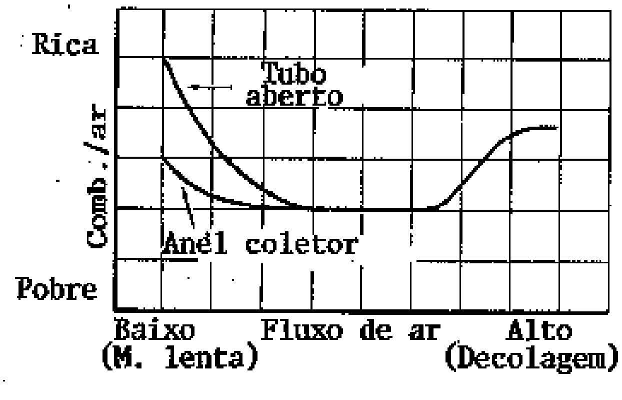


Figura 10-41 Comparação da mistura combustível/ar com instalação de tubo aberto ou anel coletor.

Num primeiro momento, não parece possível que o efeito do cruzamento de válvulas de sobrepor, na mistura de ar/combustível seja suficiente para causar efeito.

Como sempre, o efeito começa a aparecer quando considerando as misturas de ar/combustível na marcha lenta.

Estas misturas devem estar enriquecidas entre 20% e 30% quando os tubos de escapamento aberto são usados, ao invés dos anéis coletores, em qualquer motor. Isto é mostrado na figura 10-41.

Observa-se o afastamento da linha na marcha lenta, entre as instalações de escapamento aberto e a de um anel coletor, para motores que são aparentemente iguais. A mistura varia menos quando a velocidade do motor, ou o fluxo de ar aumenta de lenta para cruzeiroOs fabricantes do motor, do avião e dos equipamentos proporcionam um grupo motopropulsor que dará um desempenho satisfatório. Ressaltos são planejados para permitir a melhor operação das válvulas e uma adequada sobreposição.

Mas, a operação da válvula só será correta, se a regulagem da folga for a recomendada pelo fabricante e assim permanecer. Se a folga das válvulas for deficiente, o período de sobreposição, ou cruzamento, poderá ser maior ou menor do que o previsto pelo fabricante.

Do mesmo modo, isto acontecerá se houver uma desregulagem durante a operação.

Onde existir também uma válvula com excessiva folga, ela não abrirá ou permanecerá aberta por mais tempo do que o necessário. Isto reduzirá o período de sobreposição. Na velocidade de marcha lenta, isto afeta a mistura de ar/combustível desde que uma quantidade menor que o normal, de ar ou saída de gases sejam puxadas de volta ao cilindro durante um curto período de sobreposição. Como resultado a mistura da lenta tenderá a ficar muito rica.

Quando as válvulas estiverem com menos folga do que deveriam, o período de sobreposição será alongado. Isto permitirá uma quantidade maior que o normal de ar ou de gases para serem sugados de volta para o cilindro nas velocidades de marcha lenta. Como resultado, a mistura de marcha lenta será escoada para fora do cilindro. O carburador é ajustado com a expectativa de que certa quantidade de ar ou de gases de escapamento serão sugados de volta para o cilindro. Se mais ou menos ar ou gás for sugado para dentro do cilindro durante o período da sobreposição, a mistura será também muito pobre ou muito rica.

Quando as folgas das válvulas estiverem erradas, todas estarão erradas na mesma direção. Existirá muita folga em alguns cilindros e pouca folga em outros. Naturalmente, isto dá uma variação na sobreposição entre cilindros que resulta em uma variação na razão da mistura de ar/combustível para ajustes de lenta e baixa força, desde que o carburador libere a mesma mistura para todos os cilindros. O carburador não pode dividir a mistura para cada cilindro para compensar a variação da sobreposição das válvulas.

O efeito da variação da folga e da sobreposição das válvulas na mistura de ar/combustível entre cilindros é ilustrado na figura 10-42.

Veja como funciona rico o cilindro com pequena folga e com muita folga funciona pobre.

Veja também a extrema variação da mistura entre cilindros. Este motor é impossível de ser ajustado em marcha lenta, para fornecer as misturas corretas em cada cilindro, dos quais seja esperado que se produza a mesma força.

Variações na folga da válvula com menos de 0,005 in. tem um efeito definido na distribuição da mistura entre os cilindros.

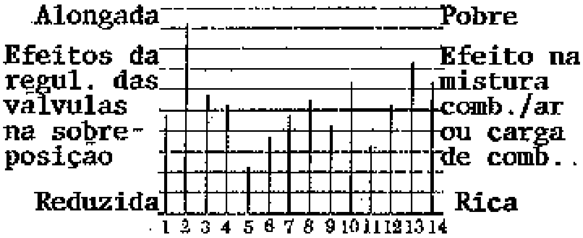


Figura 10-42 Efeito da variação da sobreposição das válvulas na mistura combustível/ar entre os cilindros.

Um outro aspecto da folga da válvula é seu efeito sobre a eficiência volumétrica. Considerando primeiro a válvula de admissão suponha que a folga seja maior do que o especificado.

Quando a pista de ressaltos passar sob o rolete, é tirada parte da folga. Porém, isto não tira toda a folga como deveria. Entretanto, o rolete é levado para cima pela própria pista antes que a válvula comece a abrir. Como resultado, a válvula abre depois do que deveria. No mesmo caminho, a válvula fecha antes de o rolete ter passado do ressalto principal para a rampa em direção ao fim. Com excessiva folga, a válvula de admissão abre tarde e fecha cedo. Isto causa efeito de estrangulamento sobre o cilindro.

A válvula não abre o suficiente para admitir uma carga completa de combustível e ar. Isto diminui a saída de força, particularmente nos ajustes de alta potência.

Uma folga insuficiente na válvula de admissão terá o efeito oposto. A folga é pouca e a válvula começa a abrir enquanto o rolete está subindo o ressalto.

A válvula não fecha até descer ao final do lóbulo que tinha quase sido completado a passagem sob o rolete. Portanto, a válvula de admissão abre cedo e fecha tarde, e permanece aberta mais do que deveria. Para baixa força, abrindo cedo, a válvula de admissão ocasiona uma explosão por causa do calor dos gases de saída, voltando para a tubulação de admissão e queimando a mistura existente ali.

A excessiva folga na válvula de escapamento faz com que ela abra tarde e feche cedo. Isto encurta o escapamento e causa uma recuperação pobre.

A abertura tardia poderá também causar o superaquecimento do cilindro. Os gases quentes são mantidos dentro do cilindro além do tempo especificado para sua saída.

Quando a folga da válvula de escapamento é insuficiente, a válvula abre cedo e fecha tarde, permanecendo mais tempo aberta do que deveria. A abertura cedo causa a perda de força pelo encurtamento do ciclo de força. A pressão no cilindro é aliviada antes de toda a expansão usável ter trabalhado sobre o pistão. O fechamento tardio faz com que a válvula de escapamento permaneça aberta durante um período de tempo maior do ciclo do que deveria . Isto poderá resultar na perda de uma mistura boa através da válvula de escapamento.

Como mencionado antes, existirá provavelmente também uma pequena folga nas válvulas de alguns cilindros, e folgas maiores em outros, sempre que a folga das válvulas estiverem incorretas.

Isto significa que o efeito de folgas incorretas na eficiência volumétrica irá variar de um cilindro para outro. Um cilindro terá uma carga completa, enquanto outro recebe somente uma carga parcial. Como resultado, os cilindros não liberarão a mesma força. Um cilindro estourará e aquecerá enquanto o outro cilindro trabalha satisfatoriamente.

Em alguns motores com injeção direta, variações na folga das válvulas afetarão somente a quantidade de ar colocada no cilindro. Isto é verdadeiro quando a tubulação de admissão contém somente ar. Neste caso, não existirá um apreciável efeito na distribuição de combustível entre os cilindros. Isto significa que, quando as folgas variam entre os cilindros, as cargas de ar também variam, mas a distribuição de combustível permanece constante. Esta falha na distribuição de ar, acompanhada pela distribuição de combustível, causará variação na razão da mistura.

Em todos os casos, as variações na folga da válvula do seu valor específico, têm o efeito de mudança da calagem da válvula, da que se obteria com a folga correta.

Sistema de ignição

O próximo item a ser considerado, em função da operação do motor, é o sistema de ignição. Embora aparentemente simples, existem algumas coisas que não são compreendidas claramente.

Um sistema de ignição é composto basicamente por quatro partes principais:

(1) o magneto básico.
(2) o distribuidor.
(3) a cablagem de ignição.
(4) a vela.

O magneto básico é um dispositivo gerador de alta-tensão. Ele deve ser ajustado para fornecer uma máxima tensão quando o platinado abre e a ignição ocorre. Ele deve ser ajustado corretamente para o ponto de centelhamento do motor. O magneto cria uma série de picos de tensão que são aliviados pelas aberturas dos platinados.. Um magneto tem seus pulsos enviados aos cilindros, por um distribuidor, na ordem correta. A fiação de ignição é feita por cabos isolados e blindados, os quais levam as altas tensões do distribuidor para as velas.

Os magnetos usados nos motores de aeronaves são capazes de produzir tensões maiores que 15.000 volts. A tensão necessária para uma centelha ser criada na vela, usualmente corresponde a 4.000 ou 5.000 volts, para um limite máximo de tensão do sistema de ignição. As velas funcionam como uma válvula de segurança para limitar a tensão máxima. Elas têm suas folgas aumentadas como resultado da erosão, fazendo com que a tensão nos terminais aumente. Uma alta tensão é necessária para fazer a faísca saltar em uma folga maior. Esta tensão maior é transmitida através do circuito secundário. O aumento de tensão pode causar danos no circuito secundário. Isto é uma possível fonte de interrupção na cablagem de ignição e pode causar sobrecarga no distribuidor.

O distribuidor direciona as centelhas para os vários cilindros. Isto deve ser ajustado corretamente para ambos, motores e magneto. O dedo do distribuidor deve estar alinhado com o eletrodo correto no bloco do distribuidor, no mesmo tempo da abertura dos platinados. Qualquer desalinhamento causará à alta tensão saltar para outro cilindro que não seja o adequado. Isto causará uma severa explosão e mau funcionamento geral do motor.

O fabricante selecionou a melhor colocação e especificou o alinhamento do eletrodo nº 1 para a calagem. Contudo, mesmo com o ajuste correto do distribuidor, o dedo estará sobre alguns eletrodos e à frente de outros. Para alguns eletrodos, o alinhamento está longe de ser perfeito como seguramente deveria ser. Um ligeiro erro no ajuste, somado ao já existente erro de alinhamento, poderá colocar o dedo longe do eletrodo, e a tensão não passará do dedo para o eletrodo, ou então, não será enviada ao eletrodo correto podendo ir para um cilindro errado. Portanto, o distribuidor deve ser ajustado perfeitamente.

O dedo deverá ser alinhado com exatidão sobre o eletrodo nº 1 como prescrito no manual de manutenção de cada motor daquela aeronave em particular.

Embora a fiação do sistema de ignição seja simples, é também uma parte crítica do sistema. Um número de coisas pode causar falhas na fiação de ignição.

O isolamento de um fio, dentro da fiação, pode diminuir e permitir que a alta tensão vaze através da blindagem para a massa, em vez de ir para a vela.

Circuitos abertos podem resultar de fios partidos ou conexões mal feitas.

Um fio desencapado poderá estar em contato com a blindagem, ou dois fios podem estar em curto circuito juntos.

Qualquer defeito em um dos fios não permite que a alta tensão chegue a vela, na qual o fio estiver conectado.

Como resultado, somente uma vela no cilindro terá centelha, fazendo com que o cilindro opere com ignição simples. Isto certamente resultará em detonação porque a ignição dupla é necessária para evitar detonação durante a decolagem, e durante outras operações de alta potência.

Dois fios defeituosos em um mesmo cilindro causarão sua perda total. Em motores com distribuidores separados, uma falha na cablagem entre o magneto e o distribuidor pode cortar metade do sistema de ignição.

Entre os defeitos mais comuns na fiação de ignição, está o vazamento de alta tensão. Contudo, uma verificação completa na fiação revelará este e outros defeitos.

Embora a vela seja simples, tanto em construção quanto operação, ela é, quase sempre, a causadora direta ou indireta do mau funcionamento encontrado nos motores de avião. A precaução começa com a seleção da vela apropriada.

Certifique-se de que selecionou e instalou a especificada para o motor em particular. Uma das razões da especificação de uma vela é sua escala de aquecimento.

Uma grande quantidade de problemas, atribuídos a vela, é resultado direto do mau funcionamento de outra parte do motor. Como por exemplo, mistura excessivamente rica ou ajustes de válvulas incorretos.

Governador da hélice

O item final a ser considerado em relação a operação do motor é o efeito do governador da hélice com a operação do motor. Na curva mostrada na figura 10-43, veja como a pressão de admissão varia com a r.p.m., sendo gradual até que o corte do governador seja efetuado.

Depois deste ponto, a pressão aumenta mas não ocorre troca na rotação do motor, mesmo com a borboleta do carburador totalmente aberta.

O governador da hélice é ajustado para manter uma determinada rotação do motor.

Portanto, o relacionamento entre a velocidade do motor e a pressão de admissão como indicação de força de saída é perdida, a menos que se saiba que todos os cilindros do motor estejam funcionando corretamente.

Em um avião multimotor, um motor pode falhar e permanecer produzindo indicação como se ele estivesse produzindo força.

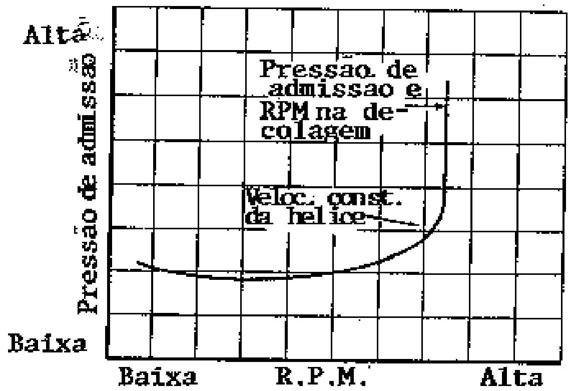


Figura 10-43 Efeito do governador da hélice na pressão de admissão.

O governador da hélice irá reduzir o ângulo da pá e o vento sobre a hélice manterá a mesma rotação no motor. O aquecimento da compressão dentro do cilindro irá evitar que a temperatura na cabeça do cilindro caia rapidamente.

A pressão do combustível permanecerá constante e o seu fluxo não mudará a menos que a pressão de admissão seja mudada. Em um motor não equipado com um turbo-carregador, a pressão permanecerá onde estava. Em um motor turbo-carregado, a pressão não cairá abaixo do valor que o supercarregador mecânico possa manter.

Desta forma, o piloto terá dificuldade em reconhecer que encontrou uma inesperada falha, a menos que o motor seja equipado com torquímetro.

SUPERPOSIÇÃO DAS FASES DA OPERAÇÃO DE UM MOTOR

Até este ponto, as fases de operação de um motor foram expostas individualmente. O relacionamento destas fases e seus efeitos combinados serão considerados.

A combustão dentro do cilindro é o resultado da medição do combustível, sua compressão e ignição.

Como a folga das válvulas afeta o combustível medido, a adequada combustão em todos os cilindros, envolve o correto ajuste das válvulas em adição as outras fases.

Quando todas as condições estão corretas, existe uma mistura inflamável. Quando queimada esta mistura fornecerá impulsos de potência de mesma intensidade em todos os cilindros.

O sistema que produz a queima de combustível necessita que as cinco condições a seguir ocorram simultaneamente, se o impulso de faísca necessário é liberado para o cilindro no tempo apropriado:

(1) os platinados deverão ser precisamente ajustados no magneto (folga E).

(2) o magneto deverá estar precisamente ajustado para o motor.

(3) o dedo do distribuidor deverá estar precisamente ajustado para o motor e o distribuidor.
(4) a fiação da ignição deverá estar em bom estado a sem tendências para faiscamentos.

(5) a vela deverá estar limpa, sem tendências a curtos e tendo a folga do eletrodo na medida apropriada.

Se qualquer uma das fases da ignição estiver mal ajustada ou não funcionando corretamente, o sistema de ignição inteiro poderá ser interrompido a tal ponto que a operação do motor se tornará irregular.

Como um exemplo de como uma fase de operação do motor pode ser afetada por outras fases, considere a vela suja. Uma vela suja, causa mal funcionamento no sistema de ignição, mas esta sujeira raramente resulta de uma falha da própria vela. Usualmente, alguma fase não está operando corretamente, causando a sujeira na vela.

Quando uma mistura excessivamente rica de ar/combustível está sendo queimada, ou porque a mistura está basicamente rica na carburação, ou está impropriamente ajustada para a mistura de marcha lenta, inevitavelmente sujará a vela.

Geralmente estas causas resultarão em velas sujas, aparecendo em todo o motor, e não somente em um ou poucos cilindros.

Se a mistura é muito pobre ou muito rica, em qualquer um dos cilindros por causa de uma perda no tubo de entrada ou válvula mal ajustada, ocorrerá uma operação imprópria deste cilindro.

O cilindro provavelmente terá um retorno de chama. A sujeira na vela ocorrerá frequentemente até que o problema seja resolvido.

Sempre que a causa real de um mal funcionamento do motor não for determinada, e toda vez que uma desordem não é corrigida, a medida corretiva tomada fornecerá só um alívio temporário.

Portanto, como resultado de muitos testes hoje podemos saber se a causa de um retorno de chama é um ajuste incorreto, um defeito no sistema de ignição, ou ainda um incorreto ajuste das válvulas do motor.

O retorno de chama é normalmente causado por um cilindro e não por todos os cilindros. Para corrigir o problema, primeiro localiza-se qual o cilindro que está causando o retorno e, então, tenta-se descobrir a causa.

PESQUISA DE PANES EM MOTORES

A necessidade de uma pesquisa de panes é normalmente ditada por uma operação ruim do conjunto de força. Os ajustes de potência para o tipo de operação, para o qual alguma dificuldade é encontrada, em muitos casos indicará qual a parte do conjunto de força é a causa básica da dificuldade.

Os cilindros de um motor, junto com o impulsor do supercarregador, formam uma bomba de ar. Além disso, a força desenvolvida pelos cilindros varia diretamente com a razão do consumo de ar. Portanto, a medida de ar consumido, ou o fluxo de ar entrando no motor, é uma medida da potência de entrada. Ignorando fatores como umidade e pressão de retorno do escapamento, a indicação da pressão de admissão e o tacômetro, fornecem a medição de ar comsumido pelo motor. Desta forma, para uma dada rotação, qualquer mudança na potência de entrada será refletida pela correspondente mudança na pressão de admissão.

A saída de potência de um motor é a força absorvida pela hélice. Portanto, a carga da hélice é uma medida de potência de saída. A carga da hélice, por sua vez, depende da rotação, ângulo da pá e densidade do ar. Para um dado ângulo e densidade do ar, a carga da hélice é proporcional a velocidade do motor.

A potência básica de um motor é relativa a pressão de admissão, fluxo de combustível e rotação. Como a rotação do motor, e o acelerador abrindo, controlam a pressão de admissão, os controles primários da potência do motor são o acelerador e o controle de rotação.

Um motor equipado com hélice de passo fixo possui somente o controle do acelerador. Neste caso, o ajuste do acelerador controla ambas, a pressão de admissão e a rotação.

Com as devidas precauções, pode ser retirada uma medida da entrada de potência na pressão de admissão, e da rotação pode ser retirada uma medida da potência de saída. Contudo, os seguintes fatores devem ser considerados:

(1) Pressão atmosférica e temperatura do ar, desde que afetem a densidade do ar.

(2) Estas medidas de entrada e saída de força, serem usadas somente para comparação da perfórmance de um motor com uma perfórmance prévia, ou comparação com outro motor idêntico.

(3) Com uma hélice de passo controlável, as pás deverão estar junto ao batente de passo mínimo, já que esta é a única posição de pá em que o ângulo é conhecido, e não varia.

Se um motor é equipado com um torquímetro, a leitura deste deverá ser usada como uma medida de saída de potência.

Tendo-se as medidas relativas às forças de entrada e de saída, a condição de um motor pode ser determinada, comparando-se a entrada com a saída. Isto é feito comparando-se a pressão de admissão necessária para produzir uma determinada rotação, em comparação a um motor que tenha a sua condição de operação já conhecida.

A seguir, um exemplo que mostrará a aplicação prática deste método, para a determinação das condições do motor. Com o controle da hélice selecionado para a r.p.m. de decolagem (ângulo mínimo da pá), um motor pode requerer 32 polegadas na pressão de admissão para produzir 2.200 r.p.m. para o teste de ignição. Em um teste anterior, este motor requereu somente 30 polegadas na pressão de admissão para obter 2.200 r.p.m. na mesma altitude e sob condições atmosféricas idênticas.

Obviamente, alguma coisa está errada; uma alta potência de entrada (pressão de admissão) é agora requerida para a mesma potência de saída (r.p.m.). Existe uma grande possibilidade de que um cilindro esteja inoperante (morto).

Existem diversos padrões com os quais a performance de um motor pode ser comparada. Ela pode ser comparada com sua performance passada, desde que as gravações tenham sido conservadas. A performance pode ser comparada com outros motores do mesmo avião ou, de aviões com a mesma instalação.

Se uma falha existir, deve-se assumir que o problema está relacionado a um dos seguintes sistemas:

(1) Sistema de ignição.
(2) Sistema de medição de combustível.
(3) Sistema de indução.
(4) Seção de força.
(5) Instrumentação

Se uma aproximação lógica do problema é obtida, com a leitura dos instrumentos , apropriadamente utilizadas, o mal funcionamento pode ser apontado e o problema específico do sistema pode ser tirado.

Com mais informação disponível, a respeito de algum problema em particular, será melhor uma correção rápida. As informações válidas para localizar um mal funcionamento incluem:

(1) Alguma falha foi notada? Sob que condições de operação?

(2) Qual o tempo de operação do motor e das velas? Quanto tempo desde a última inspeção?

(3) O teste operacional do sistema de ignição e o teste de potência estavam normais?

(4) Quando o primeiro sinal do problema apareceu?

(5) Apresentava retorno de chama ou queima atrasada?

(6) A aceleração total estava ocorrendo normalmente?

De um ponto de vista diferente, um grupo motopropulsor é na realidade um número de pequenos motores girando um eixo de manivelas, operado por duas fases comuns: (1) medição de combustível, e (2) ignição.

Quando o motor estiver com retorno de chama ou com baixa potência, primeiro encontra-se qual dos sistemas (1) ou (2) está envolvido, se o motor inteiro ou somente um cilindro está com falha.

Por exemplo, o retorno de chama normalmente é causado por:

(1) Válvulas permanecendo abertas ou trancando em um ou mais cilindros.

(2) Mistura pobre.

(3) Vazamento no tubo de entrada.

(4) Erro no ajuste da válvula, que causa uma pequena carga ou uma carga grande de mistura ar/combustível.

As razões para o retorno de chama poderiam ser uma rachadura no bloco do distribuidor ou um vazamento de alta tensão entre dois cabos de ignição. Qualquer uma destas condições causaria a queima da carga do cilindro no ciclo de admissão.

Problemas do sistema de ignição envolvendo retorno de chama, normalmente não estarão centralizados no magneto, porque uma falha do magneto resultaria em falta de rotação do motor, ou rotação normal em baixas velocidades, mas "cortando" em altas velocidades.

Por outro lado, a substituição do magneto corrigiria uma dificuldade causada pela rachadura do distribuidor, quando um fizer parte do magneto. Se os sistemas de combustível, ignição e indução estão operando corretamente, o motor deverá produzir a potência certa, a menos que alguma falha exista na seção de força básica.

Problema - causa – solução

A pesquisa de problemas é uma análise sistemática dos sintomas que indicam um mal funcionamento. Já que seria impraticável relacionar todos os defeitos que poderiam ocorrer em um motor, somente os mais comuns serão discutidos.

Um completo conhecimento dos sistemas do motor, aplicado com o raciocínio lógico, resolverão qualquer problema que possa ocorrer.

A tabela 10 relaciona condições gerais ou problemas que podem ser encontrados em motores como "falhas de partida de motor". Estas condições são suplementadas e divididas entre as causas prováveis para tais condições. As ações corretivas são indicadas na coluna "SOLUÇÃO".

Os itens são apresentados em consideração a frequência de ocorrência, facilidade de acesso e complexidade da ação corretiva indicada

TABELA 10 Pesquisa de panes de motores de cilindros opostos.

PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	SOLUÇÃO
Falha de partida no motor.	• Falta de combustível.	• Verificar o sistema de combustível quanto a vazamento. • Abastecer o tanque de combustível. • Limpar linhas sujas, filtros, ou válvulas de combustível.
	• Pouca injeção	• Usar o processo correto de injeção.
	• Muita injeção.	• Abrir o acelerador e descarregar o motor pela rotação da hélice.
	• Ajuste do acelerador incorreto.	• Abrir o acelerador 1 décimo da sua escala.
	• Defeito nas velas.	• Limpar ou substituir as velas.
	• Defeito na fiação de ignição.	• Testar e substituir os fios com defeito.
	• Bateria fraca ou com defeito.	• Substituir por uma bateria carregada.
	• Operação imprópria do magneto ou dos platinados.	• Verificar o ajuste interno do magneto.
	• Água no carburador.	• Drenar o carburador e as linhas de combustível.
	• Falha interna.	• Verificar o filtro de óleo no cárter, por partículas metálicas.
	• Acoplador de impulso magnetizado, se instalado.	• Desmagnetizar o acoplador de impulso.
	• Eletrodos das velas congelados.	Substituir as velas ou secá-las.

	•	
	• Controle de mistura corta em marcha lenta.	• Abrir o controle de mistura.
	• Curto no interruptor de partida ou perda de aterramento.	• Verificar e substituir, ou corrigir.
Motor falha em marcha lenta	• Ajuste de velocidade de marcha lenta incorreto.	• Ajustar o batente do acelerador para obter a marcha lenta correta.
	• Mistura de lenta incorreta.	• Ajustar a mistura (consultar o manual do fabricante).
	• Vazamento no sistema de indução.	• Apertar todas as conexões do sistema de indução. Substituir as partes com defeito.
	• Baixa compressão do cilindro.	• Verificar a compressão do cilindro.
	• Falha do sistema de ignição.	• Verificar inteiramente o sistema de ignição.
	• Injetor aberto ou vazando. • Ajuste impróprio da vela para a altitude.	• Bloquear ou corrigir o injetor. • Verificar a folga das velas.
	• Filtro de ar sujo.	• Limpar ou substituir o filtro.
Baixa potência e motor com funcionamento irregular.	• Mistura muito rica, indicada por operação lenta do motor, chama de exaustão vermelha e fumaça preta.	• Verificar o injetor. Reajustar a mistura do carburador.
	• Mistura muito pobre, indicada por sobreaquecimento ou retorno de chama.	• Verificar as linhas de combustível quanto a sujeira ou outras restrições. Verificar o suprimento de combustível.
	• Vazamento no sistema de indução.	• Apertar todas as conexões. Substituir as partes defeituosas.
	• Defeito nas velas.	• Limpar ou substituir as velas.
	• Graduação do combustível imprópria.	• Abastecer o tanque com o combustível recomendado.
	• Platinados do magneto não trabalham apropriadamente.	• Limpar os platinados. Verificar o ajuste interno do magneto.
	• Defeito na fiação da ignição.	• Testar e substituir os fios defeituosos.
	• Defeito nos terminais das velas.	• Substituir os terminais das velas.
	• Folga incorreta das válvulas.	• Ajustar a folga das válvulas.
	• Restrição no sistema de escapamento.	• Remover a restrição.
	• Ajuste da ignição incorreto.	• Verificar os magnetos quanto a sincronização e ajuste.
Motor falha ao desenvolver potência total.	• Manete de aceleração fora de ajuste.	• Ajustar a manete de aceleração.
	• Vazamento no sistema de indução.	• Apertar todas as conexões, e substituir as partes defeituosas.

	• Combustível impróprio.	• Abastecer o tanque com o combustível recomendado.
	• Restrição na entrada de ar do carburador	• Examinar a entrada de ar e remover a restrição.
	• Governador da hélice fora de ajuste.	• Ajustar o governador.
	• Falta da ignição.	• Apertar todas as conexões, e verificar o sistema de ignição. Verificar a regulagem da ignição.
Funcionamento irregular do motor.	• Montante do berço do motor quebrado.	Reparar ou substituir os montantes do berço.
	• Hélice desbalanceada.	• Remover a hélice, e verificar o balanceamento.
	• Defeito nas buchas de montagem.	• Instalar novas buchas.
	• Depósito de chumbo nas velas.	• Limpar ou substituir as velas.
	• Injetor desbloqueado.	• Bloquear o injetor.
Baixa pressão de óleo.	• Óleo insuficiente.	• Observar a quantidade de óleo.
	• Filtros de óleo sujos.	• Remover e limpar os filtros de óleo.
	• Indicador de pressão defeituoso.	• Substituir o indicador.
	• Bloqueio de ar ou sujeira na válvula de alívio.	• Remover e limpar a válvula de alívio de pressão de óleo.
	• Vazamento da linha de sucção ou de pressão.	• Verificar os vedadores entre os acessórios e o carter.
	• Obstrução na entrada da bomba de óleo.	• Observar a obstrução da linha. Limpar o filtro de sucção.
	• Alta temperatura do óleo	• Veja "alta temperatura do óleo" na coluna de problemas.
	• Mancais gastos ou arranhados.	• Efetuar a revisão do motor.
Alta temperatura do óleo.	• Ar de arrefecimento insuficiente.	• Observar a entrada e a saída de ar por deformação ou obstrução.
	• Suprimento insuficiente de óleo.	• Abastecer o tanque de óleo ao nível apropriado.
	• Linhas ou filtros de óleo obstruídos.	• Remover e limpar as linhas ou os filtros de óleo.
	• Mancais falhos ou defeituosos.	• Examinar o cárter quanto a partículas metálicas e, se encontradas, revisar o motor.
	• Termostatos defeituosos.	• Substituir os termostatos.
	• Indicadores de temperatura defeituosos.	• Substituir os indicadores.
	• Excessiva ventilação da válvula *(Blow-By)*.	• Usualmente causada pelos anéis presos ou fracos. Revisar o motor.
Excessivo consumo de óleo.	• Mancais falhos ou defeituosos.	• Observar o cárter quanto a partículas metálicas e, se encontradas, a revisão do motor é indicada.

	• Anéis dos pistões gastos ou quebrados.	• Instalar anéis novos.
	• Instalação incorreta dos anéis dos pistões.	• Instalar anéis novos.
	• Vazamento interno de óleo.	• Observar cuidadosamente o motor quanto a vazamento nas juntas ou anéis.
	• Vazamento através da linha de ventilação da bomba de combustível do motor.	• Substituir o selo da bomba de combustível.
	• Respiração do motor ou da bomba de vácuo.	• Checar o motor, e revisar ou substituir a bomba de vácuo.
•		

MANUTENÇÃO DO CILINDRO

Na maioria dos casos, o cilindro recebe seu combustível e ar de uma fonte comum que é o carburador.

Várias fases de operação do cilindro como a compressão, mistura de combustível e ignição podem funcionar adequadamente, até que um tipo de mal funcionamento cause dificuldades no motor.

Retorno de chama no motor, por exemplo, pode ser causado por uma mistura ar/combustível pobre em um dos cilindros.

A mistura pobre pode ser causada por tais dificuldades, como um ajuste impróprio na válvula, uma válvula de admissão ou escape presa, ou um vazamento no tubo de entrada.

A maioria das dificuldades no motor pode ser causada por um cilindro ou um pequeno número de cilindros. Portanto, dificuldades no motor podem ser corrigidas somente após o mau funcionamento dos cilindros terem sido localizados, e as fases defeituosas de operação dos cilindros serem normalizadas.

Calço Hidráulico

Se um motor radial permanece cortado por qualquer período de tempo, o óleo ou combustível podem drenar para dentro das câmaras de combustão dos cilindros inferiores, ou podem acumular nas tomadas inferiores das tubulações para serem drenados para dentro dos cilindros quando o motor partir (Figura 10-44).

Quando o pistão se aproxima do ponto morto alto de compressão (ambas as válvulas fechadas), este líquido, incompressível, estanca o movimento do pistão. Se o eixo de manivela continuar a girar, algum problema poderá ocorrer. Portanto, partindo ou tentando partir um motor com bloqueio hidráulico desta natureza, pode-se causar o estouro do cilindro afetado ou, o mais provável, pode resultar em um entortamento ou quebra da biela.

Um calço hidráulico completo - um calço que pare a rotação do eixo de manivela - pode resultar em sérios danos ao motor.

Se o pistão encontrar uma alta resistência, ele não pára completamente; o motor vacila, entretanto parte e continua a girar, acionado pelos outros cilindros.

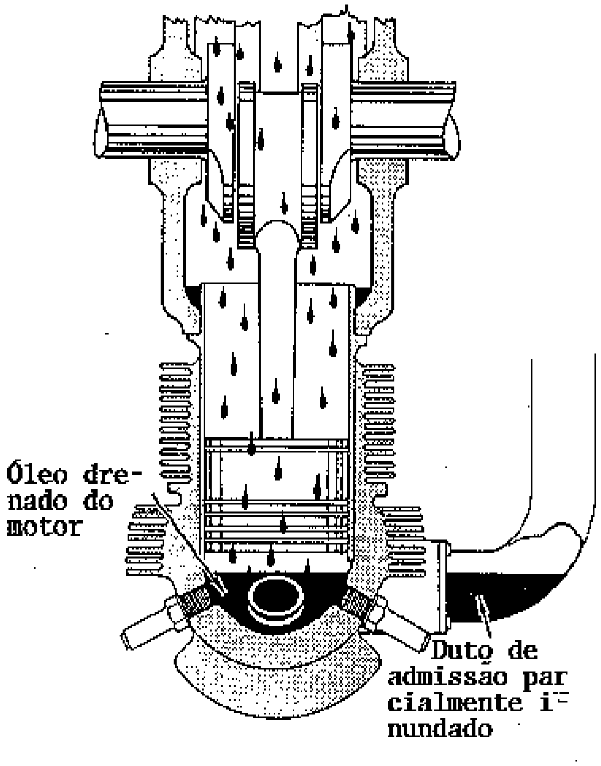


Figura 10-44 Estágio inicial no desenvolvimento de um calço hidráulico.

Um ligeiro entortamento da biela, resultante do bloqueio parcial, também não será notado a tempo, mas ela está danificada, e é certo que falhará mais tarde.

A falha eventual ocorre na maioria das vezes em operações críticas, como decolagens e arremetidas quando a potência máxima do motor é utilizada e a máxima tensão é imposta às partes. Um calço hidráulico e alguns possíveis resultados são mostrados na figura 10-45.

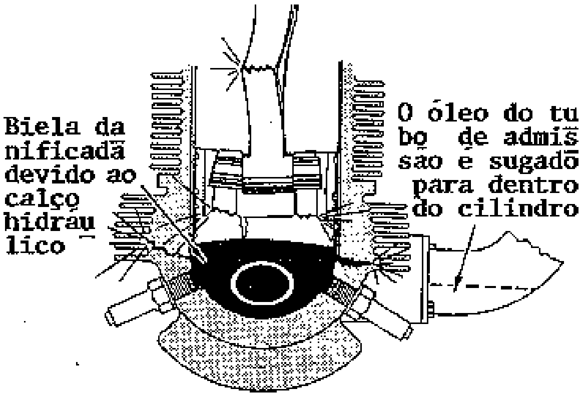


Figura 10-45 Resultados de um calço hidráulico.

Antes de se dar partida em qualquer motor radial que tenha sido parado por mais de 30 minutos, as chaves de ignição devem estar em "off", só então puxa-se a hélice na direção de rotação, para assegurar que não haja calço hidráulico.

Qualquer líquido presente em um cilindro será indicado por um esforço anormal para rodar a hélice.

Entretanto, nunca se usa força quando um calço hidráulico é detectado.

Quando motores que empregam acionamento direto, ou combinação de acionamento direto e inércia, estão sendo acionados e uma fonte externa está sendo usada, uma checagem quanto a calço hidráulico deve ser feita pela intermitente energização do motor de partida, esperando pela tendência do motor estolar. O uso do motor de partida, desta maneira, não exercerá suficiente força no eixo de manivelas a ponto de entortar ou quebrar a biela se um bloqueio estiver presente.

Para eliminar um bloqueio, remove-se a vela de ignição dianteira ou traseira dos cilindros inferiores, girando a hélice na direção de rotação. O pistão expulsará qualquer líquido que possa estar presente.

Se o bloqueio (calço) hidráulico acontecer devido a uma alta pressão antes de iniciar a partida do motor, elimina-se o bloqueio do mesmo modo, isto é, removendo uma das velas de ignição do cilindro e girando o eixo de manivelas duas voltas.

Nunca se deve tentar eliminar um bloqueio hidráulico girando a hélice no sentido oposto ao normal de rotação, uma vez que isto tende a injetar o líquido do cilindro para dentro do duto de admissão, com a possibilidade de ocorrer um bloqueio total ou parcial subsequente a partida.

Ventilação da válvula (*Blow-by)*

A ventilação da válvula ("*Blow-by*") é indicada por um silvo ou assobio, quando a hélice está sendo puxada antes da partida do motor, quando o motor está girando pelo motor de partida, ou quando o motor está girando em baixas velocidades.

Isto é causado por uma abertura de válvula presa ou deformada, para que a extensão da compressão não ocorra no cilindro quando o pistão move para o ponto morto alto na fase de compressão.

O ar que passa pela válvula de escapamento pode ser escutado na descarga do motor, e o que passa pela válvula de admissão é audível no carburador.

A ventilação da válvula deve ser corrigida imediatamente, a fim de evitar falha da válvula, e a possibilidade de falha do motor por um dos seguintes passos:

(1) Fazer um teste de compressão dos cilindros para localizar o cilindro em falha.

(2) Observar a folga das válvulas do cilindro afetado. Se a folga estiver incorreta, a válvula deve estar presa em um guia de válvula. Para libera-la, colocar uma barra de fibra sobre o balancim imediatamente sobre a haste da válvula, e golpear a barra várias vezes com um martelo de 1 a 2 libras. A força exercida com a mão sobre a barra de fibra é suficiente para remover qualquer espaço entre o balancim e a haste da válvula, antes de golpear.

(3) Se a válvula estiver presa e a folga for incorreta, ajustá-la como necessário.

(4) Determinar se a ventilação ("*Blow-by*") foi eliminada girando novamente o motor pela hélice com a mão, ou acionando-o com o motor de partida. Se a ventilação ainda estiver presente, será necessário substituir o cilindro.

TESTES DE COMPRESSÃO NO CILINDRO

Os testes de compressão nos cilindros determinam se as válvulas, anéis e pistões estão adequadamente selando a câmara de compressão.

Se o vazamento de pressão for excessivo o cilindro não poderá desenvolver sua potência máxima. A finalidade de testar a compressão dos cilindros é para determinar se a substituição do cilindro é necessária. A detecção e substituição dos cilindros defeituosos evitarão a troca completa do motor por falha dos cilindros.

É essencial que os testes de compressão sejam feitos periodicamente. Embora seja possível para um motor a perda de compressão por outras razões, a maior parte da baixa compressão ocorre por vazamentos em válvulas. As condições que afetam a compressão do motor são:

(1) Incorreta folga de válvulas.
(2) Pistões gastos, arranhados ou danificados.
(3) Excessivo desgaste dos anéis do pistão e paredes dos cilindros.
(4) Válvulas empenadas ou queimadas.
(5) Partículas de carbono entre a face e a sede da válvula ou válvulas.
(6) Tempo de válvula adiantado ou atrasado.

Um teste de compressão é feito logo após o corte do motor, de modo que os anéis do pistão, as paredes dos cilindros e outras partes ainda estejam suficientemente lubrificadas. Entretanto, não é necessário operar o motor antes de realizar as checagens de compressão durante a recuperação do motor, ou uma substituição individual dos cilindros. Nestes casos, antes de se executar o teste, pulveriza-se uma pequena quantidade de óleo refrigerante dentro do cilindro, ou cilindros, girando o motor várias vezes para selar os pistões e anéis no corpo do cilindro.

Assegure-se de que a chave de ignição esteja na posição "off", de modo que ela não provoque uma partida acidental do motor. As carenagens necessárias e as velas acessíveis de cada cilindro, devem ser removidas.

O exame cuidadoso das velas ajudará a diagnosticar os problemas dentro do cilindro. Os relatórios e fichas de manutenção do motor que está sendo testado devem ser revisados. As anotações das checagens de compressão anteriores ajudam a determinar as condições de uso progressivo e a estabelecer as ações de manutenção necessárias.

Os dois tipos básicos de teste de compressão, atualmente em uso para checar a compressão dos cilindros em motores de aviões, são o testador de compressão direta e o de pressão diferencial.

Os procedimentos e precauções a serem observados durante o uso de um destes tipos de testadores estão resumidos nesta seção. Ao se executar um teste de compressão, as instruções do fabricante do testador deverão ser seguidas.

Testador de compressão direta

Este tipo de teste de compressão indica a pressão atual dentro do cilindro.

Embora um componente em particular com defeito dentro do cilindro seja difícil de determinar por este método, a uniformidade de uma leitura para todos os cilindros é uma indicação da condição do motor como um todo.

As seguintes diretrizes são sugeridas para realizar um teste de compressão direta:

(1) Aquecer o motor a temperatura de realização do teste, tão logo quanto possível, após o corte do motor.

(2) Remover a vela mais acessível de cada cilindro.

(3) Girar o motor com o motor de partida para expulsar qualquer excesso de óleo ou carbono solto nos cilindros.

(4) Se um conjunto completo de testadores de compressão estiver disponível, instalar um testador em cada cilindro. Entretanto, se somente um testador estiver sendo utilizado, checar cada cilindro em rodízio.

(5) Usar o motor de partida do motor, girando o motor pelo menos três voltas completas, e anotando os valores de compressão. O uso de uma fonte de energia externa, como uma bateria fraca, resultará em uma menor razão de giro do motor e valores de compressão menores.

(6) Checar novamente qualquer cilindro que demonstrar uma leitura anormal, quando comparada com os outros. Qualquer cilin-

dro que tenha uma leitura de pressão aproximada de 15 PSI menor que os outros, é suspeito de apresentar defeito.

(7) Se um testador de compressão for suspeito de estar defeituoso, substitui-lo por outro em bom estado, e checar novamente a compressão dos cilindros afetados.

Testador de pressão diferencial

O testador de pressão diferencial checa a compressão dos motores do avião ao medir o vazamento através do cilindro.

O projeto deste testador de pressão é tal que, vazamentos diminutos na válvula são detectados, tornando possível a substituição do cilindro onde a queima da válvula está iniciando.

A operação do testador de pressão está baseada no princípio de que, para qualquer fluxo de ar através de um orifício fixo, resultará numa queda de pressão constante

Como o fluxo de ar varia, a pressão troca de acordo com esta variação e na mesma direção.

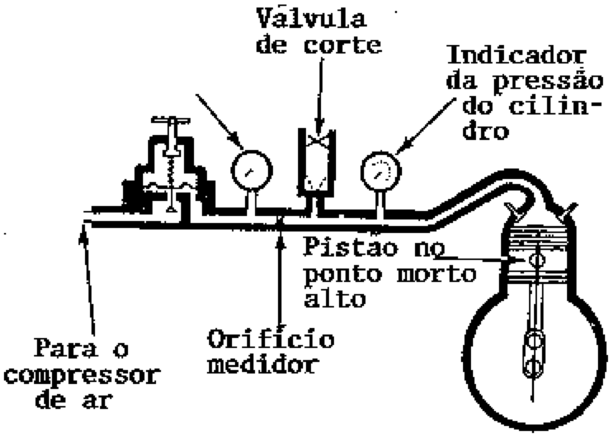


Figura 10-46 Testador da pressão diferencial.

Se o ar é suprido sob pressão para o cilindro com ambas as válvulas de descarga e admissão fechadas, a quantidade de ar que vaza pelas válvulas ou anéis indica sua condição; o cilindro perfeito, naturalmente, não deve ter nenhum vazamento.

O testador de pressão diferencial (figura 10-46) requer a aplicação de ar sob pressão para o cilindro que está sendo testado com o pistão no ponto morto alto.

As diretrizes para se executar o teste de compressão diferencial são:

(1) Fazer o teste de compressão tão logo quanto possível, após o corte do motor, para garantir a lubrificação uniforme nas paredes dos cilindros e anéis.

(2) Remover a maioria das velas acessíveis do cilindro, ou cilindros, e instalar um adaptador de velas no local das velas.

(3) Conectar o conjunto testador de compressão a uma fonte de ar comprimido de 100 a 150 PSI. Com a válvula de corte sobre o testador de compressão fechada, ajustar o regulador do testador para 80 PSI.

(4) Abrir a válvula de corte, e fixar a mangueira de ar com um conector de desconexão rápida ao adaptador da vela. A válvula de corte quando aberta manterá automaticamente uma pressão de 15 a 20 PSI no cilindro, quando ambas as válvulas de admissão e descarga estiverem fechadas.

(5) Girar o motor no sentido de rotação, até que o pistão no cilindro que está sendo testado, alcance no ciclo de compressão 15 PSI. Continuar girando a hélice lentamente na direção de rotação até que o pistão atinja o ponto morto alto. O ponto morto alto pode ser detectado pela diminuição da força requerida para mover a hélice. Se o motor for girado além do ponto morto alto, as 15 a 20 PSI tenderão a mover a hélice na direção de rotação. Se isto ocorrer, retornar a hélice pelo menos uma pá, antes de girar a hélice novamente na direção de rotação. Este retorno é necessário para eliminar o efeito de contra-rotação no mecanismo de operação da válvula, e para manter os anéis dos pistões alojados na sede.

(6) Fechar a válvula de corte no testador de compressão e checar a pressão regulada para observar se ela mantém em 80 PSI, com fluxo de ar para o cilindro. Se a pressão regulada for maior ou menor que 80 PSI, reajustar o regulador para 80 PSI. Quando fechar a válvula de corte, assegurar que a área de giro da hélice está livre de objetos. Isto porque a pressão de ar na câmara de combustão é suficiente para girar a hélice se o pistão não estiver no ponto morto alto.

(7) Com a pressão regulada e ajustada para 80 PSI, se a leitura da pressão do cilindro indi-

cada no manômetro for inferior ao mínimo especificado para o motor que está sendo testado, mover a hélice na direção de rotação para assentar os anéis dos pistões nas ranhuras. Checar todos os cilindros, e anotar os valores.

Se uma baixa compressão for obtida em qualquer cilindro, girar o motor com o motor de partida em potência de decolagem, e checar novamente se o cilindro, ou cilindros que tenham apresentado problema.

Se a baixa pressão não for corrigida, remove-se a tampa do cabeçote, checando a folga das válvulas para determinar se a dificuldade é causada por uma folga de válvula inadequada.

Se a baixa compressão não é causada pela folga inadequada da válvula, coloca-se uma barra de fibra sobre o balancim imediatamente sobre a haste da válvula, batendo na barra várias vezes com martelo de 1 a 2 lbs para desalojar qualquer material estranho entre a válvula e a sede da válvula. Após soltar a válvula desta maneira, gira-se o motor com o motor de arranque, checando a compressão.

Não se deve fazer uma checagem de compressão após a válvula ter sido solta, ao menos até que o eixo de manivelas tenha sido girado, ou com o motor de partida ou com a mão, a fim de permitir o reassentamento da válvula de maneira normal. Uma velocidade maior no assentamento, obtida quando soltar a válvula, indicará o assentamento das válvulas nas suas sedes mesmo estando ligeiramente ovaladas ou excêntricas.

Cilindros que tenham ficado com a compressão abaixo da mínima especificada, após o assentamento devem ser novamente examinados para determinar se o vazamento ocorre na válvula de exaustão, na válvula de admissão ou no pistão. O vazamento excessivo pode ser detectado: (1) na válvula de exaustão escutando-se o vazamento de ar na saída de exaustão; (2) na válvula de admissão pelo escapamento de ar na tomada de ar; e (3) nos anéis dos pistões pelo escapamento de ar nos suspiros do motor.

O teste de ventilação é outro método de detecção de vazamento nas válvulas de admissão e escape. Nesse teste, quando o pistão é movido para o ponto morto alto de compressão, a falha da válvula pode ser detectada escutando-se o som de respiração (ventilação) nas saídas de exaustão ou no duto de entrada de ar.

Outro método é com o ar comprimido admitido através do orifício da vela. O pistão deve ser retido no ponto morto alto de compressão durante esta operação. Um vazamento nas válvulas, ou nos anéis do pistão, pode ser detectado escutando-se as saídas de exaustão, duto de admissão ou suspiro do motor.

Em seguida à ventilação da válvula (*Blow-by*), a causa mais frequente de vazamento de compressão é o vazamento excessivo através do pistão. Este vazamento pode ocorrer devido a falta de óleo. Para examinar esta possibilidade, o óleo deve ser esguichado dentro do cilindro e ao redor do pistão. Se este procedimento elevar a compressão a um mínimo requerido, ou acima, dá-se continuação ao serviço do cilindro. Se a pressão ainda não atingir o mínimo requerido, ele é substituído por outro.

Quando for necessário substituir um cilindro, devido ao resultado de baixa compressão, anota-se o número do cilindro e o valor da compressão do novo cilindro instalado na ficha de teste de compressão.

Substituição do cilindro

Cilindros de motores alternativos são projetados para operar um tempo especificado antes que o uso normal requeira sua revisão. Se o motor for operado como recomendado, e a manutenção preventiva for executada, os cilindros normalmente resistirão até que o motor seja removido por limite de horas

É de conhecimento, por experiência, que os materiais falham e que os motores são castigados por operações incorretas; isto tem uma série de efeitos sobre a vida dos cilindros.

Outra razão para a troca prematura do cilindro é a manutenção deficiente. Portanto, cuidado especial deve ser observado para assegurar que todos os corretos procedimentos de manutenção sejam realizados quando trabalhando com o motor.

Algumas das razões para a substituição dos cilindros são:

(1) Baixa compressão.
(2) Alto consumo de óleo em um ou mais cilindros.
(3) Excessiva folga na guia da válvula.
(4) Flanges do duto de admissão soltos.
(5) Sedes de válvula com defeito ou soltas.
(6) Danificação externa como rachaduras.

Quando condições como estas são limitadas a um ou poucos cilindros, a substituição destes, sendo defeituosos, retornará o motor a sua condição de serviço.

O número de cilindros que podem ser substituídos economicamente em motores refrigerados a ar, depende do número deles a serem substituídos. A experiência tem indicado que, em geral, 1/4 ou 1/3 dos cilindros de um motor podem ser substituídos economicamente. Consideram-se estes fatores quando uma decisão tiver que ser tomada:

(1) Tempo do motor.
(2) Prioridade estabelecida para retornar o avião para serviço.
(3) Disponibilidade de cilindros reserva e motores reserva.
(4) Se QECA (conjuntos de troca rápida de motor) estão sendo usados.
(5) O número de pessoas disponíveis para a troca.

O cilindro é sempre substituído por um conjunto completo que inclui: pistão, anéis, válvulas, e molas de válvulas. O cilindro é obtido pela numeração do conjunto do cilindro pelo P/N, especificado no catálogo de partes do motor.

Exceto certas condições, não se tenta substituir partes individuais como pistões ou válvulas. Esta precaução garante que folgas ou tolerâncias sejam corretas. Outras partes, como molas de válvulas, balancins, tampa do cabeçote podem ser substituídas individualmente.

Normalmente todos os cilindros de um motor são similares; deste modo, todos são tamanho padrão ou todos são trabalhados para as mesmas dimensões, e são de aço ou cromados. Em alguns casos, devido ao curto espaço de tempo de revisão, pode ser necessário que motores tenham dois tamanhos diferentes de cilindros.

Substitui-se um cilindro por outro de mesmo tamanho se possível.

Se um cilindro idêntico não estiver disponível, é possível instalar outro cilindro padrão ou sob medida, desde que não afete negativamente a operação do motor.

O tamanho do cilindro é indicado por um código de cor ao redor do corpo (Figura 10-47), entre o flange de fixação e a aleta de refrigeração da parte inferior.

Em alguns casos, motores refrigerados a ar são equipados com cilindros cromados, que são usualmente identificados por uma banda pintada ao redor do corpo entre o flange de fixação e a aleta de refrigeração da parte inferior.

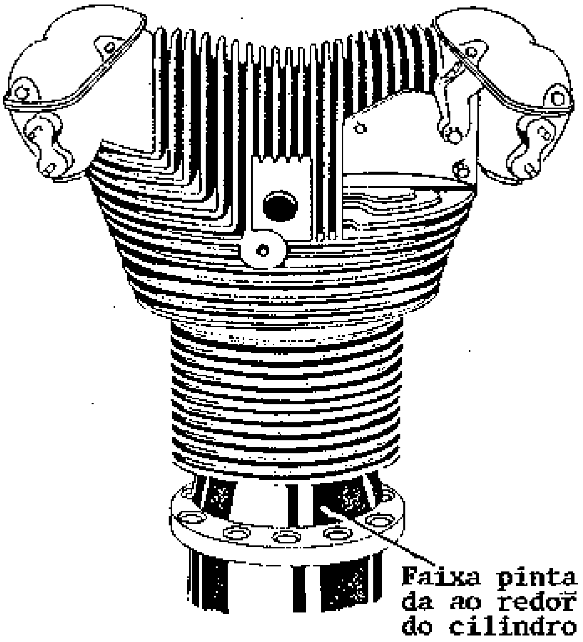


Figura 10-47 Identificação da medida do cilindro.

Esta banda colorida é identificada internacionalmente pela cor laranja.

Quando se instala um cilindro cromado não se usa anéis cromados; conjuntos combinados incluirão, naturalmente, anéis corretos. Entretanto, se um anel for quebrado durante a instalação do cilindro examina-se a marcação do cilindro para determinar qual o anel, cromado ou não, e o correto para a substituição. Precauções similares devem ser tomadas para assegurar que anéis de tamanhos corretos sejam instalados.

Cuidados e procedimentos corretos são importantes quando se trata da substituição dos cilindros. Trabalho negligente, ou uso de ferramentas incorretas podem prejudicar a substituição do cilindro ou suas partes. Procedimentos incorretos na instalação de cabeçotes podem resultar em algum vazamento de óleo. Torques impróprios de porcas ou parafusos de fixação do cilindro podem facilmente resultar em um mau funcionamento do cilindro, e subsequente falha do motor.

A discussão da substituição de cilindros neste manual está limitada a instalação e remoção de cilindros de motor refrigerados a ar. A discussão está centrada em motores opostos e radiais, uma vez que estes são os motores de avião nos quais a substituição de cilindro ocorre com mais frequência.

Visto que estas instruções são insuficientes para cobrir todos os motores refrigerados a ar, elas têm o caráter de informações gerais. O manual de manutenção do fabricante deve ser consultado para valores de torque e precauções especiais, aplicadas a um motor ou avião em particular.

Contudo, práticas de limpeza e asseio, e proteção das aberturas, devem ser tomadas, de modo que porcas, arruelas, ferramentas e itens diversos não entrem nas seções internas do motor.

REMOÇÃO DO CILINDRO

Assumindo-se que todas as coberturas e suportes tenham sido removidos, primeiro remove-se o tubo de admissão e os tubos e exaustão; tampando as aberturas na seção difusora. Os defletores dos cilindros, e qualquer suporte de fixação que possa obstruir a remoção do cilindro são removidos. Solta-se as velas e os cabos de vela. Não se remove as velas até que o cilindro seja removido.

Os cabeçotes devem ser removidos depois das porcas, e então, bate-se suavemente a cobertura com martelo de couro cru ou de plástico. Nunca a cobertura é removida com uma chave de fenda ou ferramenta similar.

As porcas das hastes ou braçadeiras superiores e inferiores devem ser soltas. As hastes são removidas pela depressão dos balancins ou uma ferramenta especial ou pela remoção dos balancins. Antes de remover as hastes, gira-se o eixo de manivelas até que o pistão esteja no ponto morto alto de compressão. Isto alivia a pressão sobre ambos os balancins de admissão e descarga, além de ser uma maneira de deixar o ajuste das porcas para mais tarde, pois permite uma folga máxima para a remoção da haste quando os balancins são aliviados.

Em alguns modelos de motores, os tuchos e as molas dos cilindros inferiores podem cair. Cuidados devem ser tomados para pegá-los quando as hastes e alojamentos são removidos.

Após a remoção das hastes, elas devem ser examinadas quanto à existência de marcas, de modo que elas possam ser recolocadas nas mesmas posições das quais foram removidas. As juntas universais são normalmente usadas para fixar o encaixe na qual elas operavam.

Ademais, algumas hastes de motores não são do mesmo comprimento.

Um bom procedimento é marcar as hastes próximo das extremidades das válvulas: "nº 1 in" "nº 1 ex", "nº2 in" "nº2 ex", etc Em motores com injeção de combustível, desconecta-se a linha de injeção, removendo o injetor de combustível e qualquer braçadeira de linha que interfira com a remoção do cilindro.

Se o cilindro que está sendo removido for um cilindro de biela mestra, precauções especiais em adição as precauções para remoção de cilindros regulares, devem ser tomadas. Informações que designem qual o cilindro que tenha biela mestra estão incluídas na placa de dados do motor.

Arranjos devem ser feitos para manter a biela mestra na posição intermediária do orifício do cárter do cilindro (após o cilindro ter sido removido). Gabaritos ou guias são normalmente fornecidas pelo fabricante para esta finalidade.

Sob nenhuma circunstância deve a biela mestra ser movida lateralmente, ela deve ser mantida centrada até que o guia esteja no local. Não se deve girar o eixo de manivelas enquanto o cilindro da biela mestra é removido, e outros cilindros permanecem no motor.

Estas precauções são necessárias para evitar que os anéis inferiores de algum dos outros pistões saiam dos cilindros, expandindo e danificando os anéis e bordas dos pistões. Se vários cilindros estão sendo removidos, e um deles for o cilindro da biela mestra, ele deverá ser sempre o último a ser removido e o primeiro a ser instalado.

O próximo passo na remoção do cilindro é cortar os arames de freno ou remover os contra-pinos; e remover os dispositivos de bloqueio dos parafusos ou porcas de fixação do cilindro. Remove-se todos os parafusos ou porcas, exceto dois a 180º um do outro. Usa-se a ferramenta especificada para esta finalidade na seção de ferramentas especiais do motor apropriado.

Finalmente, enquanto suportando o cilindro, os dois parafusos ou porcas remanescentes devem ser removidos e, suavemente, o cilindro do cárter deve ser puxado. Duas pessoas podem trabalhar juntas durante esta etapa, assim como durante os procedimentos remanescentes de substituição dos cilindros. Após a borda do cilindro estar fora do cárter, e antes de impulsionar o pistão da borda, providencia-se algum meio (um pano) para evitar que pedaços de anéis quebrados penetrem no cárter.

Após o pistão ter sido removido, os panos também devem ser e, cuidadosamente, checa-se quanto a pedaços de anéis de pistão. Para se ter a certeza de que nenhum pedaço de anel entre no cárter, coleta-se todos os pedaços para ver se eles formam um anel completo.

Coloca-se um suporte na montagem de apoio do cilindro, segurando com dois parafusos, ou porcas; então, remove-se o pistão e o conjunto de anéis da biela.

Quando o verniz tornar difícil remover o pino, um toca-pinos ou uma ferramenta extratora podem ser usados. Se uma ferramenta especial não estiver disponível, e um punção for usado para remover o pino do pistão, a biela deve ser empurrada. Se isto não for feito, a biela poderá ser danificada.

Após a remoção do cilindro e do pistão, a biela deverá ser apoiada para evitar danos na haste e no cárter. Isto pode ser feito apoiando cada biela com o anel de vedação da base laçando a biela com os prisioneiros da base do cilindro. Usando uma escova de aço, limpa-se os parafusos ou prisioneiros examinando-os quanto a rachaduras, danos na rosca ou qualquer outro dano visível. Se um parafuso for encontrado frouxo ou quebrado em qualquer momento da remoção do cilindro, todos os parafusos da devem ser substituídos, uma vez que os remanescentes podem ter sido seriamente comprometidos.

Uma falha no parafuso de fixação do cilindro levará os parafusos adjacentes a uma pressão de operação muito grande e eles estarão provavelmente fatigados além do seu limite elástico. A instrução dos fabricantes de motores deve ser seguida para o número de parafusos que devem ser substituídos após uma falha de parafuso de fixação.

Ao remover um parafuso quebrado, toma-se as precauções apropriadas para evitar que limalhas entrem na seção de força do motor.

Em todos os casos, ambas as faces das arruelas e faces de assentamento de porcas e parafusos, ou parafusos ou prisioneiros, devem ser limpos e toda a aspereza ou rebarba removida.

INSTALAÇÃO DO CILINDRO

Todo o acúmulo de óleo do cilindro e do conjunto do pistão deve ser removidos com solvente, e completamente seco com ar comprimido.

Instala-se o pistão e o conjunto de anéis na biela; certificando que o pistão está alinhado na direção correta.

O número do pistão estampado no fundo deve ficar com a face virada para a frente do motor.

O pino do pistão deve ser lubrificado antes de ser inserido e deverá encaixar com um empurrão adequado. Se um punção tiver que ser usado, segue-se as mesmas precauções que foram usadas durante a remoção do pino.

O exterior do pistão é lubrificado generosamente, forçando óleo ao redor dos anéis do pistão, no espaço entre os anéis e as estrias. Defasar os espaços dos anéis ao redor do pistão, verifica-se se os anéis estão nas estrias corretas e se eles estão posicionados corretamente, porque alguns são usados como raspador de óleo e outros como anéis bombeadores. O número, tipo e arranjo dos anéis de compressão e controle de óleo variam de acordo com o fabricante e modelo do motor.

Se for necessário substituir os anéis de um ou mais pistões, checa-se a folga lateral de acordo com as especificações do fabricante, usando um calibre. O espaço entre as extremidades do anel deve ser checado.

O método de checagem das folgas lateral e da extremidade do anel é mostrado na figura 10-48. Se o calibre mostrado não estiver disponível, um pistão (sem anéis) pode ser inserido no cilindro e o anel inserido na cavidade do cilindro. Insere-se o anel na borda do cilindro abaixo do flange de montagem, visto que isto é usualmente o menor diâmetro da cavidade, puxando o pistão contra o anel para alinhá-lo adequadamente na cavidade.

Se for necessário, remove-se o material para obter a folga lateral correta, isto pode ser feito girando as estrias do pistão ligeiramente sobre cada lado, ou polindo o anel sobre a superfície de uma placa.

Se a folga da extremidade for muito pequena, o excesso de metal pode ser removido apertando-se uma fresa rotativa em uma morça, prendendo o anel no alinhamento adequado, e removendo o excesso das extremidades. Em todos os casos, os procedimentos do fabricante do motor devem ser seguidos.

Antes de se instalar o cilindro, checa-se o flange para ver se as superfícies estão lisas e limpas. Cobre-se o interior do corpo do cilindro generosamente com óleo, assegurando que o anel de vedação de óleo do cilindro esteja no lugar, e que somente um anel de vedação seja usado.

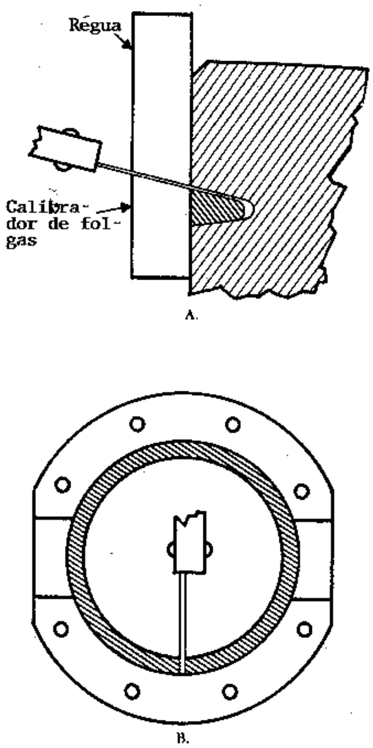


Figura 10-48 A - Medição da folga lateral do anel de segmento;
B - Medição da folga na emenda do anel.

Usando um compressor de anéis, comprima-os a um diâmetro igual ao do pistão. Leva-se o conjunto do cilindro para baixo sobre o pistão, assegurando-se de que o plano do cilindro e o do pistão permanecem os mesmos. Coloca-se o cilindro sobre o pistão com movimento reto e plano, o que moverá o compressor de anéis quando estes encaixarem na ranhura. Não se balança o cilindro enquanto o pistão estiver sendo encaixado, uma vez que qualquer balanço é capaz de soltar um anel do pistão ou uma parte de um anel do compressor, antes que os anéis entrem na cavidade do cilindro. Um anel aliviado desta maneira será expandido, e evitará que o pistão entre no cilindro. Qualquer tentativa de forçar o cilindro sobre o pistão pode causar rachaduras ou arranhões do anel ou danificar os anéis.

Após o cilindro ter sido encaixado sobre o pistão, de modo que todos os anéis estejam na cavidade do cilindro, remove-se o compressor de anel e a biela guia. Então, desliza-se o cilindro para o local sobre a base de montagem. Se parafusos forem usados, gira-se o cilindro para alinhar os furos. Enquanto o cilindro ainda está sendo apoiado, 2 parafusos ou porcas defasadas de 180º, são instalados.

Se o cilindro estiver preso ao cárter por arruelas cônicas, parafusos e porcas, ele deve ser posicionado sobre a seção do cárter por dois parafusos ou porcas especiais.

Esses parafusos ou porcas não permanecem no motor, eles são removidos e substituídos por parafusos ou porcas regulares e arruelas cônicas, após terem sido úteis, e outros parafusos ou porcas tenham sido instalados e apertados com o torque prescrito.

Instalam-se os parafusos com porcas remanescentes com suas arruelas cônicas, apertando-os até que fiquem assentados.

O lado cônico de cada arruela deve ficar voltado para o flange de montagem do cilindro. Antes de se inserir os parafusos, eles devem ser cobertos com um bom selante para evitar um vazamento de óleo.

Os parafusos e porcas de fixação devem agora ser torqueados para o valor especificado na tabela de valores de torque, do manual de revisão ou serviço do fabricante do motor. Uma sequência específica e definida de torque para fixação de todos os cilindros deve ser seguida. Uma regra geral é apertar primeiro os dois parafusos, ou porcas defasadas de 180º; depois apertar dois alternados a 90º dos dois primeiros.

Se parafusos e porcas localizadoras estão sendo usados, eles devem ser torqueados primeiro. O aperto dos parafusos ou porcas remanescentes devem ser alternados em 180º durante o torque do restante dos parafusos do cilindro.

Aplica-se o torque com movimento suave e lento, até que o valor descrito seja atingido. A tensão sobre a ferramenta deve ser mantida por tempo suficiente, para assegurar que o parafuso ou a porca não ficarão mais apertados que o valor de torque prescrito.

Em muitos casos, um giro adicional de 1/4 de volta deve ser feito para manter o torque prescrito por um curto período de tempo. Após apertar os parafusos e porcas regulares, remove-se os dois parafusos e porcas localizadores, instalando parafusos e porcas regulares, apertando-os até o valor de torque prescrito.

Após os parafusos terem sido torqueados no valor prescrito, devem ser frenados, da maneira recomendada pelo manual de serviço do fabricante do motor.

As hastes de depressão, seus alojamentos, balancins, defletores, dutos de admissão, grampos e braçadeiras dos cabos de ignição, grampos das linhas de injeção de combustível, injetor de combustível, dutos de exaustão, defletores da cabeça do cilindro e velas, são reinstalados.

As hastes de depressão devem ser instaladas em suas posições originais, e não devem ser invertidas. A bola da haste de depressão deve estar assentada adequadamente no ressalto, pois ela está apoiada na margem, ou no rebaixo do ressalto.

Além disto, a rotação do eixo de manivelas com a haste de depressão assentada na margem do ressalto pode entortar a haste. Após a instalação das hastes e balancins, ajusta-se a folga da válvula.

Antes de se instalar os cabeçotes, os mancais dos balancins e as hastes das válvulas devem ser lubrificados. Checa-se os cabeçotes quanto a planicidade, retrabalhando, se necessário.

Após a instalação das gaxetas e coberturas, aperta-se as porcas dos cabeçotes com o torque especificado. Frena-se as porcas e parafusos e outros fixadores que requeiram frenagem. Seguir os procedimentos de frenagens recomendados.

VÁLVULA E MECANISMO DA VÁLVULA

As válvulas abrem e fecham as aberturas no cabeçote do cilindro, para controlar a entrada da mistura de combustível, e a saída dos gases de exaustão.

É importante elas abrirem e fecharem adequadamente, e assentarem contra as sedes das aberturas para assegurar o máximo de potência da queima da mistura ar/combustível para o eixo de manivela, e para evitar a queima da válvula. O movimento das válvulas é controlado pelo mecanismo de operação.

O mecanismo de válvula inclui discos ou eixos cames, rolete de came, haste de depressão, balancins, molas de válvulas e retentores. Todas as partes de um mecanismo de válvula devem estar em boas condições e a folga da válvula estar correta para que as válvulas operem adequadamente.

A checagem e o ajuste da folga das válvulas é a fase mais importante da inspeção da válvula, e certamente a mais difícil. Deste modo, a inspeção visual não deve ser desprezada, deve incluir uma checagem para os itens principais, como segue:

(1) Partículas metálicas junto aos balancins são indicação de uso excessivo ou falha parcial do mecanismo da válvula. – Localizar e substituir as partes defeituosas.

(2) Excessiva folga lateral ou atrito lateral do balancim. – Substituir os balancins defeituosos. Adicionar calços, quando permitido para corrigir a folga lateral excessiva.

(3) Folga insuficiente entre o balancim e o retentor da mola da válvula. Seguir o procedimento definido no manual de serviço do motor para checar esta folga, e aumentá-la para o mínimo especificado.

(4) Substituir quaisquer partes danificadas, tais como rachaduras ou partes quebradas em balancins, retentores de molas ou molas das válvulas avariadas.
Se a parte danificada não puder ser substituída no local, substituir o cilindro.

(1) Folga excessiva da haste da válvula. Um certo ângulo entre a haste e a guia da válvula é normal. – Substituir o cilindro somente em casos graves.

(6) Evidência de lubrificação incorreta. Secura excessiva indica lubrificação insuficiente. Entretanto a lubrificação varia entre motores e entre cilindros de um mesmo modelo de motor. Por exemplo, as caixas dos balancins superiores de motores radiais normalmente trabalharão mais secas do que as inferiores. Estes fatores devem ser considerados se uma ampla lubrificação está, ou não, sendo obtida. Sempre que uma lubrificação imprópria for indicada, determinar a causa e corrigir. Por exemplo, um balancim seco pode ser causado por uma passagem obstruída na haste de depressão. Excessiva quantidade de óleo pode ser causada por drenos obstruídos entre o alojamento (caixa) dos balancins e o cárter. Se os drenos das hastes de depressão começarem a entupir, o óleo forçado para os balancins e outras partes do mecanismo da válvula não poderá retornar ao cárter. Isto pode resultar em um vazamento de óleo no cabeçote, ou infiltração de óleo ao longo das hastes da válvula para dentro do cilindro ou sistema de exaustão, causando um consumo exces-

sivo de óleo no cilindro afetado e fumaça na exaustão.

(7) Excesso de borra no alojamento dos balancins. Isto indica uma temperatura excessiva no alojamento e, pode ser causada por posicionamento inadequado da carenagem, ou dos anteparos térmicos de exaustão ou defletoras. Após a correção da causa da dificuldade, pulverizar o interior do alojamento dos balancins com solvente limpo e livre de umidade, ventilar com ar comprimido seco, e então, cobrir o mecanismo da válvula e o interior do alojamento dos balancins com óleo limpo de motor.

(8) Variação na folga da válvula não explicada pelo uso normal. – Se há folga excessiva na válvula, checar se as hastes de depressão não estão emperradas. Substituir as que estão com defeito. Checar também as válvulas presas. Se a haste de depressão estiver reta e a válvula abrir e fechar quando a hélice for acionada com a mão, checar o aperto dos parafusos de ajustes para determinar se a folga foi ajustada incorretamente.

Após o ajuste de folga de cada válvula, aperta-se a porca ou o parafuso de bloqueio com o torque especificado no manual de manutenção. Após completar todos os ajustes das folgas, e antes de instalar os cabeçotes, uma checagem deve ser feita em todas as porcas ou parafusos de bloqueio, quanto ao aperto com um torquímetro.

Cabeçotes empenados são causas comuns de vazamento de óleo, por isto eles devem ser checados quanto a planicidade em cada inspeção de válvula.

Qualquer cabeçote empenado deve ser lapidado sobre uma lixa colocada sobre uma superfície plana. O empenamento do cabeçote frequentemente é causado por apertos impróprios nas porcas de fixação. Elimina-se qualquer empenamento, apertando as porcas para os valores especificados no manual de serviços do fabricante.

Folga de válvula

A quantidade de potência que pode ser produzida por um cilindro depende primeiro da quantidade de calor que pode ser produzido neste cilindro sem efeitos destrutivos sobre seus componentes.

Qualquer condição que limita a quantidade de calor no cilindro também limita a quantidade de potência que este cilindro possa produzir.

O fabricante ao determinar o tempo de abertura das válvulas, e estabelecer o máximo de potência que o motor operará, considera a quantidade de calor na qual os componentes do cilindro, tais como velas e válvulas podem operar eficientemente. O nível de calor da válvula de escape deve ser inferior aquele no qual ocorrerá corrosão ou empenamento da válvula. A cabeça da válvula de escape está exposta ao calor de combustão durante todo o tempo do período da combustão. Em adição, a cabeça desta válvula e uma parte da haste, é exposta ao calor dos gases de exaustão.

Sob operação normal, a válvula de exaustão permanece abaixo de um nível crítico de calor, devido a seu contato com a sede da válvula quando fechada, e devido a dissipação de calor através da haste. Qualquer condição que evite que a válvula assente adequadamente e pelo período de tempo requerido irá expor a válvula a limites críticos de calor durante os períodos de alta potência. No caso de pouco contato da válvula com a sede, a válvula de exaustão poderá empenar durante os períodos de baixa potência.

Normalmente, a válvula de exaustão fica fechada e em contato com sua sede aproximadamente 65% do tempo durante o ciclo de 4 tempos. Se o ajuste da válvula está correto, e se a válvula assenta firmemente quando fechada, uma quantidade de calor é transferido da válvula através da sede para o cabeçote do cilindro.

Para que uma válvula assente adequadamente, ela deve estar em boas condições, sem uma significativa pressão exercida contra a extremidade da válvula pelo balancim.

Na expansão das partes do motor, incluindo o conjunto da válvula, o problema de assegurar o assentamento da válvula deve ser de fácil solução. Praticamente nenhum espaço livre é necessário no sistema da válvula. Entretanto, se houver uma grande diferença na quantidade de expansão das várias partes do motor, não há um meio para providenciar uma folga constante de operação no conjunto da válvula.

A folga no sistema de atuação da válvula é muito pequena quando o motor está frio, mas ela aumenta muito quando o motor está operando em sua temperatura normal. A diferença é causada pelas diferentes características de expansão dos vários metais, e pelas diferenças na temperatura das várias partes do motor.

Existem muitas razões para que a folga da válvula seja adequada, e é de importância vital para uma operação satisfatória do motor. Uma vez que todos os cilindros recebem sua mistura ar/combustível (ou ar) de um suprimento comum, a folga da válvula afetará a quantidade e a proporção (mistura mais ou menos rica) da mistura ar/combustível. Desta forma, é essencial que as folgas das válvulas sejam corretas e uniformes entre cada cilindro.

Em motores radiais, a folga da válvula diminui com a queda na temperatura, a folga insuficiente pode prender a válvula na posição aberta em temperaturas extremamente frias. Isto pode fazer com que a partida do motor em temperaturas frias fique difícil, senão impossível, devido a inabilidade do cilindro em puxar uma carga de combustível para dentro da câmara de combustão.

O ajuste preciso da válvula estabelece a pretensão da velocidade do assentamento da válvula. Se as folgas forem excessivas, a velocidade de assentamento é muito alta. O resultado é o batimento da válvula, e o dilatamento da haste levando à falha da válvula. Folga insuficiente dificulta a partida do motor e leva a válvula a trancar na posição aberta, causando a ventilação e subsequente falha da válvula quando sujeita a alta temperatura.

O fabricante do motor especifica o período de inspeção da válvula para cada motor. Em adição aos períodos regulares, inspeciona-se o mecanismo da válvula sempre que houver uma operação áspera do motor, retorno de chama, baixa compressão ou partida dura.

Devido a variação do projeto do motor, vários métodos são requeridos para ajustar as válvulas em obter as folgas corretas e consistentes. Em todos os casos, segue-se o procedimento exato prescrito pelo fabricante do motor, uma vez que fatores obscuros podem estar envolvidos.

Por exemplo, há considerável flutuação do came dos diversos motores radiais, e o procedimento de ajuste das válvulas nestes motores é desenvolvido para permitir o posicionamento correto e consistente do came.

Deste modo, na razão do movimento da válvula para movimentar a haste de depressão, que é de 2 por 1, cada mudança de 0,001 de polegada do came pode resultar em uma variação de 0,002 pol na folga da válvula.

Motores "*Wright*" incorporam válvulas lubrificadas sob pressão.

O óleo sob pressão passa através das hastes de pressão, e pelo centro do parafuso de ajuste de folga da válvula. Deste ponto, o óleo se distribui em 3 direções.

Para permitir uma lubrificação adequada, uma destas três passagens no parafuso de ajuste deve estar parcialmente aberta para lubrificar o mancal do balancim.

Ao mesmo tempo, nenhuma das outras duas passagens devem estar descobertas pela fenda no balancim. Determina-se a localização da passagem de óleo no parafuso de ajuste, colocando a marca estampada "zero" nas suas três posições (Figura 10-49).

Se houver somente dois círculos estampados, a terceira passagem de óleo fica entre as duas.

Após o trabalho final de ajuste da válvula, se algum alinhamento das três passagens de óleo estiver igual ou menor de 3/32" da margem mais próxima da fenda do balancim, gira-se o parafuso de ajuste na direção para aumentar ou diminuir a folga até que a marca de referência "zero" esteja 3/32" da margem mais próxima da fenda do balancim, ou até que o valor máximo ou mínimo da folga seja atingido.

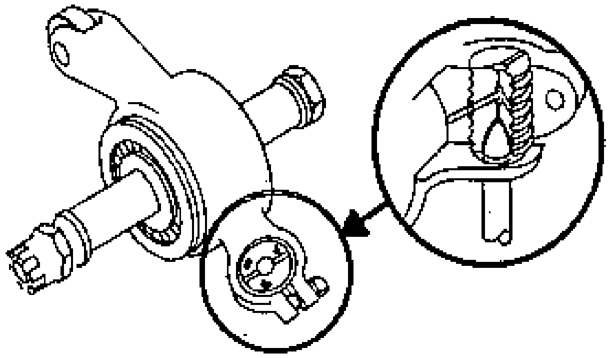


Figura 10-49 Alinhamento do parafuso de regulagem de válvula.

Motores PW também incorporam válvulas lubrificadas sob pressão. Nesses motores não há fenda nos balancins, mas o parafuso do ajuste de folga da válvula pode ser girado em qualquer direção de modo que a passagem de óleo para o parafuso do balancim fique bloqueada.

Instruções específicas para regulagem da folga de motores PW determinam qual quantidade de fios de rosca deve ficar acima do balancim. Por exemplo, em um módulo de motor pelo menos 2 fios de rosca, e não mais do que 5, devem ficar a mostra, determinando que a haste de depressão está no comprimento correto. O comprimento da haste de pressão deve puxar uma das extremidades da bucha, e trocar a arruela por outra mais grossa ou mais fina. Se não houver arruela e a haste for muito longa, corrija-se pelo desgaste da extremidade da haste.

Examina-se o manual de revisão ou de serviço do fabricante do motor para o n/umero de fios de rosca máximo e mínimo, que devem ficar no motor em questão. Quando se ajusta a folga da válvula, o calibrador de folga de válvulas, ou calibre de dial especificado na seção "ferramentas" do manual de serviço do fabricante do motor, são sempre usados.

O calibre especificado é de espessura apropriada, e de formato tal que, a extremidade que está sendo usada para checar possa ser colocada em linha reta entre a válvula e o rolete do balancim. Quando um calibre padrão é usado sem curvatura para um ângulo adequado, uma folga falsa será estabelecida, desde que o calibre seja colocado entre a haste da válvula e o balancim ou o rolete do balancim.

Fazendo uma checagem com o calibre de lâminas, não se usa força excessiva para inserir o calibre entre a haste da válvula e o parafuso de ajuste, ou o rolete do balancim.

O calibre poderá entrar, quando forçado, embora a folga seja menor alguns milésimos de polegada do que a espessura do calibre.

Esta preocupação é particularmente importante em motores, onde o came é centrado durante o ajuste da folga da válvula, mesmo que forçando o calibre nestes motores possa levar o came a se deslocar com subsequente falsa leitura.

Quando um calibre de dial e suporte é especificado para montar o calibre no cabeçote, ele deve ser usado.

Um calibre de dial com um suporte pode ser usado para checar as folgas da válvula em qualquer motor. O arranjo do balancim deve ficar de modo tal, que o braço do calibre fique localizado sobre a linha de centro da haste da válvula.

Com o calibre de dial, a folga é a quantidade de movimento obtida, quando o balancim é girado da haste da válvula, até que a outra extremidade do balancim entre em contato com as hastes de pressão.

Uma vez que os procedimentos de ajuste da folga da válvula variam entre motores, um tratamento único não será suficiente. Deste modo, os procedimentos para vários motores, ou grupo de motores, são tratados separadamente nos parágrafos seguintes.

Por isso, os procedimentos são descritos somente para fornecerem uma compreensão das operações envolvidas. Consulta-se as instruções do fabricante do motor para a folga a ser ajustada, o torque a ser aplicado aos parafusos de fixação e as porcas do cabeçote; e outros detalhes pertinentes.

O primeiro passo na checagem e na ajustagem das válvulas, é posicionar o pistão do cilindro nº 1 no ponto morto alto de compressão. Coloca-se o dedo polegar vedando o orifício da vela.

Gira-se a hélice com a mão, até que a pressão do cilindro contra o polegar seja sentida, indicando que o pistão atingiu o curso de compressão.

Insere-se um tubo de alumínio no orifício da vela, girando a hélice na direção de rotação até que o pistão atinja sua posição mais alta. Precauções apropriadas devem ser tomadas para assegurar o curso de compressão.

Após posicionar o pistão e o eixo de manivelas, as folgas de admissão e de escape são ajustadas no cilindro nº 1 aos valores prescritos.

Então, ajusta-se cada cilindro sucessivamente na ordem de fogo, de acordo com o posicionamento do eixo de manivelas para cada cilindro.

As folgas das válvulas são checadas e reajustadas novamente. Nesta segunda checagem, as passagens de óleo dos parafusos de ajuste nos motores, que incorporam válvulas lubrificadas sob pressão, são alinhadas.

Ajuste das válvulas dos motores R-2800

É estabelecida a posição do ponto morto alto do cilindro nº 11 no ciclo de escape. Para fazer isto, primeiro deve-se ter certeza que o pistão está no curso de compressão.Então, insere-se uma haste de alumínio no orifício da vela, girando a hélice no sentido de rotação até que o pistão tenha ido até o curso de expansão, e retornado ao topo do cilindro novamente.

Após ter sido verificada a posição do pistão no topo do cilindro, é estabelecida a verdadeira posição do pistão, girando a hélice primeiro em uma direção e depois noutra, até que a posição do tubo de alumínio indique que o pistão está no seu ponto mais alto dentro do cilindro. Um indicador de ponto morto alto pode também ser usado para estabelecer a posição do pistão. A pressão na válvula de admissão no cilindro nº 7 e da válvula de escape do cilindro nº 15, devem ser aliviadas, usando-se uma ferramenta depressora de válvula. As válvulas devem ter sua pressão aliviada simultânea e vagarosamente.

Estas válvulas devem estar sem carga para remover a tensão da mola das posições laterais do came, e para permitir que o came deslize das válvulas para serem afastados, até que ele conecte o mancal do came. Isto localiza o came numa posição definida evitando com que o came mude sua posição introduzindo erro nas folgas.

Ajusta-se válvula de admissão do cilindro nº 1 e a válvula de escape do cilindro nº 3. Segue-se a tabela da figura 10-50 para ajustar as válvulas remanescentes.

Após completar a primeira checagem, e ajustar as folgas das válvulas, uma outra checagem é feita, reajustando qualquer folga que estiver fora daquela especificada no manual de serviço do fabricante do motor. Nesta segunda checagem, as precauções do capítulo para ajuste de válvula lubrificada sob pressão dos motores PW, são seguidas

..PISTÃO NO PONTO MORTO ALTO DE DESCARGA	VÁLVULAS SEM CARGA NOS CILINDROS		CHEQUE E AJUSTE DAS VÁLVULAS NOS CILINDROS	
Nº DO CILINDRO	ADMISSÃO	ESCAPE	ADMISSÃO	ESCAPE
11	7	15	1	3
4	18	8	12	14
15	11	1	5	7
8	4	12	16	18
1	15	5	9	11
12	8	16	2	4
5	1	9	13	15
16	12	2	6	8
9	5	13	17	1
2	16	6	10	12
13	9	17	3	5
6	2	10	14	16
17	13	3	7	9
10	6	14	18	2
3	17	7	11	13
14	10	18	4	6
7	3	11	15	17
18	14	4	8	10

Figura 10-50 Tabela de ajuste de folga de válvula para motor R-2800

Ajuste das válvulas dos motores R-1830

O ciclo de compressão do cilindro nº 1 deve ser estabelecido, prendendo o polegar sobre o orifício da vela, – para sentir a compressão do cilindro girando a hélice no sentido de rotação. Quando a pressão indicar que o pistão está no ciclo de compressão inserir um tubo de alumínio no orifício da vela e continuar a girar a hélice até que o pistão esteja no topo do seu curso. O eixo de manivelas, adequadamente posicionado, alivia a válvula de admissão do cilindro nº 9 e a de escape no cilindro nº 7. Esta operação alivia a pressão sobre as laterais do came, e permite que ele mude de posição em direção as válvulas.As válvulas a serem aliviadas da pressão, são abertas ao mesmo tempo; mas as esferas das hastes de pressão não sairão da posição quando forem aliviadas as pressões das válvulas Após terminada esta checagem inicial, é feita uma segunda checagem, reajustando qualquer folga fora dos limites especificados no manual de manutenção do fabricante do motor. Nesta segunda checagem, seguem-se as precauções especiais para ajuste de válvulas lubrificadas sob pressão dos motores PW.

Ajuste de válvulas dos motores O-300, O-335, O-405, O-425, VO-435 E O-470

Na checagem e ajustagem das folgas de válvulas, em qualquer destes motores, primeiro posiciona-se o pistão do cilindro nº 1 no ponto morto alto do ciclo de compressão.

Para se encontrar o ciclo correto, é tapado com o dedo polegar o orifício da vela, girando a hélice no sentido de rotação até que o aumento de pressão indique que o pistão está no ciclo de compressão. Então, um tubo de alumínio é inserido no orifício da vela, continuando a girar a hélice até que o pistão esteja no topo do seu curso.

Aciona-se a hélice para trás e para frente para auxiliar na correta posição do pistão.Após posicionar o pistão e o eixo de manivela, o óleo do conjunto dos tuchos hidráulicos é removido, aliviando a pressão dos balancins com a ferramenta especificada no manual de serviço do fabricante do motor. Aplica-se pressão suavemente, uma vez que, uma força excessiva, pode danificar o balancim ou a haste de depressão.

Quatro ou cinco segundos são necessários para remover o óleo dos tuchos hidráulicos. Se não for obtida nenhuma folga, remove-se o êmbolo do tucho, lavando e checando novamente a folga.

Nos motores em que o ajuste de válvulas não é possível, substitui-se as hastes de depressão por outras, maiores ou menores, conforme o recomendado pelas instruções específicas do motor. As válvulas dos cilindros seguintes são ajustadas pela ordem de fogo do motor. Após completar esta checagem inicial, faz-se uma outra checagem, reajustando as folgas que estiverem fora dos limites especificados

.PISTÃO NO PONTO MORTO DE COMPRESSÃO	VÁLVULAS SEM CARGA NOS CILINDROS		CHEQUE E AJUSTE DAS VÁLVULAS NOS CILINDROS
Nº DO CILINDRO	ADMISSÃO	ESCAPE	ADMISSÃO E ESCAPE
1		7	1
10	9	2	10
5	13	11	5
14	8	6	14
9	3	1	9
4	12	10	4
13	7	5	13
8	2	14	8
3	11	9	3
12	6	4	12
7	1	13	7
2	10	8	2
11	5	3	11
6	14	12	6

Figura 10-51 Tabela de ajuste de folga de válvulas do motor R-1830.

Substituição de mola de válvula

Uma mola de válvula quebrada raramente afeta a operação do motor e, normalmente, só pode ser detectada durante uma inspeção cuidadosa.

Uma vez que múltiplas molas são usadas, uma quebrada é difícil de ser detectada. Mas quando uma mola de válvula é descoberta, ela pode ser substituída sem a remoção do cilindro.Durante a remoção da mola, a preocupação mais importante é de não danificar os fios de roscas do orifício da vela. O procedimento completo para substituição da mola da válvula é como segue:

(1) Remover uma vela do cilindro.

(2) Girar a hélice no sentido de rotação até que o pistão atinja o topo do curso.

(3) Remover o balancim.

(4) Usando um compressor de mola de válvula, comprimir a mola e remover os retentores da válvula. Durante esta operação, pode ser necessário inserir uma peça de latão através do orifício da vela para diminuir o espaço entre a válvula e o topo da cabeça do pistão, para segurar a arruela de retenção da mola que estiver solta dos retentores.

O pistão, estando no topo da posição do ciclo de compressão, evita que a válvula corra para dentro do cilindro, uma vez que as arruelas de retenção da mola estão quebradas e soltas dos retentores na haste.

(5) Remover a mola defeituosa, e quaisquer pedaços quebrados que estiverem no cabeçote.

(6) Instalar uma mola nova e arruelas. Usando um compressor de mola de válvula, comprimir a mola, e se necessário afastar a válvula do pistão através da haste de latão, inserida através do orifício da vela.

(7) Reinstalar os retentores e balancins. Fazer uma checagem e ajustar folga da válvula.

(8) Reinstalar a tampa do cabeçote e a vela.

TESTE DE CILINDRO FRIO

A checagem do cilindro frio determina as características de operação de cada cilindro de um motor refrigerado a ar. A tendência de algum cilindro, ou cilindros, estarem ligeiramente frios ou mornos indica falta de combustão ou combustão incompleta dentro do cilindro. Isto deve ser corrigido para melhorar a eficiência do motor.

A checagem de cilindro frio é feita com o indicador de cilindro frio. As dificuldades do motor que podem ser analisadas pelo uso do indicador do cilindro frio (figura 10-52) são:

(1) Operação irregular do motor.

(2) Queda excessiva de r.p.m. durante a checagem do sistema de ignição.

(3) Alta pressão no duto de distribuição para uma dada r.p.m. do motor durante a checagem de solo, quando a hélice está na posição de passo mínimo.

(4) Falha das razões de mistura causada pela folga de válvula incorreta.

Na preparação para a checagem de cilindro frio, direciona-se o avião contra o vento para minimizar a refrigeração individual de um cilindro, e para assegurar uma carga da hélice uniforme durante a operação do motor. Abre-se os flapes de arrefecimento. Não se fecha os flapes de arrefecimento sob nenhuma circunstância, porque o excesso de calor afetará as leituras obtidas, podendo danificar os cabos de ignição.

A partida é dada com a chave de ignição na posição "*both*" (ambos). Depois que o motor estiver operando, coloca-se a chave de ignição na posição em que seja obtida uma excessiva queda de r.p.m.

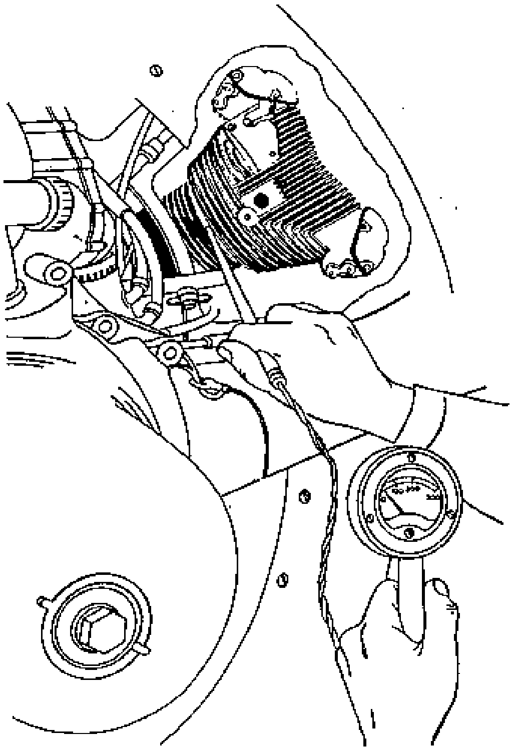


Figura 10-52 Usando um indicador de cilindro frio.

Quando esta queda de rpm for conseguida em ambas as posições, esquerda e direita, ou quando for obtida uma excessiva queda da pressão de admissão a uma dada r.p.m. do motor, faz-se a checagem duas vezes, uma na posição direita e outra na esquerda da chave.

Opera-se o motor na sua velocidade mais severa, entre 1.200 e 1.600 r.p.m., até que a temperatura da cabeça do cilindro alcance de 150º a 170 ºC (302º a 338 ºF), ou até que a temperatura estabilize em um valor menor. Se o funcionamento áspero do motor só for encontrado em uma velocidade maior, ou se houver uma indicação de que um cilindro cessou de operar em velocidade de marcha lenta, ou em alta velocidade, o motor é operado em cada uma dessas velocidades, a seguir, faz-se uma checagem de cilindro frio para determinar se os cilindros estão operando intermitentemente ou estejam mortos (nulos).

Quando for encontrado um motor com vibração ou com baixa potência em velocidades acima de 1.600 r.p.m., e operando com a chave de ignição na posição "*both*", opera-se o motor na velocidade onde os problemas foram encontrados, até que a temperatura da cabeça do cilindro suba entre 150º a 170 ºC, ou que a temperatura tenha estabilizado a um valor inferior.

Quando a temperatura da cabeça do cilindro for atingida, aos valores prescritos no parágrafo anterior, o motor fica estagnado, entretanto deve-se mover o controle de mistura para "*CUT OFF*" (corte), ou para a posição toda pobre.

Quando o motor parar, as chaves "*MASTER*" e a ignição devem ser giradas para a posição "OFF". É importante anotar a temperatura da cabeça do cilindro no indicador da cabine de comando.

Assim que a hélice parar de girar, uma bancada de manutenção deve ser movida para frente do motor.

Conecta-se o grampo fixado no indicador de cilindro frio ao motor ou à hélice, para fornecer um aterramento aos instrumentos.

A ponta da haste de sensibilidade do indicador é pressionada contra cada cilindro; a temperatura relativa de cada cilindro não pode deixar de ser anotada.

Para obter valores de temperatura comparativos, um contato firme deve ser feito no mesmo ponto de cada cilindro.

Qualquer valor muito baixo deve ser checado novamente.

Também devem ser rechecados os dois cilindros que contêm a leitura mais alta, para determinar a velocidade de refrigeração durante o teste.

Comparando as leituras de temperatura pode-se determinar se os cilindros estão mortos ou operando intermitentemente.

As dificuldades que podem levar um cilindro a ficar inoperante (morto), com a chave do magneto nas posições esquerda ou direita são:

(1) Velas defeituosas.

(2) Folgas de válvulas incorretas.

(3) Vazamento no selo de óleo do impulsor.

(4) Vazamento nos dutos de admissão.

(5) Perda de compressão.

(6) Drenos dos alojamentos das hastes de pressão obstruídos.

(7) Falha de operação do injetor de combustível (nos motores com injetores de combustível).

Antes de se substituir as velas, ou fazer um teste de ignição nos cilindros que não estiverem operando ou que estejam operando intermitentemente, checa-se o aterramento do magneto para determinar se a fiação está conectada corretamente.

Repete-se o teste do cilindro frio para as outras posições do magneto na chave de ignição se necessário.

A refrigeração do motor entre os testes é desnecessária.

O fluxo de ar criado pela hélice e o efeito de refrigeração da mistura ar/combustível que entra no cilindro serão suficientes para refrigerar qualquer cilindro que esteja funcionando em um teste, e não funcionando no próximo.

Na interpretação dos resultados de uma checagem de cilindro frio, deve ser lembrado que as temperaturas são relativas.

A tomada de um único cilindro é pouco significativo, entretanto, quando comparada com as temperaturas de outros cilindros de um mesmo motor, a tomada fornece informações para um diagnóstico confiável.

Os valores mostrados na figura 10-53 ilustram este ponto, pois a leitura do indicador de temperatura no cabeçote do cilindro, no momento do corte do motor, era de 160 ºC em ambos os testes. Uma revisão desta leitura de temperatura revela que, no magneto direito, o cilindro nº 6 trabalhou frio, e os cilindros 8 e 9 trabalharam ainda mais frios.

Isto indica que o cilindro 6 está queimando intermitentemente e que os cilindros 8 e 9 estão mortos durante a operação do motor com as velas dianteiras (queima pelo magneto direito). Os cilindros 9 e 10 estão mortos durante a operação pelas velas traseiras (queima pelo magneto esquerdo). O cilindro 9 está completamente morto.

Uma checagem operacional pelo sistema de ignição não detectará este cilindro morto, uma vez que ele está inoperante nas posições da chave: ambos, esquerdo e direito.

Um cilindro morto pode ser detectado durante o aquecimento, uma vez que um motor com um cilindro morto requerirá uma pressão de admissão maior que a normal, para produzir qualquer r.p.m. abaixo da velocidade de corte do governador da hélice.

Um cilindro morto pode, também, ser detectado pela comparação entre a potência de entrada e de saída, com a ajuda de um torquímetro.

Nº DO CILINDRO	MAGNETO DIREITO	MAGNETO ESQUERDO
1	180	170
2	170	175
3	170	170
4	145	150
5	150	155
6	100	150
7	155	160
8	70	155
9	60	45
10	150	65
11	150	145
12	145	150
13	150	145
14	145	145

Figura 10-53 Leituras tomadas durante um cheque de cilindro frio.

Os defeitos no sistema de ignição que podem causar a falha completa de um cilindro são:

(1) Ambas as velas inoperantes.

(2) Ambos os cabos de aterramento vazando ou interrompidos.

(3) Combinação de vela inoperante e defeito nos cabos de ignição.

Falhas nos injetores de combustível, folgas incorretas nas válvulas, e outros defeitos no sistema de ignição, também podem causar a falha completa dos cilindros.

Na interpretação dos dados obtidos em uma checagem de cilindro frio, a velocidade de refrigeração do motor durante a checagem deve ser considerada.

Para determinar a extensão na qual este fator deve ser considerado na avaliação dos resultados, alguns dos primeiros cilindros testados devem ser checados novamente, e comparados com os valores finais daqueles feitos no início da checagem.

Outro fator que deve ser considerado é a variação normal na temperatura entre os cilindros e entre as fileiras. A variação dos resultados esperados está em função do fluxo de ar que passa pelo cilindro.

MANUTENÇÃO DE MOTORES A TURBINA

Os procedimentos de manutenção de motores à turbina têm ampla variação de acordo com o projeto e construção do motor.

Os procedimentos detalhados, recomendados pelo fabricante do motor, devem ser seguidos quando forem realizadas as inspeções ou a manutenção.

As informações de manutenção apresentadas nesta seção não têm a intenção de especificar a maneira exata na qual as operações de manutenção devam ser realizadas, mas são incluídas para transmitir uma idéia geral dos procedimentos envolvidos. Na maior parte, o motor turbojato JT3 da *Pratt and Whitney* é usado na descrição dos procedimentos de manutenção para o compressor de fluxo axial e das palhetas da turbina.

Para os propósitos de inspeção, o motor a turbina é dividido em duas seções principais: a seção fria e a seção quente.

Seção do compressor

A manutenção do compressor, ou seção fria, é preocupação do mecânico de aviação. Danos nas palhetas podem causar a falha do motor e a possível perda de uma aeronave cara. A maior parte dos danos nas palhetas provém de material estranho, que é puxado pelas tomadas de ar da turbina.

A atmosfera próxima ao solo é cheia de pequenas partículas de sujeira, óleo, fuligem e outros materiais estranhos. Um grande volume de ar é introduzido no compressor, e a força centrífuga joga as partículas de sujeira para fora, de tal modo que elas se acumulam formando uma camada na carcaça, aletas e palhetas do compressor.

O acúmulo de sujeira nas palhetas do compressor reduz sua eficiência aerodinâmica, com a consequente deterioração no desempenho do motor. A aceleração insatisfatória e a alta temperatura dos gases de saída podem resultar em depósitos de material estranho nos componentes do compressor.

Um resultado extremo das partículas estranhas, se permitidas a acumularem em quantidade suficiente, seria a falha completa do motor. A condição pode ser remediada pela inspeção periódica, limpeza e reparo dos componentes do compressor. Este assunto é tratado de forma genérica neste texto devido aos muitos modelos diferentes de motores turbojatos, em uso atualmente na aviação.

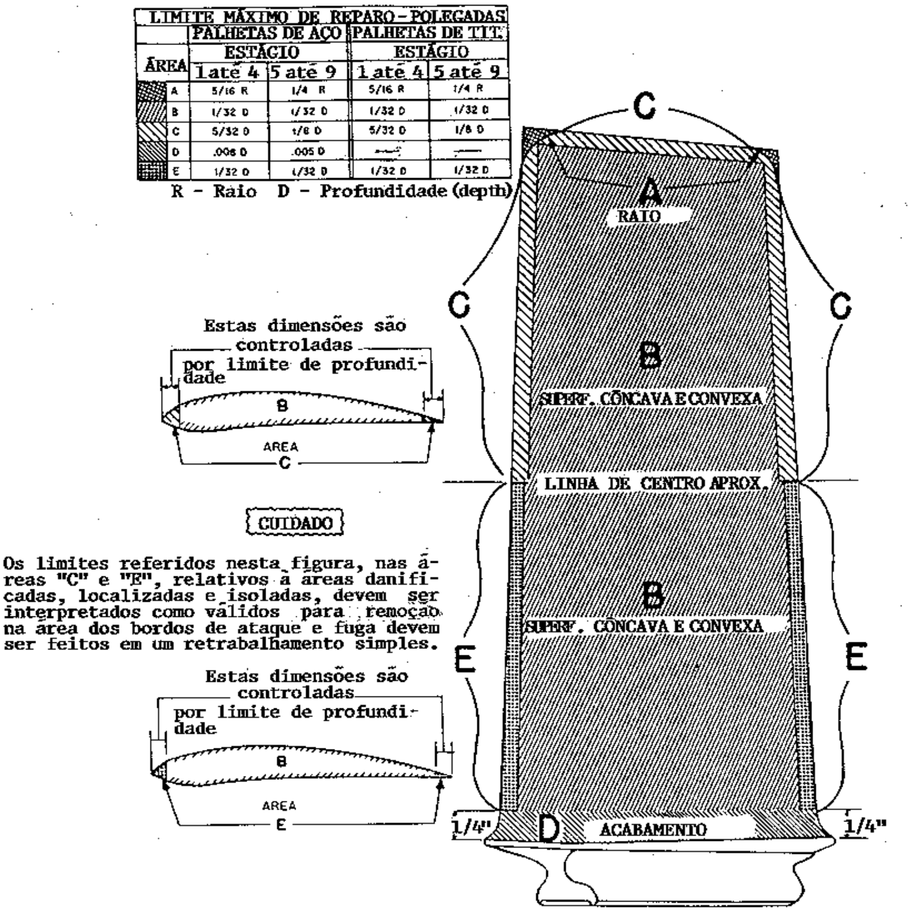
Inspeção e limpeza

Dano menor nas palhetas de compressor de motor de fluxo axial pode ser reparado se o dano puder ser removido sem exceder os limites permitidos, estabelecidos pelo fabricante. Limites típicos de reparo de palhetas de compressor são mostrados na figura 10-54.

Dano tipo mossa arredondada, nos bordos de ataque e de fuga, que é evidente no lado oposto da palheta, é usualmente aceitável sem retrabalhamento, desde que esteja somente na metade externa da palheta, e que a denteação não exceda os valores especificados nos manuais de serviço e revisão do fabricante do motor.

Quando trabalhando na metade interna da palheta, o dano deve ser tratado com extremo cuidado.

cuidado.



LIMITE MÁXIMO DE REPARO - POLEGADAS					
		PALHETAS DE AÇO		PALHETAS DE TIT.	
ÁREA		ESTÁGIO		ESTÁGIO	
		1 até 4	5 até 9	1 até 4	5 até 9
▦	A	5/16 R	1/4 R	5/16 R	1/4 R
▨	B	1/32 D	1/32 D	1/32 D	1/32 D
▧	C	5/32 D	1/8 D	5/32 D	1/8 D
▧	D	.006 D	.005 D	—	—
▦	E	1/32 D	1/32 D	1/32 D	1/32 D

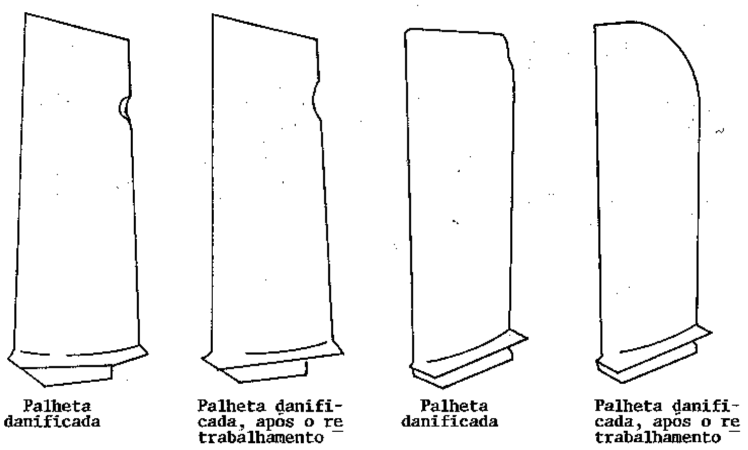
R - Raio D - Profundidade (depth)

CUIDADO

Os limites referidos nesta figura, nas áreas "C" e "E", relativos à áreas danificadas, localizadas e isoladas, devem ser interpretados como válidos para remoção na área dos bordos de ataque e fuga devem ser feitos em um retrabalhamento simples.

Estas dimensões são controladas por limite de profundidade
B
AREA C
Estas dimensões são controladas por limite de profundidade
B
AREA E
C
C
C
A
RAIO
B
SUPERF. CÔNCAVA E CONVEXA
LINHA DE CENTRO APROX.
B
SUPERF. CÔNCAVA E CONVEXA
E
E
1/4"
D
ACABAMENTO
1/4"

Figura 10-54 Limites típicos de reparo de palhetas de compressor.



Palheta danificada

Palheta danificada, após o retrabalhamento

Palheta danificada

Palheta danificada, após o retrabalhamento

Figura 10-55 Reparo em palhetas do compressor.

Palhetas de compressor reparadas são inspecionadas, seja por métodos de partículas magnéticas, por líquido penetrante fluorescente, ou sendo inspecionadas por líquido penetrante colorido (*dye checked*), assegurando que todos os traços de dano tenham sido removidos. Todos os reparos devem ser bem acabados, de modo que as superfícies fiquem polidas (figura 10-55). Não são toleradas rachaduras de qualquer dimensão, em qualquer área.

Sempre que possível, a retífica e o retrabalhamento local da palheta são realizados paralelamente ao seu comprimento.

O retrabalho deve ser realizado à mão, usando pedras, limas, ou lixa. Não se usa ferramenta motorizada para_polir toda a área da palheta.

O acabamento da superfície na área reparada deve ser comparável à de uma palheta nova.

Em motores de fluxo centrífugo, é dificil inspecionar os indutores do compressor sem primeiro remover a tela de entrada de ar.

Após a remoção da tela, limpa-se o indutor do compressor, inspecionando com uma luz forte.

Cada aleta é inspecionada quanto a rachaduras, girando lentamente o compressor. As rachaduras são procuradas nos bordos de ataque.

Uma rachadura é usualmente motivo para substituição do motor.

Os indutores do compressor são normalmente as partes que são danificadas pela ingestão de material estranho durante a operação do motor.

Os indutores de compressor são reparados, removendo-se com retífica e posterior acabamento, as mossas e amassões na “faixa crítica” (1 ½ a 2 ½ polegadas da borda externa), se a profundidade de tais mossas ou amassões não excederem as especificações nos manuais de instrução de serviço e revisão do fabricante do motor.

Para amassões requerendo reparo, remove-se o material por retífica além da profundidade do dano, removendo o encruamento do metal.

Um raio generoso deve ser aplicado nas bordas do acabamento.Após o acabamento da mossa, ela deve ser polida com uma lixa. Salpicos, mossas, ou corrosão encontrada nas laterais das aletas do indutor são similarmente removidas por acabamento (*blending*).

Causas de danos de palhetas

Objetos soltos entram em um motor acidentalmente ou por descuido. Itens como lápis, lenços e isqueiros são seguidamente puxados para dentro do motor.

Não se deve portar objetos nos bolsos das camisas quando se está trabalhando nas proximidades de motores a reação.

Um rotor de compressor pode ser danificado por ferramentas que são deixadas na entrada de ar, de onde são sugadas para dentro do motor nas partidas subseqüentes.

Uma solução simples do problema das ferramentas que são sugadas para dentro de um motor, é verificá-las contra uma lista das ferramentas que estão sendo utilizadas. Antes da partida ser dada em um motor a reação, uma inspeção minuciosa dos dutos de entrada do motor é feita para assegurar que itens como porcas, parafusos, arame de freno, ou ferramentas não tenham sido deixadas após a execução do trabalho.

A figura 10-56 mostra alguns exemplos de danos em palhetas de um motor de fluxo axial. As descrições e as causas possíveis de dano em palheta são dadas na tabela 11.

Pontos de corrosão não são considerados danos sérios nas aletas do compressor de motores de fluxo axial se estiverem dentro da tolerância permitida.

Não se tenta reparar qualquer aleta por processos de solda (*straightening, brazing, soldering*).

Lixas, limas finas e pedras de rebolo são usadas para fazer o acabamento do dano, removendo um mínimo de material, deixando um acabamento comparável ao de uma peça nova. O propósito deste acabamento é minimizar as tensões que se concentram nas mossas, arranhões ou rachaduras.

A inspeção e reparo das aletas fixas da entrada de ar, aletas de redemoinho e telas nos motores de fluxo centrífugo necessitam do uso de uma luz forte.

Inspecionam-se os conjuntos de tela quanto a quebras, rasgos ou buracos. As telas podem ser banhadas em estanho para reforçar a malha, desde que os fios não estejam finos demais pelo desgaste.

Pode ser necessário um processo de solda se a tira do quadro ou os fixadores, separaram-se do quadro da tela.

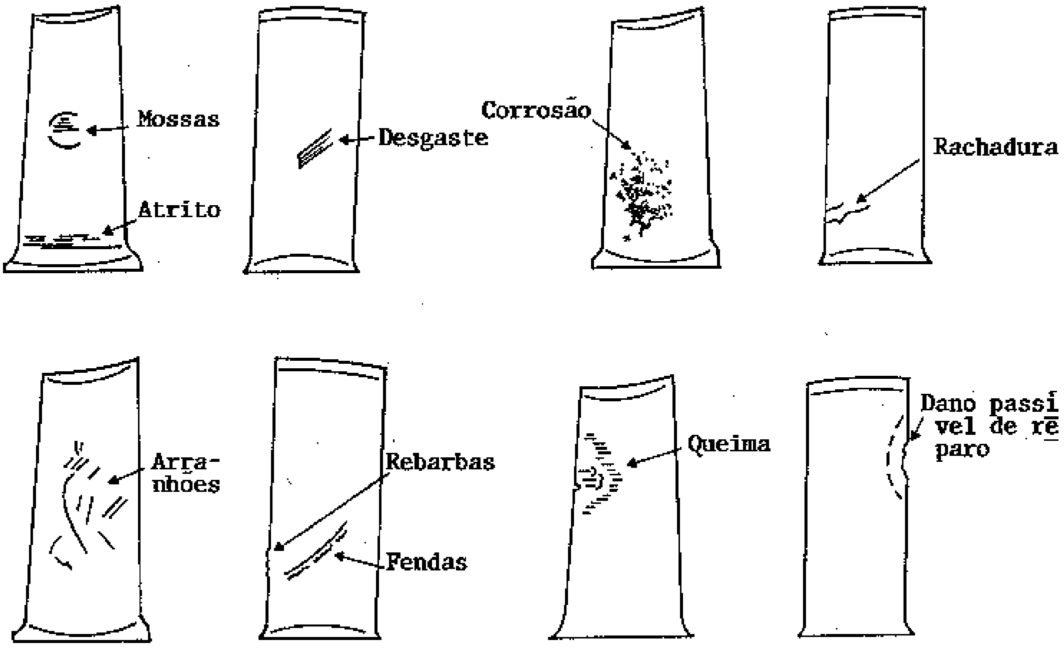


Figura 10-56 Danos em palhetas de compressor

Inspecionam-se as aletas fixas e as de redemoinho quanto a folgas. Assim como as bordas externas das aletas fixas, prestando atenção ao ponto de contato entre as aletas fixas e as de redemoinho quanto a rachaduras e amassões devido ao impacto de partículas estranhas.

Inspecionam-se, também, as bordas das aletas de redemoinho e a borda mais afastada das aletas fixas com acuidade, uma vez que as rachaduras são geralmente mais comuns nesta área. Rachaduras que se ramificam de tal modo que uma peça de metal possa quebrar e separar, e em consequência cair dentro do compressor, são causas de rejeição da aleta.

Acabamento e substituição

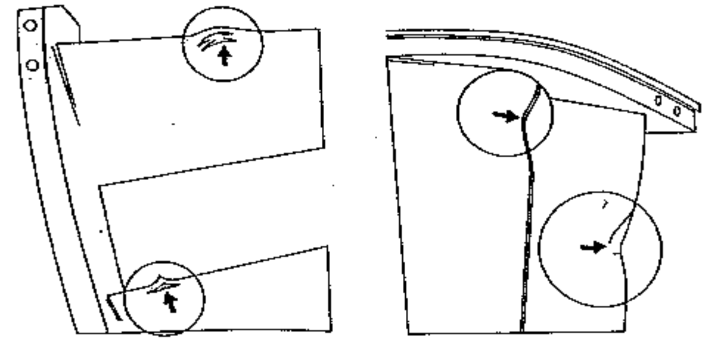
Devido à construção das aletas ocas de folha fina, é limitado o acabamento das superfícies côncava e convexa, incluindo o bordo de ataque.

massões pequenos e de pouca profundidade são aceitáveis se o dano for do tipo ovalado ou de contorno gradual, e não do tipo pontiagudo ou do tipo em "V", e também se não há rachadura ou rasgo do material da aleta evidente na área danificada.

O dano do bordo de fuga (figura 10-57) pode ser acabado, se um terço do fio de solda permanecer após o reparo.

As superfícies côncavas de aletas com enchimento de borracha podem ter rachaduras permissíveis, estendendo-se para dentro a partir do aerofólio externo, desde que não haja evidência de partes que possam se separar.

Com o uso de uma lanterna e um espelho, inspeciona-se o bordo de fuga e o corpo de cada aleta fixa, quanto a rachaduras ou danos causados por objetos estranhos.



Antes do retrabalhammeto Após retrabalhamento

Figura 10-57 Danos em bordo de fuga de aleta guia

Tabela 11 - Termos de manutenção de palhetas

Termo	Aparência	Causas usuais
Acabamento (Blend)	Reparo polido de borda ou superfície desigual no contorno da área em volta.	
Empeno (Bow)	Palheta empenada.	Objetos estranhos.
Queima (Burning)	Dano às superfícies evidenciadas pela descoloração ou, em casos severos, por perda de material.	Calor excessivo.
Rebarbas (Burr)	Borda áspera.	Operação de corte ou afiação.
Rachaduras (Crack)	Uma fratura parcial (separação).	Tensão excessiva devido ao choque, a sobrecarga ou por processos falhos; materiais defeituosos; e sobreaquecimento.
Mossa (Dent)	Buraco pequeno e suavemente arredondado.	Impacto de uma peça por objeto não pontiagudo.
Atritamento (Gall)	Transferência de metal de uma superfície para outra.	Fricção severa.
Fendas (Gouging)	Deslocamento de material de uma superfície; um efeito de um corpo estranho.	Presença de objeto de corte ou rasgo, comparativamente grande entre as partes móveis.
Dilatação (Growth)	Alongamento da palheta.	Calor e força centrífuga continuada e/ou excessiva.
Corrosão (Pits)	Colapso da superfície, aparência de pontos.	Agentes corrosivos, umidade, etc.
Perfil (Profile)	Contorno de uma palheta ou superfície.	
Desgaste (Score)	Arranhões profundos	Presença de cavacos entre superfícies.
Arranhão (Scratch)	Marcas finas e resas	Partículas estranhas finas ou areia; manuseio descuidado.

SEÇÃO DE COMBUSTÃO

Um dos fatores de controle da vida útil do motor do motor a turbina é a inspeção e limpeza da seção quente.

A importância da inspeção e reparo cuidadoso desta seção não pode ser mais enfatizada. Uma das mais frequentes discrepâncias que serão detectadas na inspeção da seção quente de um motor a reação são rachaduras.

Essas rachaduras ocorrem de muitas formas, e a única forma de determinar se elas estão dentro de limites aceitáveis, é recorrer aos manuais de revisão e serviço aplicáveis do fabricante do motor.

A limpeza da seção quente não é usualmente necessária para um reparo de pista. Entretanto, se for necessária a desmontagem do motor, uma limpeza cuidadosa e correta é da maior importância para uma inspeção e reparo com sucesso.

As peças do motor podem ser desengraxadas pelo uso de agentes de limpeza tipo emulsão ou solventes clorados.

Os agentes de limpeza são seguros para todos os metais, uma vez que eles são neutros e não corrosivos.

A limpeza das partes, pelo método do solvente clorado, deixa as partes absolutamente secas; se elas não forem sujeitas a operações subsequentes de limpeza, devem ser borrifadas com uma solução preventiva de corrosão.

A extensão da desmontagem é abrir a carcaça envolvente das câmaras de combustão para a inspeção da seção quente.

Entretanto, na execução desta desmontagem, numerosas peças estarão acessíveis para inspeção.

É importante apoiar adequadamente o motor e as partes que estão sendo removidas para que não sofram deformações.

O alinhamento das partes sendo removidas e instaladas é também da maior importância.

Depois da execução dos reparos, as instruções detalhadas de montagem do fabricante devem ser seguidas. Essas instruções são importantes na manutenção eficiente do motor, e a vida e o desempenho definitivo do motor podem ser seriamente afetados se elas forem desprezadas por descuido ou negligência.

Cuidado extremo deve ser tomado para evitar que sujeira, pó, arames de freno, porcas, arruelas, pinos ou outros objetos estranhos entrem no motor.

Se, em qualquer tempo, tais partes caírem, a montagem do motor deve cessar até que esta peça seja localizada, mesmo que isto requeira uma desmontagem considerável.

Materiais para identificação de partes da seção de combustão

Certos materiais podem ser usados para a marcação temporária das peças durante a montagem e desmontagem. Um lápis especial deve ser usado para identificar as peças que estão diretamente expostas no caminho dos gases do motor, tais como palhetas da turbina e discos, aletas da turbina e as câmaras de combustão.

Um lápis de cera pode ser usado para peças que não estão diretamente expostas no circuito dos gases. Não se usa lápis de cera numa superfície de câmara de combustão ou no rotor da turbina.

O uso de ligas de carbono ou lápis metálico não é recomendado, devido à possibilidade de causar ataque intragranular, o que pode resultar na redução da resistência do material.

Inspeção da seção de combustão

O que se segue são procedimentos gerais para realizar uma inspeção da seção quente (turbina e seção de combustão) e não devem ser interpretados como normas que devam ser seguidas, quando executando reparos ou inspeções em motores a reação.

Entretanto, as diversas práticas são típicas daquelas usadas em muitos motores a reação.

Onde uma folga ou tolerância é mostrada, ela o é por motivos de ilustração somente.

As instruções contidas nos manuais de manutenção e revisão do fabricante devem ser seguidas sempre.

Toda a carcaça externa da câmara de combustão deve ser inspecionada quanto à existência ou evidência de pontos quentes (*hotspots*), vazamentos dos gases de exaustão e distorções, antes que a carcaça seja aberta.

Depois que a carcaça tiver sido aberta, as câmaras de combustão podem ser inspecionadas quanto ao superaquecimento localizado, rachaduras, ou desgaste excessivo.

Inspeciona-se as palhetas do primeiro estágio da turbina e aletas fixas quanto a rachaduras, empenos, ou danos por objetos estranhos.

Inspeção e reparo das câmaras de combustão e coberturas

As câmaras de combustão e coberturas são inspecionadas quanto a rachaduras, usando o método de inspeção por líquido penetrante colorido ou pelo método do líquido penetrante fluorescente.

Qualquer rachadura, mossa ou amassão na cobertura é, usualmente, causa de rejeição da peça.

Inspecionam-se as tampas, notando particularmente a área em torno das cavidades de dreno de combustível quanto à corrosão, ou pontos de corrosão.

Inspeciona-se o interior das câmaras de combustão quanto a excesso de material de solda, expelido das costuras circunferenciais. Para se evitar danos futuros às palhetas da turbina, remove-se o material de solda, ou a escória que não esteja suficientemente fundida à base da câmara de combustão.

Quando reparando a camisa da câmara de combustão, os procedimentos dados no manual de revisão apropriado do fabricante do motor devem ser seguidos.

Se houver alguma dúvida quanto a camisa ser adequada ou não para uso, ela deve ser removida.

Padrões de aceitação para as camisas da câmara de combustão

A camisa da câmara de combustão é inspecionada para determinar a condição de uso das soldas, que se deterioraram com a operação do motor .

As limitações, de tal deterioração, são baseadas no requisito de que as câmaras de combustão devem prover uso satisfatório durante o período de operação entre as inspeções sucessivas das partes.

Certos tipos de rachaduras, por deterioração ou por queima resultantes das tensões térmicas, podem ser encontradas após períodos de operação. Entretanto, o avanço de tais discrepâncias com a operação subsequente é usualmente desprezível, uma vez que a deterioração produzida pelas tensões térmicas, de fato, alivia a condição de tensão original.

Usualmente, um determinado tipo de deterioração irá ocorrer de câmara em câmara em um dado motor.

Os manuais atualizados de serviço e de revisão do fabricante devem ser consultados quanto aos limites aceitáveis das rachaduras e danos.

Os parágrafos seguintes descrevem algumas discrepâncias típicas encontradas em câmaras de combustão.

A figura 10-58 mostra uma camisa de câmara de combustão com os componentes listados, para auxiliar na localização das discrepâncias.

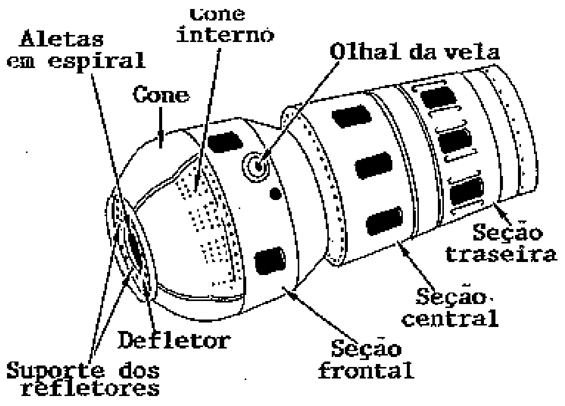


Figura 10-58 Nomenclatura da câmara de combustão.

Quando considerando a aceitação de uma camisa sob suspeita, o objetivo deve ser em evitar o rompimento de uma área não suportada de metal, tal como aquela que está situada na bifurcação de uma rachadura ou entre duas rachaduras irradiando do mesmo furo. Rachaduras únicas são aceitáveis na maioria dos casos, desde que elas não resultem em perda de rigidez mecânica que pode levar a uma falha subsequente.

Rachaduras na câmara de combustão

As câmaras de combustão devem ser substituídas, ou reparadas, se duas rachaduras estão progredindo a partir de uma borda livre de tal modo que seu encontro é iminente, e pode levar uma peça de metal (que possa causar falha na turbina) a se soltar.

Rachaduras separadas no defletor são aceitáveis.

Rachaduras no defletor ligando mais do que dois furos devem ser reparadas.

Rachaduras no cone são raras, mas se surgirem em qualquer parte deste componente, são causas de rejeição da camisa.

Rachaduras nas aletas em espiral são motivos de rejeição da camisa. As aletas em espiral soltas podem ser reparadas por solda de prata.

Rachaduras na camisa dianteira emanadas dos furos de ar são aceitáveis, desde que não excedam os limites aceitáveis. Se tais rachaduras bifurcam ou se juntam com outras, a camisa deve ser reparada.

Se duas rachaduras originando do mesmo furo de ar são diametralmente opostas, a camisa é aceitável.

Rachaduras radiais que se estendem do interconector e do reforço da vela de ignição, são aceitáveis se não excederem os limites, e se não bifurcarem ou se juntarem com outras. Rachaduras circunferenciais em torno dos ressaltos devem ser reparadas antes da reinstalação da camisa..

Após longo período de uso do motor, as superfícies externas da camisa da câmara de combustão seguidamente apresentam sinais de desgaste.

Isto é aceitável, desde que rachaduras resultantes ou perfurações do metal não estejam aparentes.

Qualquer cobertura ou câmara que caia sobre uma superfície dura ou manuseada inadequadamente, deve ser cuidadosamente inspecionada quanto a rachaduras diminutas, as quais podem alongar num período de tempo, e então abrir, criando uma situação de perigo.

Áreas queimadas ou empenadas

Partes podem ser encontradas em áreas localizadas que tenham sido aquecidas a um ponto de empenar pequenas porções da câmara.

Tais partes são consideradas aceitáveis se a queimadura da parte não tiver progredido a uma área soldada adjacente, ou a uma extensão, de modo a enfraquecer a estrutura de solda da camisa. Empenos da camisa da câmara de combustão podem ser corrigidos pelo desempeno da camisa.

O empenamento moderado e as rachaduras associadas são aceitáveis na fileira dos furos de resfriamento. Empenos mais severos que produzam um encurtamento acentuado, ou dobra da camisa é motivo de rejeição. Após o término dos reparos por solda, a camisa deve ser restaurada tão próximo quanto possível ao seu formato original. Isto pode ser realizado usando blocos de moldagem e martelos existentes na maioria das oficinas que trabalham com metais e soldas.

Bico injetor de combustível e conjuntos de suporte

Limpa-se todos os depósitos de carbono dos bicos injetores, lavando-os com um fluido de limpeza aprovado pelo fabricante do motor, e removendo os depósitos amolecidos com um pincel de cerdas macias ou um pequeno pedaço de madeira. É desejável haver ar filtrado passando através do bico injetor durante a operação de limpeza, para expulsar os depósitos quando se soltarem.

Devido às características de atomização (spray) do bico injetor poderem ser prejudicadas, não se deve tentar limpar com um implemento rígido, ou com um pincel de fios metálicos. Cada parte componente do bico injetor deve ser inspecionada, quanto a batidas e rebarbas.

INSPEÇÃO E REPARO DO DISCO DA TURBINA

Inspeção do disco da turbina

A inspeção feita quanto a rachaduras é da maior importância. A deteção de rachadura, quando se tratando de disco de turbina e palhetas, é praticamente visual. O material do qual o disco e as palhetas são feitos não leva à detecção de rachadura pelo uso de fluidos; portanto, elas devem ser examinadas minuciosamente com uma lente de aumento de no mínimo 9 a 12 vezes. Qualquer área questionável requer inspeção mais acurada. Rachaduras no disco, mesmo que pequenas, requerem a rejeição do disco e substituição do rotor da turbina. Pequenos pontos (*pitting*), causados pela invasão de material estranho, podem ser acabados por pedra de rebolo e polimento.

Inspeção da palheta da turbina

As palhetas da turbina são usualmente inspecionadas e limpas, do mesmo modo que as palhetas do compressor. Entretanto, devido ao extremo calor sob o qual operam as palhetas da turbina, elas são mais suscetíveis.

Usando uma luz forte e uma lente de aumento, inspeciona-se as palhetas da turbina quanto a rachaduras por tensão de ruptura (figura 10-59) e deformação da borda dianteira (figura 10-60).

‘

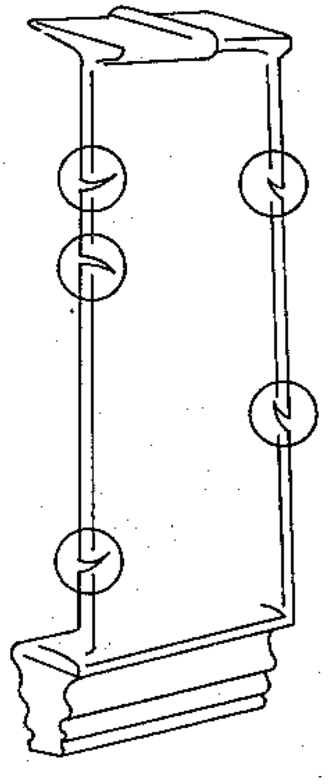


Figura 10-59 Rachaduras de ruptura por estresse.

Rachaduras por tensão de ruptura, usualmente aparecem como diminutas rachaduras, tipo fio de cabelo sobre ou através da borda dianteira ou traseira em ângulo reto, em relação ao comprimento da borda.

Rachaduras visíveis podem variar em comprimento a partir de 1/16 de polegada. A deformação causada por sobre-temperatura pode aparecer como ondulação e/ou áreas de espessura variável do aerofólio ao longo da borda dianteira.

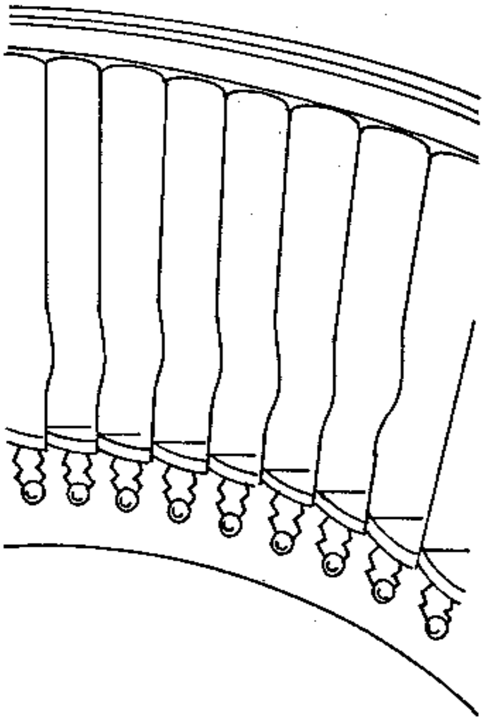


Figura 10-60 Ondulação em palhetas de turbina.

A borda dianteira deve estar reta e de espessura uniforme, – exceto nas áreas reparadas por acabamento.

Não se deve confundir rachaduras por tensão de ruptura, ou deformação da borda dianteira, por dano de impacto por material estranho ou com reparos por acabamento na palheta. Quando qualquer rachadura por tensão de ruptura, ou deformação das bordas dianteiras das palhetas do primeiro estágio for encontrada, uma condição de sobre-temperatura deve ser suspeitada.

Verificam-se as palhetas individuais quanto a estiramento, e o disco da turbina quanto a dureza e estiramento.

As palhetas removidas para uma inspeção detalhada ou para uma checagem de estiramento do disco da turbina devem ser reinstaladas nas mesmas ranhuras das quais foram removidas. As palhetas, antes de removidas, devem ser enumeradas.O envoltório externo da palheta da turbina deve ser inspecionado quanto a desgaste do selo de ar.

Se o desgaste for encontrado, a espessura do envoltório na área desgastada, deve ser medida.

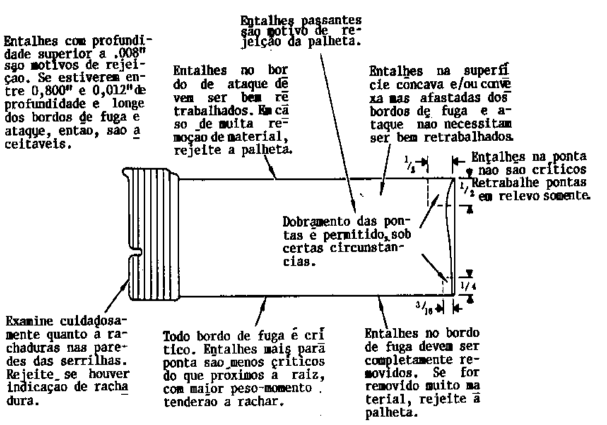

Entalhes com profundidade superior a .008" são motivos de rejeição. Se estiverem entre 0,800" e 0,012" de profundidade e longe dos bordos de fuga e ataque, então, são aceitáveis.
Entalhes passantes são motivo de rejeição da palheta.
Entalhes no bordo de ataque devem ser bem retrabalhados. Em caso de muita remoção de material, rejeite a palheta.
Entalhes na superfície côncava e/ou convexa mas afastadas dos bordos de fuga e ataque não necessitam ser bem retrabalhados.
1/2
Entalhes na ponta não são críticos
1/2
Retrabalhe pontas em relevo somente.
Dobramento das pontas é permitido, sob certas circunstancias.
1/4
3/16
Examine cuidadosamente quanto a rachaduras nas paredes das serrilhas. Rejeite-se houver indicação de rachadura.
Todo bordo de fuga é crítico. Entalhes mais para ponta são menos críticos do que próximos a raiz, com maior peso-momento tenderão a rachar.
Entalhes no bordo de fuga devem ser completamente removidos. Se for removido muito material, rejeite a palheta.

Figura 10-61 Inspeção típica de palheta

Usa-se um micrômetro, ou outro dispositivo adequado, de modo que assegure uma boa leitura no fundo do sulco de desgaste comparativamente estreito. Se a espessura radial remanescente do envoltório é menor do que o especificado, a palheta estirada deve ser substituída.

Os requisitos típicos de inspeção estão indicados na figura 10-61.

Frisos da ponta da palheta, dentro de uma área de ½ polegada quadrada na borda dianteira da ponta da palheta, é usualmente aceitável se o friso não for agudo. Friso é aceitável na borda traseira se ele não se estender além da área permissível.

Qualquer dobra aguda que possa resultar em rachadura ou uma parte se separar da palheta da turbina é causa de rejeição, mesmo que o friso possa estar dentro de limites aceitáveis.

Cada palheta da turbina deve ser inspecionada quanto a rachaduras.

Procedimento de substituição da palheta da turbina

As palhetas da turbina são geralmente substituíveis, sujeitas às limitações de momento-peso. Essas limitações estão contidas nas instruções técnicas aplicáveis do fabricante do motor. Se uma inspeção visual do conjunto da turbina revelar diversas palhetas quebradas, rachadas ou com erosão, a substituição do conjunto inteiro pode ser mais econômico do que substituir apenas as palhetas danificadas.

Um conjunto disco e palhetas é mostrado na figura 10-62. Na montagem inicial da turbina, um conjunto completo de 54 palhetas fabricadas em par codificado (duas palhetas tendo a mesma letra de código), são colocadas sobre uma bancada em ordem decrescente de peso-momento.

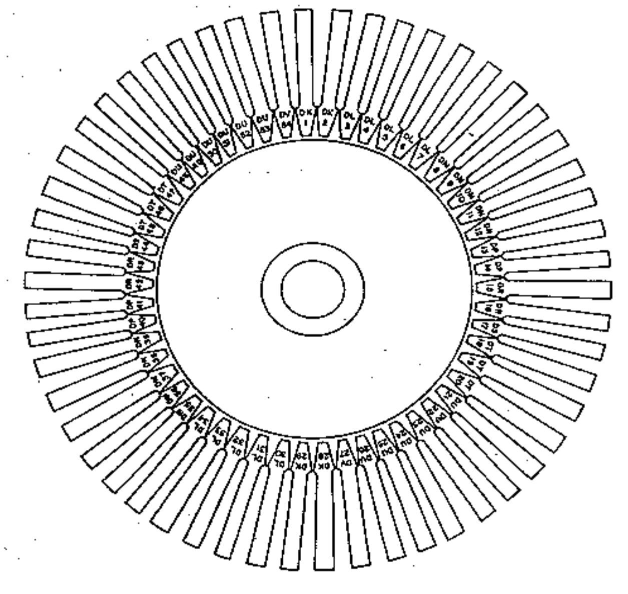


Figura 10-62 Distribuição típica de peso/ momento das palhetas do disco da turbina

As letras de código que indicam o balanço peso-momento em onças estão gravadas na face posterior da base da palheta (vendo a palheta como instalada na montagem final do motor).O par de palhetas que tem o momento-peso mais pesado é numerado 1 e 28; o par seguinte mais pesado é numerado 2-29; o terceiro par mais pesado é numerado 3-30.

Esta sequência continua até que todas as palhetas tenham sido numeradas.

O número 1 é marcado na face do cubo no disco da turbina. A palheta nº 1 é, então, instalada adjacente ao número 1 no disco (figura 10-63). As palhetas remanescentes são instaladas consecutivamente na direção dos ponteiros do relógio, vistas a partir da face traseira do disco da turbina.

Se existirem diversos pares de palhetas tendo as mesmas letras de código, elas são instaladas consecutivamente antes de se instalar o próximo código de letras.

Se uma palheta requer substituição, a palheta diametralmente oposta também deve ser substituída. As palhetas utilizadas em substituição devem ter o mesmo código, porém não necessitam ter o mesmo código das palhetas removidas.

O número máximo de palhetas que podem ser substituídas na oficina varia conforme o modelo e a fabricação do motor, e é estabelecido pelo fabricante.

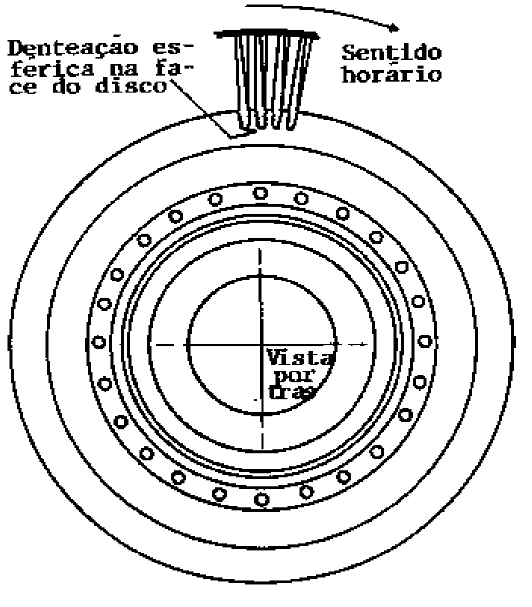


Figura 10-63 Palhetas de turbina.

Para substituir uma palheta, ou qualquer número de palhetas, de um conjunto de disco de turbina e palhetas, os procedimentos nos parágrafos seguintes são dados como exemplo.

Dobra-se para cima cada lingüeta de freno; então remove-se a palheta, batendo nela para que fique na frente do disco da turbina, usando uma punção de latão e um martelo.

Retira-se e descartam-se os frenos da palheta da turbina.

Uma palheta nova com a lingüeta em direção à frente do disco é inserida; então, enquanto segura-se a lingüeta contra o disco, a folga entre o ombro da palheta e o disco da turbina, é verificada.

Pode ser necessário remover material do ombro da palheta para trazer a folga dentro dos limites (figura 10-64).

A Tabela de Limites no manual de revisão do fabricante do motor para as folgas relativas às palhetas da turbina devem ser verificadas.

Enquanto segurando a palheta na direção de rotação (sentido contrário aos dos ponteiros do relógio), verifica-se a folga entre as pontas do ombro da palheta e aquelas das palhetas adjacentes (figura 10-64).

Se a folga é insuficiente, remove-se a palheta, lixando o material das pontas para fazer com que a folga fique nos limites.

Usando um relógio comparador, verifica-se o movimento radial da ponta da palheta enquanto segura a lingüeta da palheta contra o disco.

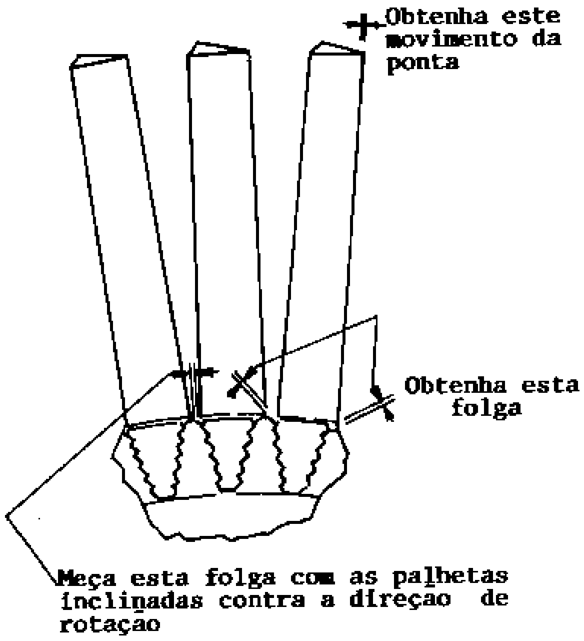

Obtenha este movimento da ponta
Obtenha esta folga
Meça esta folga com as palhetas inclinadas contra a direção de rotação

Figura 10-64 Folgas das palhetas da turbina na substituição.

Um freno novo na palheta da turbina é colocado; instalando a palheta na sua posição correta no disco da turbina.

Posiciona-se a turbina para que a palheta fique sobre uma mesa, bigorna, ou outro suporte adequado. Usando um punção dobre a lingüeta do freno para dentro.

Termina-se a dobra do freno, usando um martelo de pena para obter o máximo acabamento axial permissível.

Ao examinar o freno, quanto à evidência de rachadura, uma lente com 3 a 5 aumentos deve ser usada.

Se o freno estiver rachado, remove-se a palheta, instalando um novo freno até que uma instalação satisfatória seja conseguida.

Inspeção da aleta injetora da turbina

Após abrir a carcaça envolvente, e remover as câmaras de combustão, as palhetas do primeiro estágio da turbina e as aletas injetoras da turbina estão acessíveis para inspeção.

Os limites para as palhetas, especificados nos manuais de revisão e instruções de serviço do fabricante do motor, devem ser seguidos.

A figura 10-65 mostra onde as rachaduras ocorrem no conjunto da turbina. Pequenas mossas e entalhes são permitidos se a profundidade do dano estiver dentro dos limites.

Inspeciona-se as aletas injetoras da turbina quanto a estarem empenadas, medindo a quantidade de curvatura da borda traseira de cada uma.

Aletas injetoras empenadas podem ser indicação de mau funcionamento do injetor de combustível e as que apresentam empenamento superior ao limite permitido, são rejeitadas.

O empeno é sempre maior na borda traseira; assim, se esta borda estiver dentro dos limites, a borda dianteira também estará aceitável Inspeciona-se as aletas injetoras quanto a mossas ou entalhes. Pequenos defeitos não são causas para rejeição de aletas, desde que estes sejam acabados devidamente.

Os suportes das aletas injetoras são inspecionados quanto a defeitos causados pelo impacto de partículas estranhas. Um rebolo é usado para dar acabamento em um raio suave em qualquer mossa sob suspeita.

Da mesma forma que as palhetas da turbina, é possível substituir um número máximo de aletas injetoras da turbina em alguns motores. Se mais do que este número máximo de aletas injetoras estiver danificado, um novo conjunto deve ser instalado.

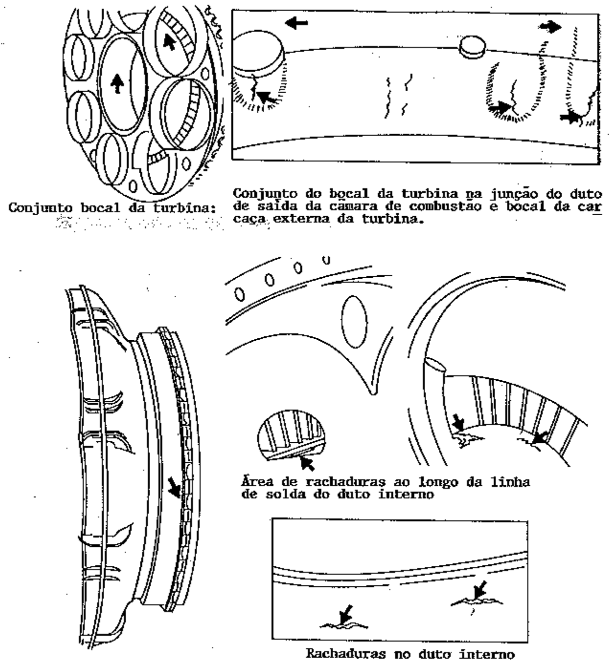

Conjunto bocal da turbina:
Conjunto do bocal da turbina na junção do duto de saída da câmara de combustão e bocal da carcaça externa da turbina.
Área de rachaduras ao longo da linha de solda do duto interno
Rachaduras no duto interno

Figura 10-65 Defeitos típicos do conjunto bocal da turbina

Com o tubo de descarga removido, o estágio traseiro da turbina pode ser inspecionado quanto a rachaduras ou a evidência de estiramento da palheta.

As injetoras do estágio traseiro também podem ser inspecionadas com uma luz forte.

Folgas

A verificação das folgas é um dos procedimentos na manutenção da seção da turbina de um motor a reação. O manual de serviço e revisão do fabricante dá os procedimentos e tolerâncias para a verificação da turbina.

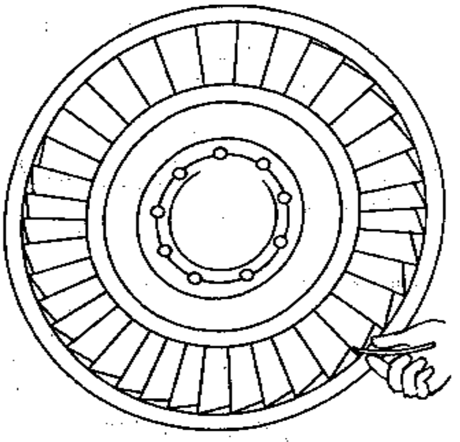


Figura 10-66 Medição da folga entre as palhetas da turbina e o anel de reforço.

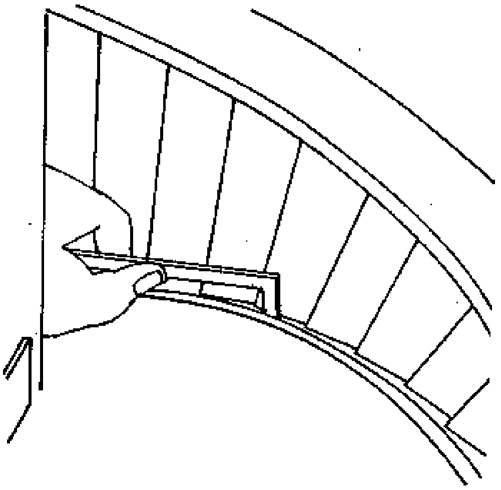


Figura 10-67 Medição da folga entre a roda da turbina e o cone de escapamento.

Figuras 10-66 e 10-67 mostram as folgas sendo medidas em várias localizações.Para obter leituras adequadas, ferramentas especiais providas por cada fabricante devem ser empregadas conforme descrito nas instruções de serviço para os motores específicos.

Seção de escapamento

A seção de escapamento de um motor turbojato é suscetível a rachaduras por calor. Essa seção deve ser cuidadosamente inspecionada junto com a inspeção da seção de combustão e da seção da turbina do motor. Inspeciona-se o cone de saída e o tubo de descarga quanto a rachaduras, enpenos, dobras ou pontos quentes. Pontos quentes no cone de cauda são uma indicação de mau funcionamento de um injetor ou câmara de combustão.

Os procedimentos de inspeção e reparo para a seção quente de qualquer motor a turbina são similares. Uma diferença usual é a nomenclatura aplicada pelos vários fabricantes às várias partes da seção quente. Outras diferenças incluem o modo de desmontagem, as ferramentas necessárias, e os métodos de reparo.

CLASSIFICAÇÕES COMERCIAIS

Um entendimento das classificações dos motores a reação é necessário para o uso inteligente das curvas de operação do motor, contidas nos manuais de manutenção do avião e do motor. As classificações para os motores comerciais são definidas pela SAE *(Society of Automotive Engineers).*

Decolagem molhada (*wet*). Esta é a máxima potência permitida para decolagem. Esta potência é conseguida pela atuação do sistema de injeção de água, e ajustando a potência (molhada) computada com a manete; em termos de uma pressão de descarga ou razão de pressão de motor, predeterminada para as condições mbientes predominantes. Esta potência é restrita à decolagem, e limitada no tempo. Motores que não têm injeção de água, não têm este ajuste.

Decolagem seca *(dry*). Esta é a máxima potência permitida sem a utilização de injeção de água. O limite de potência é obtido pelo ajuste da manete na potência de decolagem (seca) para as condições atuais, em termos de uma pressão de descarga de turbina ou razão de pressão de motor pré-determinadas. A máxima potência é limitada no tempo, e é para ser empregada somente na decolagem.

Máximo contínuo. Este limite é a máxima potência que pode ser usada continuamente e é para ser utilizada somente em emergência a critério do piloto. Este limite é obtido pelo ajuste da manete a uma pressão de descarga, ou razão de pressão de motor predeterminada.

Razão normal (*rated*). A razão normal é a máxima potência aprovada para uma subida normal. A taxa é obtida da mesma forma como o máximo contínuo.Potência máxima contínua e potência de razão normal são a mesma coisa em certos motores.

Máximo cruzeiro. Esta é a máxima potência aprovada para cruzeiro. É obtida da mesma forma como o máximo contínuo.

Marcha lenta (*idle*). Esta não é uma razão ou taxa de motor, mas sim uma posição adequada de manete para a mínima potência operacional no solo, ou em vôo. É obtida pela colocação da manete no batente de marcha lenta no quadrante das manetes.

INSTRUMENTAÇÃO DE MOTORES

Embora instalações de motor possam diferir, dependendo do tipo tanto da aeronave quanto do motor, a operação do motor a turbina é usualmente controlada pela observação dos instrumentos discutidos nos parágrafos seguintes.

A potência do motor é indicada tanto por um indicador de pressão da turbina, ou um indicador de razão de pressão do motor, dependendo da instalação.

Ambos os tipos de instrumentos de pressão são discutidos aqui porque qualquer indicador pode ser usado. Dos dois, o indicador de pressão de descarga de turbina é o mais preciso, primariamente devido à sua simplicidade de construção; ele pode ser instalado no avião permanentemente ou, temporariamente durante um ajuste de motor.

Um indicador de razão de pressão de motor, por outro lado, é menos complexo para usar, porque ele compensa automaticamente quanto aos efeitos da velocidade do ar e da altitude, já que leva em consideração a pressão de entrada do compressor (CIP).

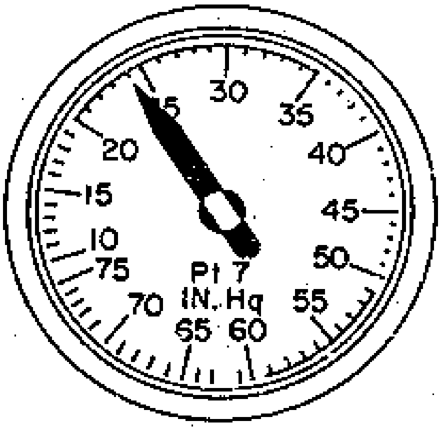
Indicador de pressão de descarga da turbina

Este instrumento não somente indica a pressão total interna do motor imediatamente após o último estágio da turbina, mas também indica a pressão disponível para gerar a potência, quando usado com a pressão de entrada do compressor.

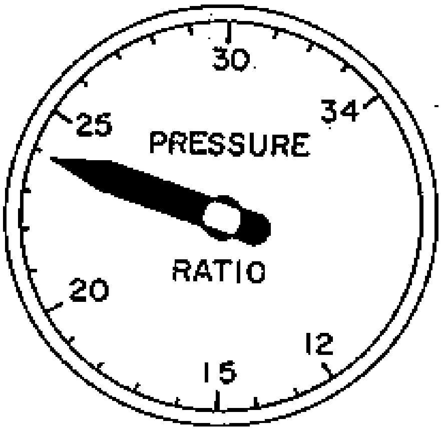
Indicador de razão de pressão do motor

Razão de pressão do motor-EPR (*Engine Pressure Ratio*) é uma indicação da potência sendo desenvolvida pelo motor. É acionado por sensores de pressão total, na entrada do motor e na saída da turbina.

A leitura é mostrada na cabine pelo indicador de EPR, o qual é usado para efetuar as ajustagens de potência do motor.



(A)



(B)

Figura 10-68 A - Indicador da pressão de descarga da turbina;
B - Indicador da razão de pressão do motor.

A figura 10-68 ilustra o indicador de pressão da turbina (A) e um indicador de EPR (B).

Torquímetro (motores turboélice)

Como somente uma pequena parte da força propulsora derivada da potência do jato, nem a pressão de descarga de turbina nem a razão de pressão de motor são usadas como um indicador da potência produzida por um motor turboélice eles são normalmente equipados com um torquímetro.

O torquímetro (figura 10-69) pode ser operado por uma engrenagem anel torquímetro na seção do nariz do motor, similar aquele provido em grandes motores recíprocos, ou por sensores em um eixo de torque. O torque, sendo desenvolvido pelo motor, é proporcional aos cavalos de força, e é usado para indicar os cavalos de força do eixo.

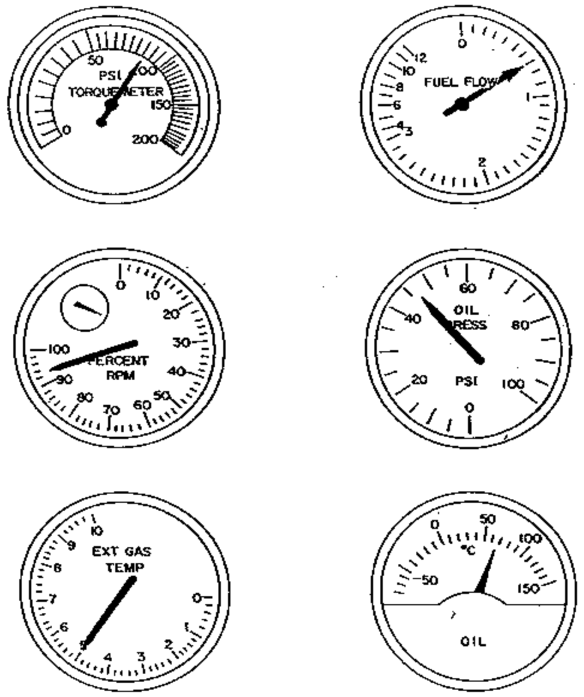

PSI
TORQUEMETER
0
50
100
150
200
FUEL FLOW
0
1
2
3
4
6
8
10
12
PERCENT
RPM
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
OIL
PRESS
PSI
0
20
40
60
80
100
EXT GAS
TEMP
0
2
3
4
5
6
7
8
9
10
°C
-50
0
50
100
150
OIL

Figura 10-69 Instrumentos típicos de motor a turbina.

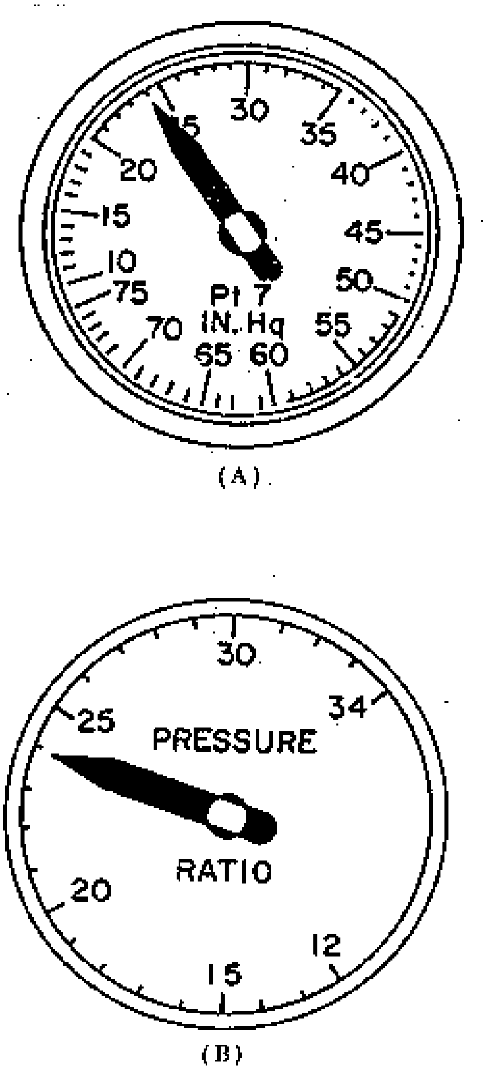
Indicador de pressão de descarga da turbina

Este instrumento não somente indica a pressão total interna do motor imediatamente após o último estágio da turbina, mas também indica a pressão disponível para gerar a potência, quando usado com a pressão de entrada do compressor.

Indicador de razão de pressão do motor

Razão de pressão do motor-EPR (*Engine Pressure Ratio*) é uma indicação da potência sendo desenvolvida pelo motor. É acionado por sensores de pressão total, na entrada do motor e na saída da turbina. A leitura é mostrada na cabine pelo indicador de EPR, o qual é usado para efetuar as ajustagens de potência do motor.

A figura 10-68 ilustra o indicador de pressão da turbina (A) e um indicador de EPR (B).


25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
10
15
20
Pt 7
IN. Hg
30
34
25
PRESSURE
RATIO
20
15
12

(A)

(B)

Figura 10-68 A - Indicador da pressão de descarga da turbina;
B - Indicador da razão de pressão do motor.

Torquímetro (motores turboélice)

Como somente uma pequena parte da força propulsora derivada da potência do jato, nem a pressão de descarga de turbina nem a razão de pressão de motor são usadas como um indicador da potência produzida por um motor turboélice eles são normalmente equipados com um torquímetro.

O torquímetro (figura 10-69) pode ser operado por uma engrenagem anel torquímetro na seção do nariz do motor, similar aquele provido em grandes motores recíprocos, ou por sensores em um eixo de torque.

O torque, sendo desenvolvido pelo motor, é proporcional aos cavalos de força, e é usado para indicar os cavalos de força do eixo.

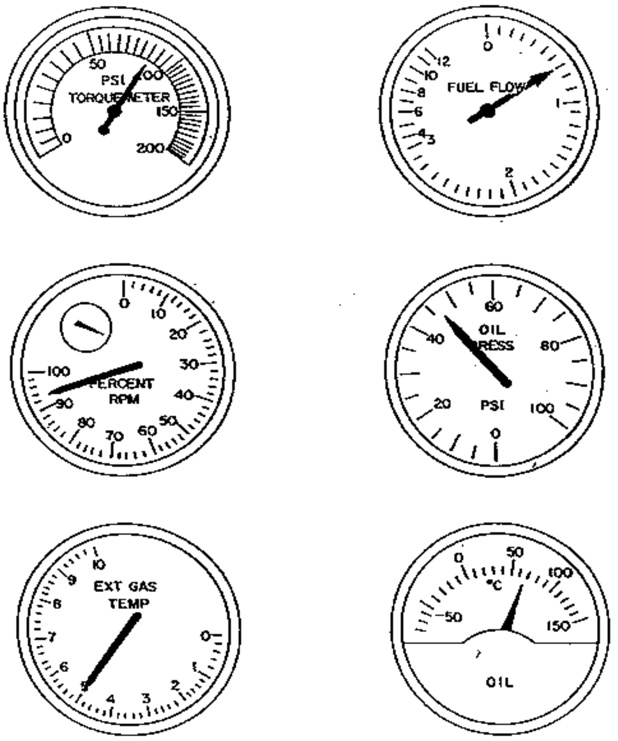


Figura 10-69 Instrumentos típicos de motor à turbina.

Tacômetro

A velocidade do motor a turbina é medida pela r.p.m. do compressor, que será também a r.p.m. da turbina.

Os tacômetros (figura 10-69) são usualmente calibrados em percentagem de r.p.m., pois vários tipos de motores podem ser operados na mesma base de comparação.

Como indicado anteriormente, r.p.m. do compressor em motores a reação de compressor centrífugo, é uma indicação direta da potência do motor sendo produzida.

Para motores de compressor axial, o principal propósito do tacômetro é monitorar a r.p.m. durante uma partida de motor, e para indicar uma condição de sobrevelocidade, se uma ocorrer.

Indicador de temperatura dos gases de escapamento

Temperatura dos gases de escapamento-EGT (*Exhaust Gas Temperature*), temperatura da entrada da turbina-TIT (*Turbine Inlet Temperature*), temperatura do duto de descarga, e temperatura de descarga da turbina, são uma só, e a mesma coisa.

Temperatura é um limite de operação do motor e, é usada para monitorar a integridade mecânica das turbinas, tanto quanto verificar as condições de operação do motor.

Na realidade, a temperatura de entrada da turbina é a consideração importante, uma vez que é a mais crítica das variáveis do motor. Entretanto, é impraticável medir a temperatura de entrada da turbina na maioria dos motores, especialmente nos modelos grandes.

Consequentemente, termopares de temperatura são inseridos na descarga da turbina, onde a temperatura provê uma indicação relativa daquela na entrada.

Embora a temperatura, neste ponto, seja muito inferior do que na entrada, ela provê vigilância sobre as condições internas de operação do motor.

Diversos termopares são normalmente usados, os quais são espaçados em intervalos em volta do perímetro do tubo de descarga do motor próximo da saída da turbina. O indicador de EGT (figura 10-69) mostra na cabine a média das temperaturas medidas pelos termopares individuais.

Indicador de fluxo de combustível

Os instrumentos fluxômetros indicam o fluxo de combustível em lbs./h da unidade de controle de combustível do motor. O fluxômetro permite monitorar o consumo de combustível e verificar o desempenho do motor. Um indicador de fluxo de combustível é ilustrado na figura 10-69.

Indicador de pressão de óleo do motor

A fim de evitar falha de motor resultante da lubrificação e refrigeração inadequadas das várias partes do motor, o suprimento de óleo às áreas críticas deve ser monitorado. O indicador de pressão do óleo normalmente mostra a pressão de descarga da bomba de óleo do motor.

Indicador de temperatura do óleo do motor

A habilidade do óleo do motor de lubrificar e refrigerar depende da sua temperatura, tanto quanto a quantidade que é suprida às áreas críticas. Um indicador de temperatura de entrada de óleo é frequentemente provido para mostrar a temperatura do óleo quando entra na bomba de pressão. Temperatura da entrada do óleo é também uma indicação da operação própria do radiador de óleo do motor.

OPERAÇÃO DO MOTOR A REAÇÃO

Os procedimentos de operação do motor, apresentados aqui, aplicam-se geralmente a todos os motores a reação. Os procedimentos, pressões, temperaturas e r.p.m. que se seguem são primariamente propostos a servirem como guia. As instruções de operação do fabricante devem ser consultadas antes de se tentar a partida e a operação de um motor a reação.

Em contraste aos numerosos controles de um motor recíproco, um motor a reação tem somente uma manete de controle de potência. O ajuste da manete de potência seleciona uma condição de potência, para a qual a unidade controla o combustível para o motor. Motores equipados com reversores entram nesta condição em posições de manete abaixo de marcha lenta (*idle*).

Uma alavanca de corte de combustível separada é usualmente provida em motores equipados com reversores.

Antes da partida, atenção particular deve ser dada à entrada de ar do motor, a condição visual e o livre movimento dos conjuntos compressor e turbina, e à área de estacionamento a frente e atrás da aeronave.

A partida do motor é dada pelo uso de uma fonte de força externa ou de uma unidade de partida a combustão.

Tipos de sistemas de partida e o ciclo de partida dos motores, já foram discutidos anteriormente.

Em aviões com múltiplos motores, é dada partida em um motor por uma fonte externa que supre pressão de ar para o arranque pneumático no motor.

Ar sangrado deste primeiro motor em operação é então usado como fonte de potência, para dar a partida a outros motores.

Durante a partida, é necessário monitorar o tacômetro, a pressão de óleo, e a temperatura dos gases de saída.

A sequência normal de partida é:

(1) Girar o compressor com o arranque;

(2) Ligar a ignição; e

(3) Abrir a válvula de combustível do motor, seja movendo a manete para "*idle*", pela movimentação da manete de corte de combustível ou girando uma chave.

A observação ao procedimento prescrito para um determinado motor é necessária como medida de segurança, e para evitar uma partida "quente" ou partida "estagnada".

Uma partida com sucesso será notada primeiro pela elevação na temperatura dos gases de saída. Se o motor não "acende" dentro de um período determinado de tempo, ou se o limite de temperatura do gás de saída na partida é excedido, o procedimento de partida deve ser abortado.

Partidas quentes não são comuns, mas quando elas ocorrem, podem ser geralmente interrompidas a tempo, de modo a evitar a temperarura excessiva pela observação constante da temperatura dos gases de saída durante a partida.

Quando necessário, o combustível ou os gases retidos podem ser eliminados, pela continuação do giro do compressor com o arranque, porém com a ignição e o combustível desligados.

OPERAÇÃO NO SOLO

Fogo no motor

Se ocorrer fogo no motor durante o ciclo de partida, a alavanca de corte de combustível deve ser movida para a posição "off". Continua-se girando o motor com o arranque até que o fogo tenha sido expelido do motor.

Se o fogo persistir, CO_2 pode ser descarregado no duto de entrada enquanto ele está sendo virado. Não se descarrega CO_2 diretamente na saída do motor, porque isto pode danificá-lo. Se o fogo não puder ser apagado desligue todas as chaves e abandone a aeronave.

Se o fogo é no solo sob o dreno, descarrega-se o CO_2 no solo. Isto também é verdade se o fogo é no tubo de descarga, e o combustível estiver pingando no solo e queimando.

Verificações do motor

A verificação de motores turbojato ou turbofan, quanto à operação adequada, consiste simplesmente em ler os instrumentos do motor e, então, comparar os valores observados com aqueles conhecidos de serem corretos, para qualquer dada condição de operação do motor.

Verificações em marcha lenta

Depois que o motor partir, e a r.p.m. de marcha lenta tiver sido obtida; e as leituras dos instrumentos forem estabilizadas, o motor deve ser verificado quanto à satisfatória operação na velocidade de marcha lenta.

As leituras do indicador de pressão de óleo, do tacômetro, e da temperatura dos gases de saída, devem ser comparadas com as faixas permissíveis. O fluxo de combustível não é considerado uma indicação confiável da condição do motor em r.p.m. de marcha lenta, devido às inexatidões frequentemente encontradas nos medidores de fluxo de combustível e indicadores na sua faixa inferior de indicação.

Verificação da potência de decolagem

A potência de decolagem é verificada pelo ajuste das manetes, para obter uma leitura no indicador de razão de pressão do motor. O valor para a razão de pressão do motor, que representa a potência de decolagem para as condições atmosféricas ambiente, que estão prevalecendo, é calculado a partir de uma curva de seleção de potência de decolagem, similar àquela mostrada na figura 10-70.

Essa curva foi computada para condições estáticas.Portanto, para uma verificação precisa da potência, o avião deve estar estacionado, e a operação estável do motor deve ser estabelecida. Se for necessário calcular a potência durante uma verificação de ajuste de motor, a pressão de descarga de turbina (P_{17}) é também mostrada nestas curvas.

Manuais apropriados devem ser consultados para as cartas de um motor de fabricação e modelo específicos.

A razão de pressão do motor, calculada a partir da curva de seleção de potência, representa tanto a potência de decolagem "molhada" ou "seca".

A manete do avião é avançada para obter esta leitura, prevista no indicador de razão de pressão do motor no avião.

Se um motor desenvolve a potência prevista e, se todos os outros instrumentos estão dentro de suas faixas adequadas, a operação do motor é considerada satisfatória.

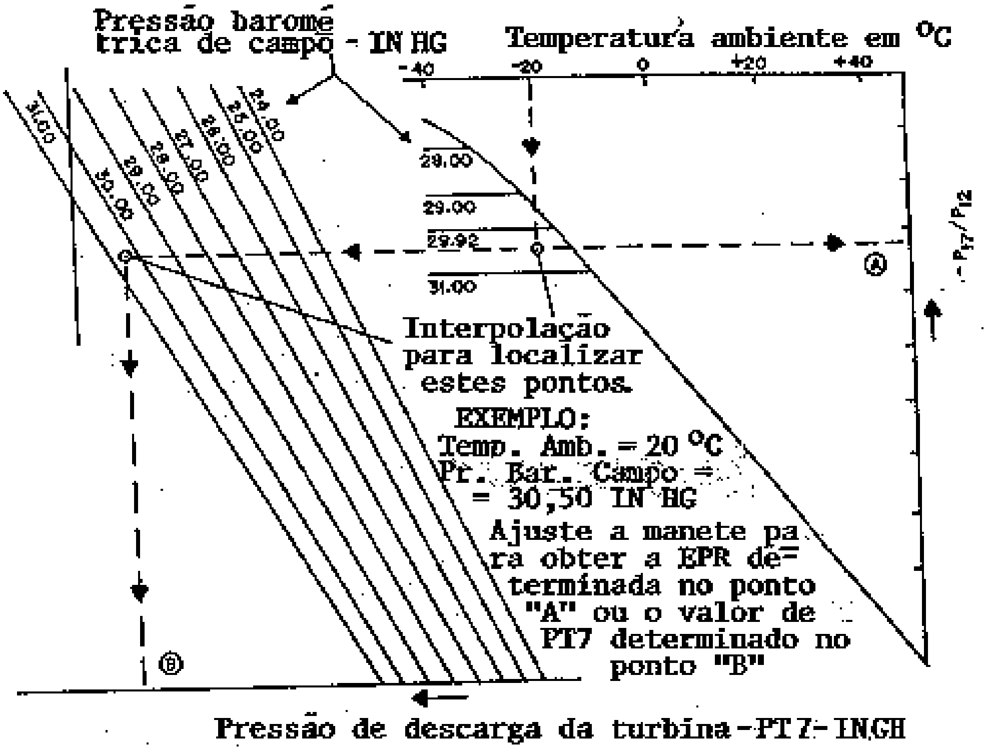


Figura 10-70 Curva típica de ajuste da potência de decolagem para condições estáticas.

Condições ambientes

A sensibilidade dos motores a reação à temperatura e a pressão do ar de entrada do compressor, requer que cuidado considerável seja dado na obtenção de valores corretos para as condições do ar predominantes, quando calculando a potência de decolagem. Algumas coisas para lembrar são:

(1) O motor sente a temperatura e pressão do ar na entrada do compressor. Esta será a temperatura real logo acima da superfície da pista. Quando o avião está parado, a pressão na entrada do compressor será a pressão estática, ou a pressão barométrica verdadeira, e não a pressão barométrica corrigida para o nível do mar que é normalmente reportada pelas torres de controle do aeroporto como a selecionada para o altímetro.

(2) Alguns aeroportos informam a temperatura da pista, a qual deve ser usada quando disponível. O indicador de temperatura do ar exterior do avião pode ou não ser suficiente para obter a temperatura a ser usada, dependendo do modo no qual a temperatura do ar está indicada. Se o bulbo ou o termopar do termômetro está exposto aos raios do sol, a leitura do instrumento obviamente não será precisa. Quando a temperatura da torre de controle deve ser usada, um fator de correção deve ser aplicado. Para um cálculo preciso da potência, tal quando ajustando um motor, é melhor medir a temperatura real na entrada do compressor logo antes de dar a partida no motor, por meio de um termômetro portátil de precisão conhecida. Quando for verificado que uma variação de $5^{O}C$ ($9^{O}F$) na temperatura da entrada do compressor resultará em aproximadamente 2 pol Hg de variação na pressão de descarga da turbina, ou 0,06 de variação na indicação de razão de pressão do motor, a importância de usar a correta temperatura para o cálculo da potência pode ser de imediato avaliada.

(3) Se somente o ajuste do altímetro, ou da pressão barométrica, corrigida para o nível do mar está disponível quando usando as curvas da potência para calcular a pressão de descarga da turbina, esta pressão deve ser recorrigida para a elevação do campo. Um método para obter a pressão real é selecionar o altímetro para a altitude zero, e ler a pressão barométrica do campo diretamente na janela do altímetro na face do instrumento.

(4) Umidade relativa, que afeta apreciavelmente a potência do motor recíproco, tem um efeito negligível na potência do motor a reação, fluxo de combustível e r.p.m. Portanto, a umidade relativa não é normalmente considerada no cálculo da potência para decolagem ou na determinação do fluxo de combustível e r.p.m., na operação rotineira.

DESLIGAMENTO DO MOTOR

Em motores a reação que não têm potência de reverso, o retardo da manete do avião para "*off*" corta o suprimento de combustível para o motor, desligando-o.

Em motores equipados com reversores, isto é conseguido por meio de uma manete separada de corte de combustível. Um motor normalmente estará suficientemente frio para desligar imediatamente.

Entretanto, como regra simples, quando um motor for operado acima de 85% r.p.m. por períodos excedendo 1 minuto, durante os últimos 5 segundos antes do desligamento, é recomendado que o motor seja operado abaixo de 85% (preferencialmente em marcha lenta) por um período de 5 minutos, de modo a evitar uma possível falha dos rotores.

Isto se aplica, em particular, a operação prolongada em altas r.p.m. no solo, como por exemplo, durante o ajuste do motor.

A carcaça da turbina, e as rodas da turbina operam aproximadamente na mesma temperatura quando o motor está virando. Entretanto, as rodas da turbina são relativamente grossas, comparadas com a carcaça, e não são resfriadas tão rapidamente.

A carcaça da turbina está exposta ao ar de refrigeração tanto pelo lado de dentro, como de fora do motor.

Consequentemente, a carcaça e as rodas perdem seu calor residual, em razões diferentes, depois que o motor for desligado.

A carcaça, resfriando mais depressa, tende a encolher sobre as rodas que ainda estão girando.

Sob condições extremas, as palhetas das turbina podem roçar ou trancar.

Assim, um período de resfriamento é requerido se o motor estiver operando em prolongada alta velocidade.

Se as rodas da turbina trancam, normalmente não resulta em danos, desde que não se tente girar o motor antes que ele tenha resfriado suficientemente para liberar as rodas. Ainda assim, todo o esforço deve ser feito para evitar o trancamento.

A bomba de combustível do avião deve ser desligada após e, não antes, que a manete de potência ou a alavanca de corte de combustível forem colocadas na posição "*off*", de modo a assegurar que o combustível permaneça nas linhas, e que a bomba de combustível comandada pelo motor não perca sua pressão.

Sob estas condições, a bomba de combustível do avião é incapaz de realimentar a bomba comandada pelo motor, sem que o ar seja sangrado do controle de combustível.

Geralmente, um motor não deve ser desligado pela alavanca de corte de combustível até que a manete do avião tenha sido retardada para a posição "*idle*". Uma vez que a válvula de corte de combustível esteja localizada na saída do controle de combustível, um desligamento numa seleção de alta potência do motor irá resultar em altas pressões de combustível dentro do controle que podem causar danos nas partes do sistema.

Quando uma leitura com precisão do nível do óleo do tanque for requerida após o desligamento do motor, este deve ser operado a aproximadamente 75% r.p.m., por não menos do que 15 nem mais de 30 segundos imediatamente antes do desligamento, para efetuar a apropriada recuperação do óleo de dentro do motor.

PESQUISANDO PANES EM MOTORES A REAÇÃO

Estão incluídos nesta seção roteiros para localizar mau funcionamento na maioria dos motores a reação.

Uma vez que seria impraticável listar todas as panes que possam ocorrer, somente as mais comuns são cobertas.

Um conhecimento profundo dos sistemas do motor, aplicados com raciocínio lógico, irá resolver qualquer problema que possa ocorrer.

TABELA 12. Pesquisa de panes de motores a reação

Mau funcionamento indicado	**Causa possível**	**Ação sugerida**
O motor tem baixa r.p.m., temperatura dos gases de saída e fluxo de combustível, quando colocado na esperada razão de pressão do motor.	A indicação da razão de pressão do motor está com leituras para mais.	Verificar a linha de entrada de pressão desde o *probe* até o transmissor quanto a vazamentos. Verificar o transmissor de razão de pressão do motor e o indicador quanto à exatidão das indicações.
O motor tem alta r.p.m., temperatura dos gases de saída e alto fluxo de combustível, quando colocado na esperada razão de pressão de motor.	A indicação de razão de pressão do motor tem leitura para menos, devido:	Verificar a condição do sensor.
	Sensor de descarga da turbina desalinhado ou rachado. Vazamento na linha de pressão de descarga da turbina desde o sensor até o transmissor.	Testar a linha de pressão de descarga da turbina quanto a vazamentos.
	Transmissor ou indicador de razão de pressão de motor com erros de indicação. Partículas de carbono coletadas na linha de pressão de descarga ou nos orifícios restritores. Possível dano de turbina e/ou perda de eficiência da turbina.	Verificar o transmissor e o indicador de razão de pressão do motor quanto à exatidão das indicações.
O motor tem baixa r.p.m., alta temperatura dos gases de saída, e alto fluxo de combustível em todas as seleções de razão de pressão do motor .	Se somente a temperatura dos gases de saída estiver alta, o problema pode ser os terminais do termopar, ou o instrumento.	Confirmar a indicação de dano na turbina por: Verificar a desaceleração do motor quanto a ruído anormal e tempo reduzido.

NOTA: Motores com danos na seção da turbina podem ter a tendência de estagnar durante a partida.		Inspecionar visualmente a área da turbina com uma luz forte. Recalibrar a instrumentação de temperatura dos gases de saída.
O motor vibra em diversos regimes, porém a amplitude reduz a medida que a rotação diminui.	Danos na turbina.	Checar a turbina como descrito no item anterior.
O motor vibra com alta r.p.m. e alto fluxo de combustível, em um determinado regime.	Danos na seção do compressor.	Checar a seção do compressor quanto a danos.
O motor vibra em todos os regimes, porém, mais acentuadamente em regime de cruzeiro ou em marcha lenta.	Falha de algum componente acessório como o C.S.D, gerador ou bomba hidráulica, etc.	Checar cada um dos componentes acessórios.
Sem alteração do regime de potência, mas com alta temperatura do óleo.	Falha dos rolamentos principais.	Checar os filtros de retorno de óleo e os plugs magnéticos.
O motor tem temperatura dos gases de saída maior que o normal durante decolagem, subida e vôo de cruzeiro.Rotação e fluxo de combustível acima do normal.	Válvulas de sangria de ar (*bleed valves*) com mau funcionamento. Sensor de indicação da pressão de descarga da turbina, ou a linha de pressão de ar para o transmissor com vazamento.	Verificar a operação da válvula de sangria de ar (*bleed valve*). Checar a condição do sensor de indicação de pressão de descarga, e a linha de pressão para o transmissor.
Motor com alta temperatura de saída dos gases na pressão determinada para decolagem.	Motor fora de regulagem.	Fazer a checagem com o equipamento JETCAL. Recalibrar como necessário.
Motor com estouros contínuos (*stall*) durante a partida, e em vôo de cruzeiro à baixa potência.	Válvula de pressurização e válvula dreno não funcionando. Duto de ar rachado. Unidade de controle de combustível não funcionando adequadamente.	Substituir a válvula de pressurização e a válvula dreno. Substituir ou reparar duto de ar rachado. Substituir unidade de controle de combustível.
Rotação do motor estanca durante tentativa de partida.	Temperaturas inferiores a zero graus Celsius.	Se a estagnação do motor é devido a baixas temperaturas, o motor pode partir acionando a bomba de combustível, ou posicionando a manete de partida em posição anterior a do ciclo normal de partida.
	Danos no compressor. Danos na turbina.	Checar o compressor quanto a danos. Inspecionar a turbina quanto a danos.
Alta temperatura do óleo.	Falha da bomba de retorno do óleo. Intercambiador de calor do combustível não funciona.	Checar o sistema de lubrificação e as bombas de retorno do óleo. Substituir o intercambiador de calor do combustível.

Alto consumo de óleo.	Falha da bomba de retorno de óleo. Alta pressão de óleo de retorno. Vazamento da caixa de acessórios.	Checar a bomba de retorno de óleo. Verificar a pressão de retorno do óleo, como indicado no manual do fabricante. Verificar os vedadores da caixa de acessórios, aplicando pressão pelo suspiro superior.
Perda de óleo por transbordamento.	Pode ser causada pelo alto fluxo de ar pelo tanque, óleo com espuma, ou quantidade não usual de óleo retornado ao tanque pelo sistema de suspiro.	Checar quanto a espuma no óleo. Fazer uma checagem a vácuo dos depósitos intermediários de óleo de retorno.Checar as bombas de retorno.

Para informação exata sobre um modelo específico de motor, consulta-se as instruções aplicáveis do fabricante.

OPERAÇÃO DE TURBOÉLICE

A operação do motor tuboélice é bem similar a de um motor a reação, exceto pela adição da hélice.

O procedimento de partida e as várias características operacionais são bastante parecidas. O turboélice principalmente requer atenção aos limites operacionais do motor, a seleção da manete de potência, e ao indicador de pressão do torquímetro.

Embora os torquímetros indiquem somente a potência sendo suprida à hélice, e não os cavalos de força equivalentes, a pressão do torquímetro é aproximadamente proporcional à potência total de saída e, então, é utilizada na medida do desempenho do motor.

A leitura do indicador de pressão do torquímetro durante a verificação da potência de decolagem é um valor importante.

É usualmente necessário calcular a potência de decolagem, do mesmo modo como é feito para um motor a reação.

Este cálculo é para determinar a máxima temperatura permissível dos gases de escapamento, assim como a pressão do torquímetro que um motor em funcionamento normal deve produzir para a temperatura do ar exterior (ambiente) e a pressão barométrica predominante naquele momento.

PROCEDIMENTO PARA PESQUISA DE PANES PARA MOTORES TURBOÉLICE

Todos os testes, inspeções e pesquisas de panes devem ser feitos de acordo com o respectivo manual do fabricante.

Na tabela 13, os procedimentos para pesquisa de panes do redutor, eixo de torque e seção de força sào simultâneos por causa de sua inter-relação.

A tabela inclui as principais panes, junto com as prováveis causas e suas soluções

TABELA 13 PESQUISA DE PANES NOS MOTORES TURBOÉLICE

PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	SOLUÇÃO
Seção de força não gira durante tentativa de partida.	Sem fluxo de ar no motor de partida (Starter). Freio da hélice trancado.	Verificar a válvula solenóide de ar do motor de partida e o fornecimento de ar. Liberar o freio , girando a hélice na direção normal de rotação.
Seção de força não dá partida.	Baixa velocidade do motor de partida devido ao inadequado fornecimento de ar.	Verificar a válvula solenóide de ar do motor de partida e o fornecimento de ar.

	Se não há sinal de combustível pelo duto de saída dos gases, a válvula seletora de combustível pode estar inoperante devido à falha elétrica ou pode estar trancada.	Checar a força elétrica do sistema, ou válvulas operadas eletricamente. Substituir as válvulas defeituosas.
	Bomba de combustível inoperante.	Checar a bomba de combustível quanto a engrenagens danificadas ou dano interno.Verificar se há vazamento de combustível na bomba.
	Filtro de combustível da aeronave sujo.	Limpar o filtro e substituir o elemento filtrante se necessário.
	Válvula de corte de combustível fechada.	Verificar o circuito elétrico para assegurar-se de que o atuador está energizado.Substituir o atuador ou controlador.
O motor dá a partida mas não acelera para a correta rotação.	Insuficiência de combustível para a unidade controladora.	Verificar o sistema de combustível para assegurar-se de que todas as válvulas estão abertas, e as bombas estão operando.
	Válvula dosadora de combustível trancada.	Substituir a unidade de controle de combustível. Fazer a limpeza das linhas.
	Válvula desviadora de combustível da unidade controladora trancada em aberto.	Substituir a unidade de controle de combustível. Fazer a limpeza das linhas.
	Válvula dreno trancada em aberto.	Substituir as válvulas dreno.
	Chave de pressão de enriquecimento do combustível na partida ajustada em valores altos.	Substituir a chave de pressão.
Temperatura de aceleração muito alta durante a partida.	Válvula desviadora de combustível da unidade controladora fechada e trancada.	Fazer a limpeza das linhas de combustível. Substituir a unidade do controle de combustível.
	O ressalto de aceleração da unidade de controle de combus-tível incorretamente ajustado.	Substituir a unidade de controle de combustível.
	Injetor de combustível defeituoso.	Substituir o injetor de combustível.
	Termostato da unidade de controle de combustível em pane.	Substituir a unidade de controle de combustível.
Temperatura de aceleração muito baixa durante a partida.	O ressalto de aceleração da unidade de controle do combustível incorretamente ajustado.	Substituir a unidade de controle do combustível.
A rotação do motor cicla após a partida.	Governador da unidade de controle de combustível instável.	Continuar a operação do motor para permitir que a unidade de controle do combustível se ajuste automaticamente.
Pressão de óleo da seção de força cai rapidamente.	Fornecimento de óleo insuficiente.	Checar o nível de óleo e abastecer como necessário.
	Transmissor de pressão de óleo ou indicador, dando falsa indicação.	Checar o transmissor de óleo ou o indicador, e reparar ou substituir, se necessário.

Vazamento de óleo nos vedadores de óleo dos acessórios.	Falha do vedador de óleo.	Substituir vedador ou vedadores.
Impossível atingir a máxima rotação controlada a 100%.	Falha do governador de hélice. Falha da unidade de controle de combustível ou do sensor de ar.	Substituir o governador da hélice. Substituir a unidade de controle de combustível. Se estiver suja, limpar a entrada de ar do sensor aplicando ar no sentido contrário ao fluxo normal.
Indicação de vibração muito alta.	Sensor de vibração do motor ou equipamento de leitura em pane.	Calibrar o equipamento de leitura. Dar partida no motor e acelere gradativamente. Observar a indica-ção de vibração.Se a indicação mos-trar que o sensor está em pane, substitui-lo. Se a vibração perma-necer a mesma, remover a unidade de potência para revisão .

UNIDADE DE TESTES DE CALIBRAÇÃO DE JATOS (JETCAL)

Dois dos mais importantes fatores que afetam a vida da turbina são a temperatura dos gases de saída (EGT) e a rotação do motor.

Excesso de temperatura em poucos graus reduz a vida útil das palhetas em mais de 50%. Baixa temperatura de saída dos gases de escapamento materialmente reduz a eficiência do motor e a potência. Excessiva rotação do motor pode causar falha prematura do mesmo. Indicações do sistema de combustível com problemas, temperatura no duto de escapamento e rotação podem ser checados mais precisamente com a unidade JETCAL do que com os indicadores da cabine do avião. Erros em até 10 graus Celsius podem ocorrer na leitura dos indicadores de rotação e de temperatura na cabine, por causa da altura do observador quando sentado.

Um tipo de JETCAL usado para analisar a turbina do motor é o analisador JETCAL (Figura 10-71).

O analisador JETCAL é um instrumento portátil feito de alumínio, aço inoxidável e plástico.

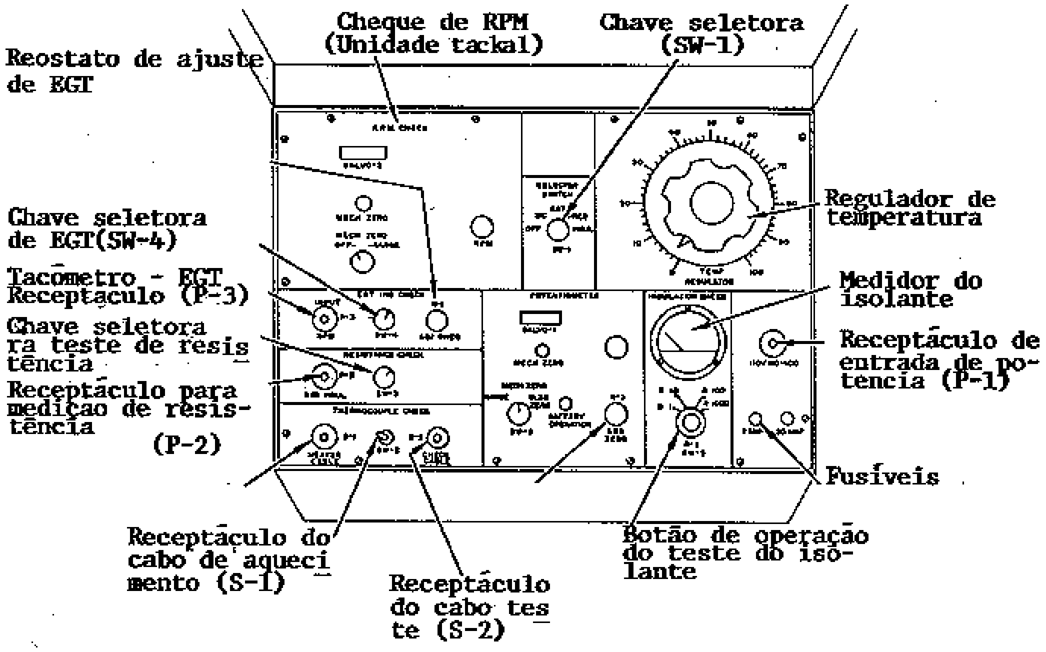

Reostato de ajuste de EGT
Cheque de RPM (Unidade tackal)
Chave seletora (SW-1)
Regulador de temperatura
Chave seletora de EGT(SW-4)
Tacômetro - EGT Receptáculo (P-3)
Medidor do isolante
Chave seletora ra teste de resis tência
Receptáculo de entrada de potência (P-1)
Receptáculo para medição de resis- tência (P-2)
Fusíveis
Receptáculo do cabo de aqueci mento (S-1)
Botão de operação do teste do iso- lante
Receptáculo do cabo tes te (S-2)

Figura 10-71 Compartimento do analisador JETCAL

Os componentes principais deste analisador são os termopares, indicadores de r.p.m. e temperatura de saída dos gases, resistências, circuitos de checagem de isolação, bem como potenciômetros, reguladores de tempera-tura, medidores diversos, chaves e toda a cablagem necessária, sensores e adaptadores para a execução de todos os testes. Um analisador JETCAL também inclui um detector de alta temperatura e circuito de teste do sistema de antigelo da asa.

Uso do analisador JETCAL

O analisador JETCAL pode ser usado para:

(1) Funcionalmente checar o sistema de temperatura de saída dos gases (EGT), quanto a erro, sem dar partida no motor ou desconectar a cablagem.

(2) Checagem individual dos termopares antes da conexão com a fiação principal..

(3) Checagem de cada termopar quando instalado junto à fiação quanto a continuidade.

(4) Checagem dos termopares e da fiação quanto a precisão do sistema.

(5) Checagem da resistência do sistema de temperatura de saída dos gases (EGT).

(6) Checagem da isolação do circuito de temperatura de saída dos gases (EGT) quanto a curto circuito em relação a massa e curto circuito em relação aos terminais.

(7) Checagem dos indicadores de temperatura de saída dos gases (ambos de dentro e fora da aeronave) quanto a erro.

(8) Determinação da rotação do motor com uma precisão de mais ou menos 0,1% durante operação do mesmo. Em adição a esta checagem existe a verificação e pesquisa do sistema de indicação de rpm do avião.

(9) Estabelecer a própria relação entre a temperatura de saída dos gases e a rotação do motor, durante o giro do mesmo, durante o procedimento de tabulação pela checagem de rotação (takcal) e os potenciômetros do analisador JETCAL.

(10) Checagem do sistema de detecção de fogo do avião, e o sistema de antigelo da asa do avião usando sensores especiais.

Instruções de operação da unidade de teste JETCAL

O procedimento completo, item por item, do painel de instruções do JETCAL pode ser seguido durante a operação do mesmo.O painel de operação é visível todo o tempo durante a operação do analisador. Seria útil listar item por item,os procedimentos desta seção. O procedimento consiste em ligar e desligar diferentes chaves e mostradores. Para evitar confusão, esta seção dará detalhes de operação do analisador JETCAL de maneira geral.

Cuidados quanto à segurança

Observar os seguintes cuidados durante a operação do analisador JETCAL:

(1) Nunca usar um multímetro para checar os potenciômetros quanto à continuidade. Se este for usado, haverá danos ao galvanômetro, e a bateria poderá sofrer danos.

(2) Checar a fiação dos termopares antes do giro do motor. Isto deve ser feito porque o circuito deve estar correto antes que os termopares possam ser usados como sensores de EGT.

(3) Por segurança, fazer o aterramento do analisador JETCAL quando usar uma fonte C.A., porque os sensores que tenham uma voltagem induzida na carcaça, podem descarrega-la se o equipamento não estiver aterrado. Esta condição não é aparente durante tempo seco, mas durante tempo úmido o operador pode levar um choque. Desta maneira, para a proteção do operador, o analisador JETCAL deve ser aterrado usando o *pigtail* lead no cabo de entrada de força.

(4) Usar os sensores de temperatura designados para uso nos termopares do motor a ser testado.Variações de temperatura são muito críticas no projeto dos sensores de temperatura. Cada tipo de termopar tem seu próprio e especial sensor. Nunca tentar modificar sensores de temperatura para testar outros tipos de termopares.

(5) Nunca deixar conjuntos de sensores de temperatura no duto de exaustão durante o giro do motor.

(5) Não permitir que os sensores de temperatura atinjam valores acima de 900ºC (1652º F.) Excedendo-se estas temperaturas haverá danos no analisador JETCAL e no conjunto de sensores de temperatura.

Checagem da continuidade do circuito de temperatura de saída dos gases (EGT) do avião.

Para eliminar qualquer erro causado por um ou mais dos termopares do motor, é executado uma checagem de continuidade. Esta checagem é feita aquecendo-se um sensor de temperatura entre 500/700ºC, e posicionando o sensor aquecido sobre cada termopar, um a cada vez.

O indicador de EGT deve mostrar uma subida na temperatura quando cada um dos termopares for checado. Quando uma grande quantidade de termopares for usada no motor (oito ou mais), é muito difícil de ver uma indicação de temperatura nos instrumentos do avião, devido às características elétricas dos circuitos paralelos. Desta maneira, a indicação de temperatura dos termopares do motor é lida pelos potenciômetros do analisador JETCAL; pelo uso do "cabo de cheque"; e os necessários adaptadores.

Checagem funcional do circuito de temperatura de saída dos gases (EGT) do avião.

O tempo requerido para checar o sistema de EGT de qualquer avião, depende de diversos fatores:(1) do número de motores; (2) do número de termopares instalados e a sua posição no motor; (3) dos erros, se algum for achado; e (4) do tempo requerido para se corrigir os erros. O teste funcional de um motor pode ser efetuado entre 10 e 20 minutos; condições especiais podem requerer mais tempo.

Durante o teste funcional do sistema de EGT e a checagem da fiação dos termopares, o analisador JETCAL tem uma precisão garantida de mais ou menos 4º C. na temperatura de teste, que é usualmente a temperatura máxima de operação do motor.

Cada motor tem sua temperatura máxima de operação, que pode ser encontrada nas respectivas instruções técnicas.

O teste é feito com o aquecimento dos termopares do motor no cone traseiro do mesmo, para a temperatura de teste do motor.A temperatura é fornecida por sensores através dos cabos necessários.

Com os termopares do motor aquecidos, a temperatura é registrada no indicador do avião. Ao mesmo tempo, os termopares acoplados aos sensores de temperatura, que são completamente isolados do sistema do avião, são selecionados, registrando a mesma temperatura no analisador JETCAL.

A temperatura indicada nos instrumentos do EGT do avião (figura 10-72) deve estar dentro das tolerâncias especificadas para o sistema e as temperaturas lidas nos potenciômetros do JETCAL.

Os termopares acoplados nos sensores de temperatura estão de acordo com a precisão do *U.S. Bureau of Standards*; desta maneira, as leituras através do JETCAL são aceitas como padrão, e são usadas como base de comparação para checar a precisão do sistema de EGT do avião.

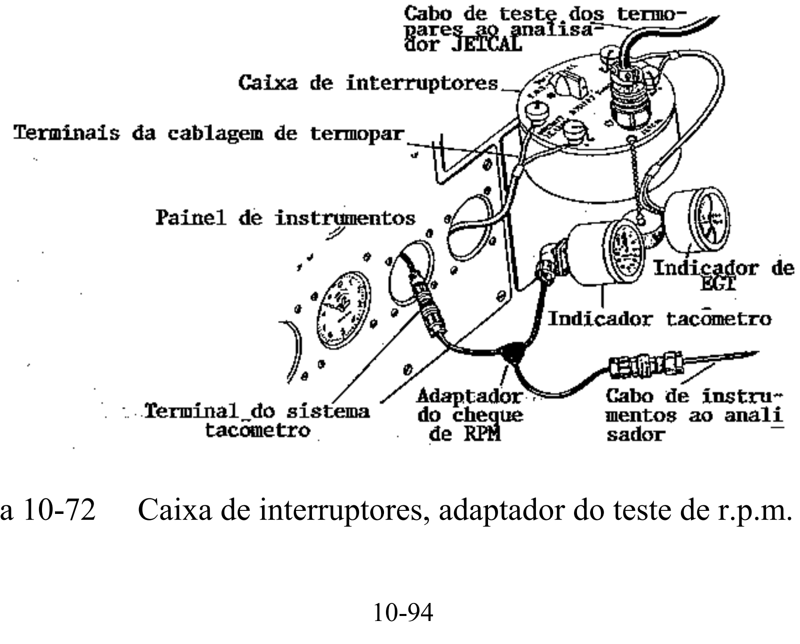

Cabo de teste dos termopares ao analisador JETCAL
Caixa de interruptores
Terminais da cablagem de termopar
Painel de instrumentos
Indicador de EGT
Indicador tacômetro
Cabo de instrumentos ao analisador
Adaptador do cheque de RPM
Terminal do sistema tacômetro

Figura 10-72 Caixa de interruptores, adaptador do teste de r.p.m. e conexões.

Desde que a caixa de junção esteja acoplada em paralelo, não é necessário haver sensores de temperatura conectados a todas as saídas da caixa de junção quando se efetuar uma checagem.Em motores que possuam um sistema de termopar de equilíbrio, este deve ser removido do circuito. Os termopares restantes podem ser checados individualmente, ou em conjunto.

O termopar de equilíbrio é checado usando-se um sensor simples.

A saída do termopar de equilíbrio também é lida pelo potenciômetro do JETCAL, e comparada com a leitura do sensor de temperatura.

Quando a diferença de temperatura excede a tolerância permitida, é feita uma pesquisa do sistema do avião para determinar qual a parte que está em pane. A pesquisa de panes é apresentada no final desta seção.

Teste funcional das chaves térmicas

O sensor "tempcal" testa funcionalmente a operação dos sistemas de detecção de fogo, sobreaquecimento e degelo das asas, que incorporam uma chave térmica como dispositivo de detecção.

A chave térmica deve ser checada na posição no avião, posicionando o sensor sobre a chave térmica.

O sensor "*tempcal*" incorpora os princípios dos sensores de temperatura. A temperatura é controlada por um regulador, e é lida no potenciômetro do JETCAL.

Com o sensor "tempcal " sobre a chave térmica, a temperatura do sensor sobe e desce de acordo com o movimento da chave em sua temperatura de operação.

O indicador no painel de instrumentos do avião, geralmente uma lâmpada vermelha, é checado quanto à indicação, para assegurar-se que a chave está atuando nas temperaturas requeridas.

Se o sistema não está indicando corretamente, o circuito deve ser corrigido.

Se um sensor "*tempcal*" é aquecido e posicionado sobre uma chave térmica fria, os contatos fecharão imediatamente, devido a uma reação chamada de choque térmico.

Como a chave térmica continua a absorver calor, os contatos irão abrir, e então, fechar novamente quando a temperatura de operação da chave for atingida.

Checagem do indicador de temperatura de saída dos gases (EGT)

O indicador de EGT é testado após ter sido removido do painel de instrumentos do avião, e desconectado dos terminais do circuito de EGT do avião.

Acopla-se o cabo dos instrumentos e os terminais adaptadores do indicador de EGT aos terminais do indicador, e coloca-se o indicador em sua posição normal de operação. Ajusta-se as chaves do analisador JETCAL nas posições requeridas. As leituras dos indicadores devem corresponder às leituras do analisador JETCAL dentro de limites aceitáveis do indicador de EGT.

Correção para a temperatura ambiente não é requerida para este teste, já que ambos, o indicador de EGT e o analisador JETCAL, sofrem compensação na sua temperatura.

A temperatura registrada no indicador de EGT do avião deve estar dentro das tolerâncias do sistema do avião e da temperatura lida no potenciômetro do JETCAL.

Quando a temperatura excede a tolerância permitida, é feita uma pesquisa de pane do sistema do avião para determinar qual a parte que está em pane.

Checagem de resistência e isolação

A continuidade da fiação dos termopares é checada enquanto o sistema de EGT é verificado funcionalmente.A resistência da fiação dos termopares é mantida em tolerâncias muito restritas, já que uma mudança na resistência, muda a amperagem, passando pelo circuito.A mudança de resistência dará leituras errôneas na temperatura.

Os circuitos de resistência e isolação tornam possível analisar e isolar qualquer erro no sistema do avião. A utilização dos circuitos de resistência e isolação será discutido nos procedimentos de pesquisa de panes.

Checagem do indicador tacômetro

Para ler a rotação do motor com uma precisão de mais ou menos 0,1% durante a operação do motor, a frequência do gerador do tacômetro é medida pelo circuito cheque de r.p.m. (*takcal*) no analisador JETCAL.

A escala do circuito cheque de r.p.m. é calibrada em porcentagem de r.p.m. em correspondência ao indicador tacômetro do avião, que também faz a leitura em porcentagem de r.p.m.

Os intervalos de calibragem são de 0,2%. O tacômetro do avião e o circuito cheque de r.p.m. são conectados em paralelo, e ambos estarão indicando durante a operação do avião.

As leituras do circuito cheque de r.p.m. podem ser comparadas com as leituras do tacômetro do avião para determinar a precisão do instrumento do avião.

Pesquisa de panes do sistema da temperatura de saída dos gases (EGT)

O analisador JETCAL é usado para testar e pesquisar o sistema de termopares do avião na primeira indicação de pane, ou durante checagens periódicas de manutenção.

O circuito de teste do analisador JETCAL torna isto possível para isolar todas as panes como listado abaixo. Logo após a lista está uma apresentação de cada problema mencionado.

(1) Um ou mais termopares inoperantes em cablagem paralela do motor.
(2) Termopares do motor fora de calibragem.
(3) Erro de indicação de EGT.
(4) Resistência do circuito fora de tolerância.
(5) Curto à massa.
(6) Curto entre terminais.

Um ou mais termopares inoperantes em cablagem paralela do motor

Este erro é detectado em um teste regular dos termopares do avião, com um sensor de temperatura quente, e deverá ter a fiação de terminal rompida na cablagem paralela ou curto à massa na cablagem.

Em último caso, a corrente do termopar em curto pode fluir e nunca ser detectada no indicador.

De qualquer maneira, esses curtos podem ser detectados pela checagem de resistência e isolação.

Termopar do motor fora de calibragem

Quando os termopares estão sujeitos, por um período de tempo, a uma atmosfera oxidante, como as verificadas em motores aeronáuticos, os mesmos vão diferir em muito de sua calibragem original.

Em cablagem paralela de motores, quando os termopares podem ser removidos individualmente, os mesmos podem ser testados em bancada usando sensores de temperatura.

O valor da temperatura obtida dos termopares deve estar dentro das tolerâncias do fabricante.

Erro do circuito de temperatura de saída dos gases (EGT)

Este erro é detectado pelo uso da caixa de distribuição (*switchbox*) e com a comparação da leitura do indicador de EGT do avião com a leitura de temperatura no JETCAL (figura 10-72).

Com a chave (SW-5) na sua posição no JETCAL, a indicação pela cablagem do termopar é dirigida ao analisador JETCAL. Com a chave (SW-5) na posição EGT, a leitura de temperatura pela cablagem dos termopares é indicada no indicador de EGT do avião. A temperatura no analisador JETCAL e no instrumento do avião são comparadas.

Resistência do circuito fora de tolerância

A resistência do circuito dos termopares do motor é de alta importância, já que uma condição de alta resistência vai resultar em baixa indicação de EGT do avião.

Esta indicação é perigosa, porque o avião vai operar com excesso de temperatura, pois a alta resistência vai resultar em leitura inferior a real.

Ajustando um resistor e/ou a resistência de uma bobina no circuito de EGT, geralmente corrigem os desvios.

Curto à massa e curto entre terminais

Estes erros podem ser determinados pelo uso de um medidor de isolação como um ohmímetro.

Valores de zero a 550.000 ohms podem ser lidos no medidor de isolação pela seleção da unidade adequada.

PESQUISA DE PANES NO SISTEMA DO TACÔMETRO DA AERONAVE

Uma função relacionada a checagem de r.p.m. é a pesquisa do sistema tacômetro do avião. O circuito cheque de r.p.m. no analisador

JETCAL é usado para ler a rotação do motor durante a operação com uma precisão de mais ou menos 0,1%.

As conexões para a checagem da r.p.m. são os cabos dos instrumentos e os terminais do sistema do avião ao indicador tacômetro (figura 10-72).

Após ter sido feito a conexão entre o circuito cheque de r.p.m. do analisador JETCAL e o circuito tacômetro do avião, os dois circuitos (agora denominados como um só) serão um circuito paralelo.

O motor então é girado de acordo com as instruções existentes. Ambos os sistemas são lidos simultaneamente.

Se a diferença entre a leitura do indicador tacômetro do avião e o circuito cheque de rpm do analisador JETCAL exceder a tolerância indicada pelas instruções técnicas, o motor deve parar de operar, e a pane localizada e corrigida. Os seguintes itens irão auxiliar na localização e isolação da pane:

(1) Se o tacômetro do avião excede a tolerância permitida, quando comparada ao circuito cheque de r.p.m. o instrumento deve ser substituído.

(2) Se não é possível ler 100% da r.p.m. no tacômetro do avião, mas o circuito cheque de r.p.m. apresenta 100%, o problema será uma pane no indicador tacômetro ou no gerador do tacômetro. Substituir a parte com defeito.

(3) Se não existe leitura no indicador tacômetro do avião, mas existe leitura no circuito cheque de r.p.m., o problema poderá ser o tacômetro do avião em pane, fase aberta ou fase aterrada do gerador do tacômetro do avião. Substituir o tacômetro ou o gerador do tacômetro, ou substituir o terminal defeituoso.

(4) Se não há indicação de r.p.m. no tacômetro do avião e no circuito cheque de r.p.m. do analisador JETCAL, deverá haver terminal aberto ou em curto no circuito do avião ou então o gerador tacômetro com defeito. O defeito no circuito no avião deverá ser localizado e corrigido, ou o gerador tacômetro deverá ser substituído. A leitura de r.p.m. do motor deve ser repetida para a checagem das partes substituídas como resultado do teste feito.

O analisador JETCAL é usado para ajustar o motor porque a r.p.m. do mesmo e a temperatura de saída dos gases são extremamente críticas na operação do motor. Quando o motor deve ser checado e ajustado, o meio mais conveniente para fazê-lo é acoplando a caixa de distribuição (*switchbox*) no circuito de EGT, e fazendo as conexões para a checagem de r.p.m. no início do teste.

A caixa de distribuição é usada para conectar o indicador de EGT no circuito, ou para conectar a indicação de temperatura da cablagem dos termopares ao potenciômetro do analisador JETCAL.

Mesmo assim, as leituras da temperatura da cablagem de termopares do avião podem ser feitas pela conexão do cabo cheque (com ou sem adaptadores) para a caixa de distribuição do motor (ver figura 10-73).

A indicação de EGT do avião deve ser usada quando for dada a partida no motor, para ser possível detectar uma partida quente.

É dada a partida no motor e levado até a rotação de acordo com as suas instruções técnicas.

Durante o procedimento de checagem, todas as leituras de rotação do motor são feitas pelo circuito cheque de rpm do analisador JETCAL, e a leitura de temperatura do motor é feita pelo potenciômetro do JETCAL. Isto é necessário porque a temperatura e a rotação do motor devem ter uma leitura precisa durante a checagem do motor, para assegurar que o mesmo esteja operando em suas condições ótimas.

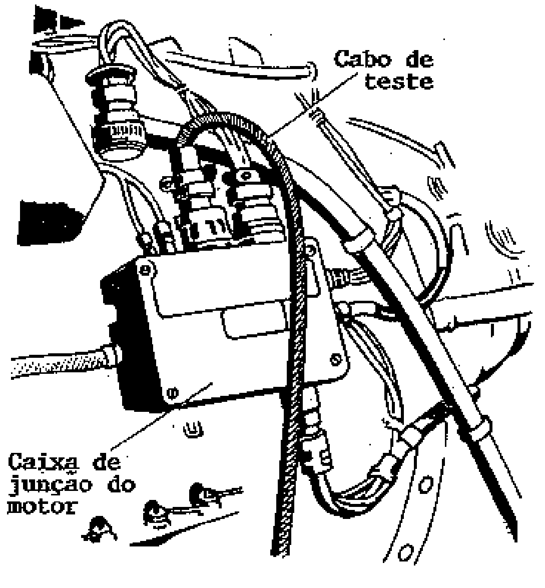


Figura 10-73 Cabo de teste conectado na caixa de junção do motor.

Se as leituras de temperatura não estão dentro das tolerâncias, de acordo com as respectivas instruções, o motor deve ser parado, adicionando ou removendo "tabs" como requerido.

Dá-se nova partida no motor, e as rotações e temperaturas devem ser confrontadas novamente para certificar-se que os "tabs" adicionados ou removidos retornem à temperatura do duto de saída dos gases para os valores especificados.

PROGRAMA DE ANÁLISE DO ÓLEO DO MOTOR COM ESPECTRÔMETRO

O programa de análise de óleo do motor com equipamento espectrômetro (SOAP) tem sido usado por toda a aviação por muitos anos. É baseado no fato de que cada elemento do óleo vai refletir uma determinada faixa de luz, quando a amostra de óleo for analisada pelo espectrômetro. Isto é aplicado a motores recíprocos ou a turbina.

A análise do óleo com o espectrômetro, quanto a partículas metálicas, é possível porque os átomos metálicos e íons emitem um espectro de luz característico quando vaporizados em um arco elétrico ou centelha.

O espectro produzido por cada elemento metálico é único.

A posição ou o comprimento de onda de um espectro vai identificar o metal em particular, e a intensidade da linha do espectro pode ser usada para medir a quantidade do metal em cada amostra.

Como a análise é feita

As amostras periódicas de óleo são colhidas das dos motores envolvidos no programa, e encaminhadas para um laboratório para a análise com o espectrômetro.

A seguir é apresentada a sequência da análise:

(1) Uma camada de óleo da amostra é colhida pelo disco em rotação, feito de grafite de alta pureza, agindo como um eletrodo (ver a figura 10-74).

(2) Uma centelha de alta voltagem C.A., e precisamente controlada, é iniciada entre o eletrodo vertical e o disco eletrodo rotativo, queimando a fina camada de óleo.

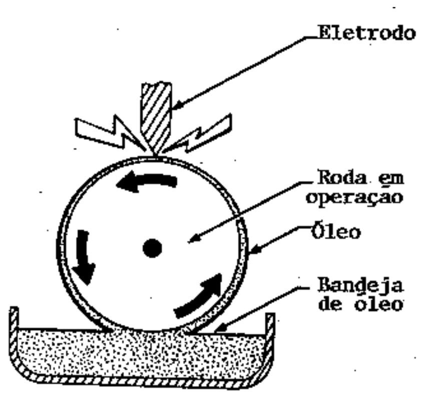


Figura 10-74 Amostra de óleo.

.(3) A luz da queima do óleo passa através de uma fenda posicionada precisamente para o comprimento da onda, pelo particular desgaste do metal que está sendo monitorado (ver a figura 10-75).

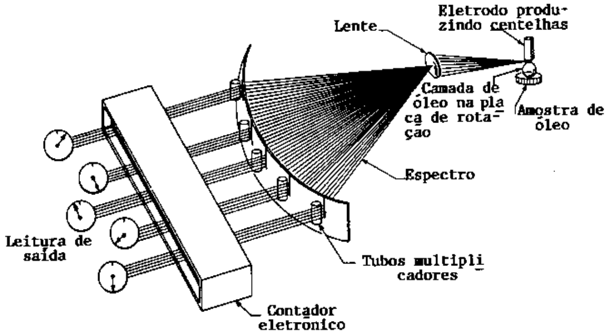


Figura 10-75 Espectrômetro de análise de metais.

(4) Quando a luz passa através das fendas, os tubos fotomultiplicadores transformam as ondas de luz eletronicamente em energia, imprimindo automaticamente o resultado analítico em cartões, em pontos de uma parte por milhão, nas anotações do laboratório.

(5) Os resultados são interpretados, e quando houver uma concentração anormal ou formar uma fenda no metal, o interessado no teste é notificado com a devida urgência.

Aplicação

Sob certas condições, e dentro de certas limitações, as condições internas de qualquer sistema mecânico podem ser avaliadas pela análise espectrométrica da amostra do óleo lubrificante.

O conceito e a aplicação estão baseados nos seguintes fatos:

(1)Os componentes dos sistemas mecânicos das aeronaves contêm alumínio, ferro, cromo, prata, cobre, estanho, magnésio, chumbo e níquel, com a predominância de elementos em forma de ligas metálicas.

(2) O contato em movimento entre os componentes de qualquer sistema mecânico é sempre acompanhado pela fricção. Apesar da fricção ser reduzida pela fina camada de óleo, algumas partículas microscópicas de metal no desgaste são removidas e transportadas em suspensão pelo óleo. Portanto, uma fonte em potencial de informação existe para relação das condições do sistema. A identidade química da superfície desgastada e as partículas removidas, no desgaste daquela superfície, são sempre as mesmas. Se a proporção de cada tipo de partícula pode ser avaliada, e estabelecida como sendo normal ou anormal, então, a proporção do desgaste das superfícies de contato também será considerada como normal ou anormal. A identificação química da anormalidade da partícula produzida fornece vestígios para a identificação dos componentes que estão sendo desgastados.

Na maioria das condições, a proporção do desgaste permanecerá constante e lentamente. As partículas metálicas serão de tamanho microscópico para permanecerem em suspensão no sistema de lubrificação. Qualquer condição que altere ou aumente o atrito normal entre as partes móveis, também irá acelerar a proporção do desgaste e aumentar a quantidade de partículas produzidas. Se a condição não for descoberta e corrigida, o processo de desgaste continuará acelerado, usualmente com danos secundários para outras partes do sistema, e podendo ocorrer uma eventual falha do sistema por inteiro.

Medição dos metais

O importante desgaste dos metais, produzido em um sistema mecânico com lubrificação por óleo, pode ser medido separadamente, mesmo em baixas concentrações, pela análise espectrométrica.

A prata é acuradamente medida em concentrações menores do que meia parte de prata, em peso, para um milhão de partes de óleo. A maioria dos outros metais são medidos acuradamente, em concentração abaixo de duas ou três partes por milhão.

A máxima quantidade de desgaste normal foi determinada para cada metal de um particular sistema programado.

Esta quantidade é chamada "seu limite mínimo de contaminação", e é medida pelo peso, em partes por milhão (PPM).

Deve ser entendido que, o metal que se origina de um desgaste, é de tamanho microscópico, não pode ser visto a olho nu, não pode ser pego com os dedos e flui livremente através dos filtros do sistema.

Como um exemplo, este metal de desgaste que tenha 1/10 do tamanho de um grão de talco, é facilmente medido pelo espectrômetro.

Portanto, o espectrômetro mede as partículas que se movimentam em suspensão no óleo, e que são pequenas demais para serem retidas pelos filtros ou plugues magnéticos.

Vantagens

O "Programa de Análise do Óleo" não é um remédio para tudo, como prática normal de manutenção, no entanto, deve ser seguida.

Existem vários benefícios do programa que são importantes.

Analisar uma amostra do óleo após uma ação de manutenção pode ser um controle de qualidade pela manutenção.

Uma análise, que continua a apresentar uma anormal concentração de partículas metálicas, é uma prova positiva de que a manutenção não corrigiu a discrepância, e uma técnica de pesquisa de panes deverá ser empregada.

Análise de amostras de motores em teste tem reduzido a possibilidade de instalar um motor revisado na aeronave, contendo problemas que não tinham sido detectados pelos instrumentos da bancada de testes. O espectrômetro tem sido usado principalmente para analisar as condições de motores convencionais, turboélices e turbojatos, bem como transmissões de helicópteros, impedindo que as falhas, posteriormente, se apresentassem em vôo. Numerosos motores convencionais foram reparados na pista com troca de cilindros, no lugar de trocar o motor por inteiro.

A técnica é também aplicável em controles de velocidade constante, supercompressores, caixas de engrenagens de redução, sistemas hidráulicos e outros sistemas mecânicos lubrificados com óleo.

CAPÍTULO 1

TEORIA E CONSTRUÇÃO DE MOTORES DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

Para que uma aeronave permaneça em vôo e com velocidade constante, deve existir um empuxo igual e em direção oposta ao arrasto aerodinâmico dessa aeronave. Esse empuxo ou força propulsora é fornecida por um motor térmico adequado.

Todos os motores térmicos têm em comum a capacidade de converter energia calorífica em energia mecânica, por meio do fluxo de uma massa de fluido através desse motor. Em todos os casos, a energia calorífica é liberada em uma posição (um ponto) do ciclo onde a pressão é alta em relação à pressão atmosférica.

Esses motores são usualmente divididos em grupos ou tipos dependendo de:

(1) do fluido de trabalho utilizado no ciclo do motor;
(2) dos meios pelos quais a energia mecânica é transformada em força de propulsão; e

(3) do método de compressão do fluido de trabalho do motor.

Os tipos de motores estão ilustrados nas figura 1-1.

TIPO DE MOTOR	PRINCIPAL MÉTODO DE COMPRESSÃO	FLUÍDO DE TRABALHO DO MOTOR	FLUÍDO DE TRABALHO DE PROPUSÃO
TURBO JATO	COMPRESSOR À TURBINA	MISTURA AR/COMBUSTÍVEL	O MESMO DO TRABALHO DO MOTOR
TURBOÉLICE	COMPRESSOR À TURBINA	MISTURA AR/COMBUSTÍVEL	AR AMBIENTE
ESTATO-REATOR	AR DE IMPACTO DEVIDO À ALTA VELOCIDADE DE VÔO	MISTURA AR/COMBUSTÍVEL	O MESMO DO TRABALHO DO MOTOR
PULSO-JATO	COMPRESSÃO DEVIDO À COMBUSTÃO	MISTURA AR/COMBUSTÍVEL	O MESMO DO TRABALHO DO MOTOR
ALTERNATIVO	AÇÃO ALTERNADA DOS PISTÕES	MISTURA AR/COMBUSTÍVEL	AR AMBIENTE
FOGUETE	COMPRESSÃO DEVIDO À COMBUSTÃO	MISTURA OXIDADOR/COMBUSTÍVEL	O MESMO DO TRABALHO DO MOTOR

Figura 1-1 Tipos de motores.

A força de propulsão é obtida através do deslocamento de um fluido de trabalho (não necessariamente o mesmo fluido utilizado dentro do motor) na direção oposta àquela na qual a aeronave é propelida.

Isso é uma aplicação da terceira lei de Newton. O ar é o principal fluido utilizado para propulsão em todos os tipos de motores exceto foguetes, nos quais apenas sub-produtos da combustão são acelerados e deslocados.

As hélices de uma aeronave equipada com motores turboélices aceleram uma grande massa de ar através de uma pequena mudança de velocidade. O fluido (ar) utilizado para a força de propulsão, é em diferente quantidade daquela utilizada no motor para produzir energia mecânica.

Turbojatos, estatojatos e pulsojatos aceleram uma menor quantidade de ar através de uma maior mudança de velocidade. Eles utilizam para a força de propulsão, o mesmo fluido de trabalho utilizado dentro dos motores.

Um foguete transporta seu próprio oxidante ao invés de utilizar ar ambiente para combustão. Ele descarrega os sub-produtos gasosos de combustão através do bocal de escapamento, a uma velocidade extremamente alta.

Além disso, os motores são caracterizados por comprimir o fluido de trabalho antes da adição de calor, os métodos são caracterizados por comprimir o fluido de trabalho antes da adição de calor.

São estes os métodos básicos de compressão:

(1) compressor à turbina (motor à turbina).
(2) descolamento positivo, compressor tipo pistão (motor alternativo).
(3) ar de impacto devido à velocidade de vôo (estatoreator).

(4) aumento da pressão devido à combustão (pulsojato e foguete).

Uma descrição específica dos principais tipos de motores utilizados na aviação comercial é dada adiante, nesse capítulo.

COMPARAÇÃO DOS MOTORES DE AERONAVES

Além das diferenças nos métodos empregados pelos diversos tipos de motores para produzir empuxo, existem diferenças em sua adequabilidade para diferentes tipos de aeronaves. A discussão seguinte assinala algumas das importantes características que determinam sua adequabilidade.

Exigências gerais

Todos os motores devem obedecer as exigências gerais de eficiência, economia e confiabilidade. Além de econômico quanto ao consumo de combustível, um motor deve ser econômico quanto ao custo de sua obtenção original e quanto ao custo de manutenção, e tem que atender às exigências rigorosas da razão de eficiência e baixo peso de unidade por potência.

O motor deve ser capaz de prover alta potência de saída sem sacrifício da confiabilidade, e deve ter durabilidade para operar por longos períodos entre revisões. É necessário que o motor seja tão compacto quanto possível, apesar do fácil acesso para manutenção.

É requerido que ele seja tão livre de vibrações quanto possível, e que possa cobrir um largo alcance de potência de saída a várias velocidades e altitudes.

Essas exigências ditam o uso dos sistemas de ignição que irão entregar o impulso elétrico para as velas ou ignitores no tempo exato, em qualquer condição de tempo, mesmo adversa. Dispositivos medidores são necessários para entregar combustível na proporção correta para o ar ingerido pelo motor, independente da altitude ou condições de tempo nas quais o motor está sendo operado.

O motor precisa de um tipo de sistema de óleo, que seja fornecido sob pressão adequada para todas as peças_móveis, quando ele estiver em funcionamento. Ele deve, também, ter um sistema para amortecer as vibrações, quando estiver operando.

Potência e Peso

O rendimento útil de todo motor de aeronave é o empuxo, a força que impele a aeronave. Sendo a potência do motor alternativo medida em BHP (cavalo força ao freio), e a potência do motor de turbina a gás medida em libras de empuxo, não pode ser feita uma comparação direta.

Contudo, uma vez que a combinação motor alternativo/hélice recebe o empuxo da hélice, a comparação pode ser feita convertendo o cavalo força, desenvolvido pelo motor alternativo, para empuxo.

Se desejado, o empuxo de um motor de turbina a gás pode ser convertido em THP (cavalo força de empuxo). Porém, é necessário considerar a velocidade da aeronave. Essa conversão pode ser feita através da fórmula:

$$THP = \frac{Empuxo \times Velocidade\left(MPH\right)}{375\ lbs - MPH}$$

O valor 375 libras-milha por hora é tirado da fórmula básica de cavalo-força abaixo.

1hp = 33.000 lb. pé por minuto

33.000 x 60 = 1.980.000 lBb. pé por hora.

$$\frac{1.980.000}{5.280} = 375 \text{ Libras - milhas por hora}$$

Um cavalo-força é igual a 33.000 lb pé por minuto ou 375 libras-milha por hora. Sob condições estáticas, o valor do empuxo é equivalente a aproximadamente 2,6 libras por hora.

Se uma turbina a gás está produzindo 4.000 libras de empuxo, e a aeronave na qual o motor está instalado está voando a 500 m.p.h., o THP será:

$$\frac{4000 \text{ x } 500}{375} = 5.333{,}33 \text{ thp.}$$

É necessário calcular o cavalo-força para cada velocidade de uma aeronave, uma vez que o cavalo-força varia com a velocidade. Portanto, não é prático tentar comparar o rendimento de motor à turbina na base de cavalo força.

O motor de aeronave opera a uma percentagem relativamente alta de sua potência máxima durante sua vida em serviço. Durante uma decolagem, o motor está sempre em potência máxima. Ele pode manter essa potência por um período, até o limite estabelecido pelo fabricante.

Raramente um motor é mantido à pontência máxima por mais de 2 minutos, e usualmente nem atinge esse tempo. Poucos segundos após a decolagem, a potência é reduzida para aquela utilizada durante a subida, e que pode ser mantida por longos períodos. Após a aeronave atingir a altitude de cruzeiro, a potência do(s) motor(es) é reduzida para a potência de cruzeiro, a qual pode ser mantida, enquanto durar o vôo.

Se o peso de um motor por B.H.P. (chamado peso específico do motor) diminui, a carga útil que uma aeronave pode transportar, e a performance da aeronave, obviamente aumentam. Cada libra a mais no peso do motor de uma aeronave reduz o seu desempenho. Enormes ganhos, reduzindo o peso de motores de aeronaves através de melhoria de projetos e metalurgia, têm resultado em motores alternativos, produzindo, atualmente, 1hp por cada libra de peso.

Economia de combustível

O parâmetro básico para descrever a economia de combustível de motores aeronáuticos é, geralmente, o consumo específico. O consumo específico de combustível para turbojatos e estatojatos é o fluxo de combustível (Lbs.h) dividido pelo empuxo (Lbs); e para motores alternativos o fluxo de combustível (Lbs.h) dividido pelo B.H.P. São denominados: "consumo específico por unidade de empuxo" e "consumo específico por B.H.P.", respectivamente.

O consumo específico equivalente é utilizado para motores turboélices, e é o fluxo em libras por hora dividido pela equivalente potência no eixo. Comparações podem ser feitas entre os diversos motores com relação à base de consumo específico.

À baixa velocidade, os motores alternativos e turboélices têm melhor economia que os motores turbojatos.

Contudo, à alta velocidade, devido a perdas na eficiência da hélice, a eficiência dos motores alternativos ou turboélices torna-se menor que a dos turbojatos.

A figura 1-2 mostra uma comparação dos consumos específicos de empuxo médio de três tipos de motores à potência homologada, ao nível do mar.

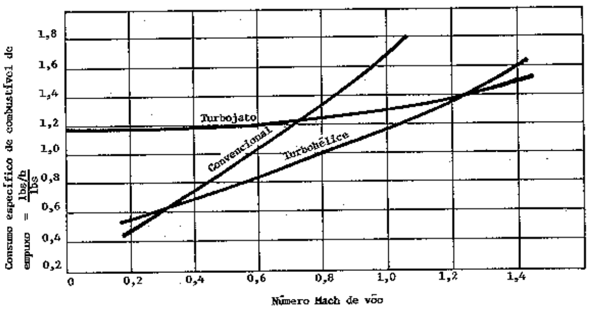


Figura 1-2 Comparação do consumo específico de três tipos de motores, à potência homologada, ao nível do mar.

Durabilidade e Confiabilidade

Durabilidade e confiabilidade são geralmente considerados fatores idênticos, uma vez que é difícil mencionar um sem incluir o outro. Um motor de aeronave é confiável quando pode manter seu desempenho dentro de uma classificação específica, em variações amplas de atitudes de vôo, sob condições atmosféricas extremas. Padrões de confiabilidade de motores devem satisfazer as exigências da autoridade aeronáutica, do seu fabricante e do fabricante do seu produto através do projeto, pesquisa e teste. Um rígido controle de fabricação e de procedimentos de montagem é mantido, e cada motor é testado antes de sair da fábrica.

Durabilidade é o tempo de vida do motor, enquanto mantém a confiabilidade desejada. O fato de um motor ter completado com sucesso seu ensaio de carga estática, indica que ele pode ser operado de forma normal por um longo período, antes de requerer uma revisão geral. Contudo, intervalos definidos de tempo entre revisão geral, não é especificado ou implicado na classificação do motor.

O TBO (intervalo entre revisões), varia com as condições de operação do motor, tais como temperaturas, duração do tempo em que o motor é operado em alta potência e manutenção recebida.

Confiabilidade e durabilidade são, dessa forma, criadas no motor por seu fabricante, porém a confiabilidade continuada desse motor é determinada pela manutenção, revisão geral e pessoal operador. Manutenção e métodos de revisão, cuidadosas inspeções períodicas e de pré-vôo e estrita observância dos limites de operação estabelecidos pelo fabricante, tornarão a falha do motor uma rara ocorrência.

Flexibilidade de operação

Flexibilidade de operação é a capacidade de um motor funcionar suavemente, e apresentar o desempenho desejado a cada regime de operação, desde a marcha lenta até a potência máxima. O motor de aeronave tem que funcionar eficientemente sob todas as variações nas condições atmosféricas encontradas nas operações correntes.

Compactação

Para que hajam linhas de fluxo apropriadas e balanceamento da aeronave, a forma e o tamanho do motor tem que ser tão compactos quanto possível. Em aeronaves monomotoras, a forma e o tamanho do motor também afetam a visibilidade do piloto, tornando o motor pequeno melhor, desse ponto de vista, além de reduzir o arrasto criado pela área frontal maior.

Limitações de peso, são rigorosamente relacionadas com a compactação necessária. Quanto mais alongado e "espalhado" for o motor, mais difícil se torna manter o peso específico dentro dos limites permissíveis.

Seleção do motor

O peso e o consumo específico foram discutidos em parágrafos anteriores, porém, devido à necessidade de determinados projetos, a seleção final de um motor pode ser baseada em outros fatores além daqueles, os quais, podem ser discutidos do ponto de vista analítico. Por essa razão, uma discussão geral sobre a seleção do motor é aqui incluída.

Para aeronaves cujas velocidades de cruzeiro não excederão 250m.p.h., o motor alternativo é a escolha usual. Quando é requerida economia em alcance de baixa velocidade, o motor alternativo convencional é escolhido devido à sua excelente eficiência. Quando é requerido um desempenho em grandes altitudes, o motor_alternativo com turbo-compressor pode ser escolhido devido à capacidade de manter a potência homologada para grandes altitudes (acima de 30.000 pés).

Para alcançar velocidades de cruzeiros de 180 até 350 m.p.h., o motor turboélice apresenta melhor desempenho que o apresentado por outros tipos de motores. Eles desenvolvem mais potência por libra de peso que os motores alternativos, permitindo assim, maior carga de combustível ou carga paga para motores de uma dada potência.

O rendimento total máximo de um motor turboélice, é menor que aquele de um motor alternativo à baixa velocidade. Motores turboélice operam de forma mais econômica a grandes altitudes, porém eles têm um teto de serviço ligeiramente inferior ao dos motores alternativos com turbo-compressor.

A economia de operação dos motores turboélices, em termos de toneladas de carga-milha por libra de combustível, será usualmente menor que a dos motores alternativos, porque as aeronaves de carga são geralmente projetadas para baixa velocidade de operação. Por outro lado, o custo de operação de um turboélice pode se aproximar daquele de um motor alternativo devido à utilização de combustível mais barato.

Aeronaves que pretendam operar entre altas velocidades sub-sônicas e Mach 2.0 são equipadas com motores turbojatos. A exemplo dos turboélices, os turbojatos operam mais eficientemente em grandes altitudes. Em altas velocidades, a economia de combustível de aeronave, impulsionada através de motor turbojato em termos de milhas por libra de combustível, é inferior àquela atingida em baixas velocidades com motores alternativos.

Contudo, em operação os motores alternativos são mais complexos que outros motores. A operação correta de motores alternativos requer quase que o dobro da instrumentação requerida pelos turbojatos ou turboélice, além de requer diversos controles adicionais.

Uma troca no ajuste de potência na instalação de alguns motores alternativos pode requerer o ajuste de cinco controles, enquanto a mudança na potência em um turbojato requer apenas a alteração no conjunto de manetes. Além disso, existe um grande número de temperaturas e pressões críticas a ser observado na instalação dos motores alternativos que na instalação dos turbojatos ou turboélices.

TIPOS DE MOTORES ALTERNATIVOS

Muitos tipos de motores alternativos já foram projetados. Contudo, fabricantes têm desenvolvido alguns projetos que são geralmente mais utilizados que outros e são, portanto, reconhecidos como convencionais. Motores alternativos podem ser classificados de acordo com a montagem dos cilindros com relação ao eixo de manivelas (em linha, em V, radial e opostos) ou de acordo com método de refrigeração (a líquido ou a ar). Realmente, todos os motores são refrigerados através da transferência do excesso de calor para o ar ao seu redor.

Nos motores refrigerados a ar, essa transferência de calor é feita diretamente dos cilindros para o ar. Nos motores refrigerados a líquido, o calor é transferido dos cilindros para o refrigerante, o qual é então enviado através de tubulações e resfriado dentro do radiador, instalado no fluxo de ar. O radiador deve ser suficientemente grande para resfriar o líquido com eficiência. O calor é transferido para o ar mais devagar que para o líquido, portanto, é necessário prover finas aletas metálicas nos cilindros, para uma efetiva troca de calor. A maior parte dos motores aeronáuticos é refrigerada a ar.

Motores em linha

Um motor em linha tem geralmente um número par de cilindros, muito embora alguns motores de 3 cilindros já tenham sido construídos. Esses motores podem ser refrigerados a água ou a ar e têm somente um eixo de manivelas, o qual está localizado abaixo ou acima dos cilindros. Se um motor for projetado para operar com os cilindros abaixo do eixo de manivelas, será denominado motor invertido.

O motor em linha tem uma pequena área frontal, e é melhor adaptado ao fluxo de ar. Quando montado com os cilindros na posição invertida, ele oferece a vantagem adicional de um trem de pouso menor e maior visibilidade para o piloto. Os motores em linha têm maior razão peso-cavalo-força que muitos outros motores. Com o aumento no tamanho do motor, o tipo refrigerado a ar, em linha, oferece desvantagem adicional quanto à refrigeração adequada; portanto, esse tipo de motor é, em larga escala, restrito aos de pequenas e médias potências utilizadas em pequenas aeronaves.

Motores opostos ou tipo “O”

Os motores opostos, mostrados na figura 1-3, têm duas carreiras de cilindros diretamente opostos, com eixo de manivelas no centro. Os pistões das duas carreiras de cilindros são conectados ao eixo de manivelas. Embora o motor possa ser refrigerado a líquido ou a ar a versão refrigerada a ar é utilizada predominantemente em aviação. Ele pode ser montado com os cilindros na posição horizontal ou vertical. Os motores opostos têm uma baixa razão peso-cavalo-força, e sua estreita silhueta o torna ideal para instalação horizontal em asas de aeronaves. Outra vantagem é sua relativamente baixa vibração.

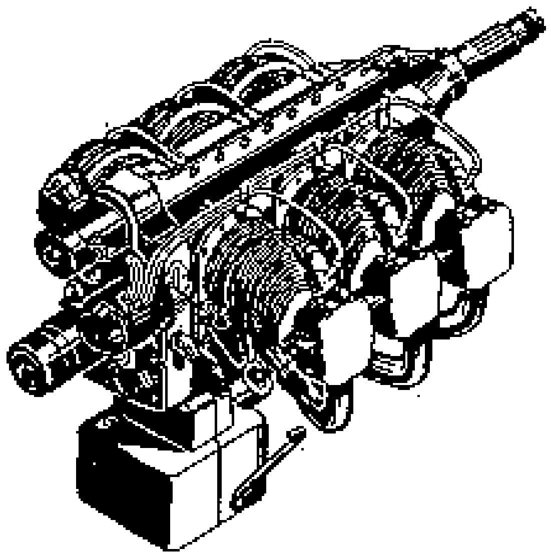


Figura 1-3 Motor de cilindros opostos.

Motores em “V”

Nos motores em “V” os cilindros são montados em duas carreiras em linha, geralmente a 60º. A maioria dos motores tem 12 cilindros, os quais são refrigerados a líquido ou a ar. Os motores são designados por um “V” seguido de um traço, e pelo "deslocamento" do pistão em polegadas cúbicas, por exemplo, V-1710.

Motores radiais

Os motores radiais consistem de uma carreira ou carreiras de cilindros dispostos ao redor de um cárter central (figura 1-4). Esse tipo de motor demonstrou ser muito rijo e digno de confiança.

O número de cilindros que compõem uma carreira pode ser três, cinco, sete ou nove.

Alguns motores radiais têm duas carreiras de sete ou nove cilindros dispostos ao redor do cárter. Um tipo tem quatro carreiras de cilindros com sete cilindros em cada.

A potência produzida pelos diferentes tamanhos de motores radiais varia de 100 a 3800 cavalos-força.

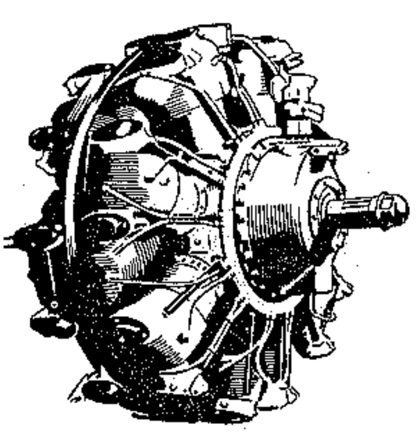


Figura 1-4 Motor radial.

Projeto e construção de Motores alternativos

As peças básicas de um motor são o cárter, os cilindros, os pistões, as bielas, o mecanismo de comando de válvulas e o eixo de manivelas. Na cabeça de cada cilindro estão as válvulas e as velas. Uma das válvulas dá passagem para o sistema de admissão; a outra dá passagem para o sistema de escapamento. Dentro de cada cilindro está um pistão móvel conectado ao eixo de manivelas por uma biela. A figura 1-5 ilustra as partes básicas de um motor alternativo.

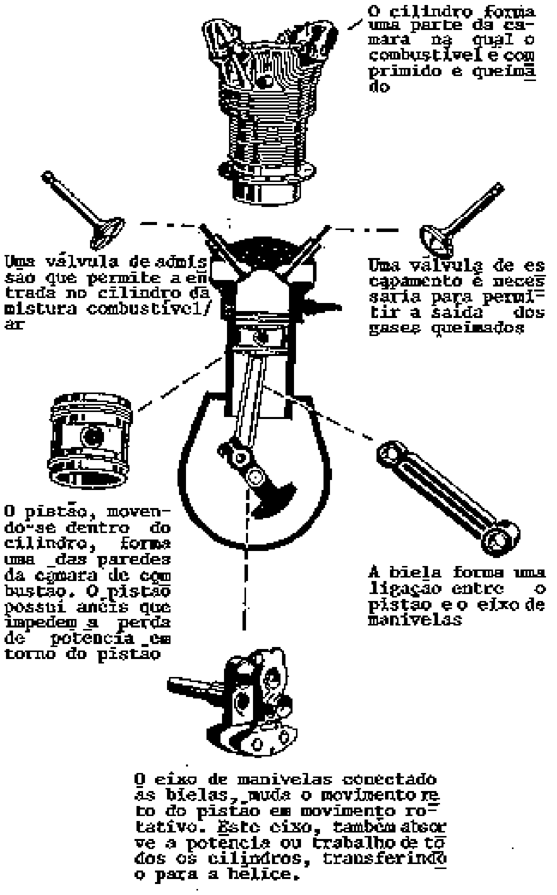

O cilindro forma uma parte da câmara na qual o combustível e comprimido e queimado
Uma válvula de admissão que permite a entrada no cilindro da mistura combustível/ar
Uma válvula de escapamento é necessaria para permitir a saída dos gases queimados
O pistão, movendo-se dentro do cilindro, forma uma das paredes da câmara de combustão. O pistão possui anéis que impedem a perda de potência em torno do pistão
A biela forma uma ligação entre o pistão e o eixo de manivelas
O eixo de manivelas conectado às bielas, muda o movimento reto do pistão em movimento rotativo. Este eixo, também absorve a potência ou trabalho de todos os cilindros, transferindo-o para a hélice.

Figura 1-5 Partes básicas de um motor alternativo.

Seções do carter

A base de um motor é o seu cárter. Ele contém os rolamentos nos quais o eixo de manivelas se apoia. Além de auto sustentar-se o cárter deve prover um recipiente para o óleo de lubrificação, e tem que apoiar diversos mecanismos externos e internos do motor. Ele também provê apoio para fixação dos conjuntos de cilindros e para fixação do motor à aeronave. O cárter deve ser suficientemente rígido e forte para evitar desalinhamento do eixo de manivelas e de seus rolamentos. Ligas de alumínio, fundidas ou forjadas, são geralmente usadas na construção de cárter devido à sua leveza e resistência. Cárteres de aço forjado são utilizados em alguns motores de alta potência.

O cárter está sujeito a muitas variações de vibração e de outras forças. Considerando que os cilindros são presos ao cárter, enormes forças de expansão tendem a arrancar os cilindros do cárter.

As forças de inércia e centrífuga desbalanceadas do eixo de manivelas, agindo no rolamento principal, expõem o cárter a momentos de flexão, os quais trocam continuamente de direção e de intensidade. O cárter precisa ter suficiente rigidez para resistir a esses momentos de flexão sem deflexões de oposição. Se o motor for equipado com engrenagem de redução de hélices, a parte frontal estará sujeita a forças adicionais.

Além das forças de empuxo desenvolvidas pelas hélices sob condições de alta potência, existem severas forças centrífugas e giroscópicas aplicadas ao cárter devido às súbitas trocas de direção de vôo, tais como aquelas que ocorrem durante as manobras das aeronaves. Forças giroscópicas são, particularmente severas quando uma hélice muito pesada é instalada.`

Motores radiais

O motor mostrado na figura 1-6 é um motor radial de nove cilindros, em uma carreira de construção relativamente simples, possuindo a parte frontal interiça e o cárter em duas seções. Os motores com duas carreiras de cilindros são de construção ligeiramente mais complexa que os de uma só carreira. Por exemplo o cárter do motor Wright R-3350 é composto de uma seção frontal, quatro seções principais (principal dianteira, central dianteira, central traseira e principal traseira),alojamento do prato de resaltos e tuchos traseiros, alojamentos frontal e traseiro do compressor e tampa traseira do alojamento do compressor.

Os motores Pratt and Whitney de tamanho equivalente, incorporam as mesmas seções básicas, muito embora a construção e a nomenclatura tenham diferenças consideráveis.

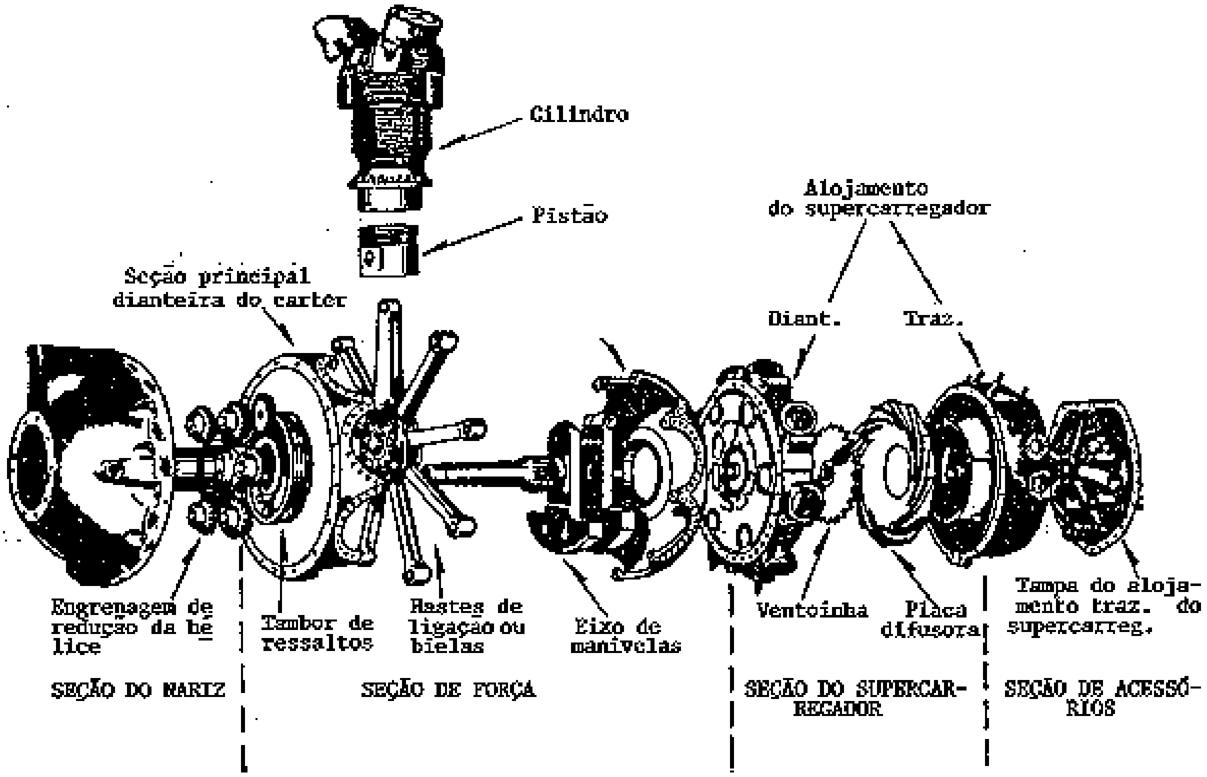

Cilindro
Pistão
Alojamento do supercarregador
Seção principal dianteira do carter
Diant.
Traz.
Engrenagem de redução da hélice
Tambor de ressaltos
Hastes de ligação ou bielas
Eixo de manivelas
Ventoinha
Placa difusora
Tampa do alojamento traz. do supercarreg.
SEÇÃO DO NARIZ
SEÇÃO DE FORÇA
SEÇÃO DO SUPERCARREGADOR
SEÇÃO DE ACESSÓRIOS

Figura 1-6 Seções do motor.

Seção do nariz

As formas da seção do nariz variam consideravelmente. Em geral, elas são cônicas ou arredondadas, de forma a manter o metal sob tensão ou compressão, ao invés de esforços cisalhantes.

Uma seção de nariz cônica, é utilizada frequentemente em motores de baixa potência de acionamento direto, porque não é requerido espaço extra para alojar as engrenagens de redução da hélice. É, geralmente fundido em liga de alumínio ou magnésio, uma vêz que a baixa potência desenvolvida e a utilização de hélice leve não requerem seção forjada, que é de custo mais elevado.

A seção do nariz nos motores que desenvolvem de 1.000 a 2.500 h é geralmente arredondada e, algumas vezes, contêm nervuras para mantê-la o mais rígido possível.

A liga de alumínio é o material amplamente utilizado devido à sua adaptação aos processos de forjamento, e suas características de absorver vibrações.

O projeto e construção da seção do nariz constituem um importante fator, pois ela está sujeita a uma ampla variação de forças de vibração. Por exemplo, se o mecanismo de válvulas estiver localizado na frente dos cilindros, a vibração e as forças que ocorrem nos tuchos e conjunto guia são aplicadas próximo à parte flangeada do cárter.

As forças criadas pelas engrenagens de redução da hélice são aplicadas ao cárter como um todo. Cuidadosas inspeções quanto à vibração são conduzidas durante os testes experimentais dos motores projetados mais recentemente, para observarmos que essas condições não irão tornar-se danosa durante toda a faixa de operação do motor.

A montagem do governador da hélice é variável. Em alguns motores, ele se localiza na seção traseira, muito embora isso complique sua instalação - especialmente se a hélice for operada ou controlada por pressão de óleo, devido à distância entre o governador e a hélice. Onde são utilizadas hélices operadas hidraulicamente, é prático instalar o governador na seção do nariz, o mais próximo possível da hélice, para reduzir o comprimento das passagens de óleo. O governador é então acionado ou através de dentes de engrenagem da periferia desse mecanismo ou por algum outro meio adequado.

Uma vez que a seção do nariz transmite forças muito variáveis para a seção principal ou seção de potência, ela deve ser fixada de maneira conveniente, para que possa transmitir as cargas com eficiência. Ela deve também fazer um contato adequado para proporcionar uma condução de calor rápida e uniforme, e, também, uma boa vedação, para evitar vazamento de óleo. Isso geralmente é conseguido através de juntas e parafusos.

Em alguns dos grandes motores, uma pequena câmara está localizada no fundo da seção do nariz para a coleta de óleo. Essa seção é chamada de cárter inferior ou coletor de óleo.

Seção de potência

Nos motores equipados com biela mestra bipartida e eixo de manivelas tipo maciço, a seção do cárter principal ou de potência pode ser maciça, geralmente de liga de alumínio. A parte frontal dessa seção é aberta quando o prato do diafragma, no qual o rolamento principal dianteiro é montado, for removido. Os pivôs podem ser removidos através dessa abertura por meio de um sacador disponível. A biela mestra é então removida, desmontando-se o terminal bipartido e tirando a haste através do furo do cilindro da biela mestra. Existe também, um motor equipado com essa montagem de eixo de manivelas e biela mestra que utiliza um cárter bipartido, cujas partes são unidas através de parafusos.

A seção principal bipartida (liga de alumínio ou magnésio) pode ser ligeiramente mais cara, porém permite melhor controle de qualidade da fundição ou forjamento. Essa seção geralmente é necessária, quando a biela mestra maciça e o eixo de manivelas do tipo bipartido são utilizados.

Essa parte do motor é comumente denominada seção de potência, porque é nela que o movimento alternativo do pistão é convertido em movimento rotativo do eixo de manivelas.

Devido às enormes cargas e forças do conjunto do eixo de manivelas, e da tendência dos cilindros de separarem o cárter, especialmente em condições extremas, quando ocorre a explosão do motor; a seção do cárter principal deve ser muito bem projetada e construída.

É aconselhável forjar essa seção em liga de alumínio, para obter uniformidade na densidade do metal e máxima resistência.

Os grandes motores utilizam uma seção principal em liga de aço forjado, a qual é ligeiramente mais pesada, porém apresenta resistência muito maior. O projeto de seções forjadas é, geralmente, de tal forma, que ambas as metades podem ser fabricadas no mesmo molde, de forma a diminuir o custo de fabricação. Nenhuma variação deverá ocorrer durante a operação de fabricação. As duas metades são unidas na linha central dos cilindros e presas por meio dos parafusos adequados e de alta resistência.

As superfícies usinadas, sobre as quais os cilindros são montados, são chamadas base dos cilindros. Elas dispõem dos meios de fixação dos cilindros ao cárter. A prática geral quanto à forma de fixar o flange do cilindro à base, consiste em montar prisioneiros em furos roscados no cárter.

Nos motores equipados com seção principal de aço, parafusos de cobertura estão sendo utilizados porque as roscas podem ser abertas em material mais resistente, que não sofra dilatação ou extensão, durante a instalação e remoção continua de corpos roscados. A parte interna das bases dos cilindros é algumas vezes chanfrada para permitir a instalação de um anel de vedação em volta da saia do cilindro, o qual provê selagem eficiente entre o cilindro e o cárter, evitando vazamento de óleo.

Tendo em vista que o óleo é arremessado no cárter, especialmente nos motores em linha invertida e radiais, as saias dos cilindros se estendem a uma distância considerável dentro da seção do cárter, para reduzir o fluxo de óleo no interior dos cilindros invertidos. O conjunto pistão e anel, naturalmente, deve ser montado de forma tal que o óleo expelido por eles irá salpicar diretamente sobre os próprios pistões e anéis. Como mencionado anteriormente, a seção do nariz é presa a um lado da unidade da seção principal, e a seção difusora é presa ao outro lado.

Seção difusora

A seção do difusor ou do compressor é geralmente fundida em liga de alumínio, muito embora, em alguns casos, a liga de magnésio mais leve seja utilizada.

Essa seção dispõe de flange em sua periferia para ligar o conjunto do motor a sua estrutura ou berço, destinados a ligar o motor à fuselagem das aeronaves monomotoras, ou à nacele da estrutura da asa nas aeronaves multimotoras. Os flanges podem ser de construção integral ou separável, como no caso dos berços flexíveis ou dinâmicos. O conjunto do berço suporta todo o motor, incluindo a hélice e, dessa forma, é projetado para prover ampla resistência quanto a rápidas manobras ou outras cargas.

Devido a dilatação e contração dos cilindros, as tubulações de admissão, as quais transportam a mistura da câmara difusora através da passagem da válvula de admissão, são montadas para prover uma junta flexível e que deve ser à prova de vazamento.

A pressão atmosférica sobre o lado externo do invólucro de um motor sem compressor, será maior que a pressão interna, especialmente, quando o motor estiver operando em marcha lenta. Se o motor for equipado com um compressor e operado em potência máxima, a pressão será consideravelmente maior interna que externamente ao invólucro.

Se a conexão da junta flexível tiver um pequeno vazamento, o motor pode girar em marcha lenta alta devido à mistura pobre. Se o vazamento for maior, não se conseguirá marcha lenta.

Com a manete toda aberta, um pequeno vazamento, provavelmente, não seria perceptível na operação do motor, mas a mistura ar/combustível poderia causar detonação ou danos nas válvulas e nas sedes das válvulas.

Em alguns motores radiais, as tubulações de admissão têm comprimento considerável; em alguns motores em linha, essas tubulações estão em ângulos retos com relação aos cilindros.Nesses casos, a flexibilidade das tubulações de admissão ou de suas montagens, elimina a necessidade da junta flexível.

Em qualquer caso, o sistema de indução deverá ser montado, de forma que não haja vazamento de ar nem altere a razão ar/combustível desejada.

Seção de acessórios

A seção de acessórios (traseira) é geralmente fabricada através do processo de fundição, e o material pode ser liga de alumínio ou magnésio ambos bastante utilizados.

Em alguns motores, essa seção é fundida em peça única, e provida de meios para fixação de acessórios, tais como magnetos, carburadores, bombas de combustível, óleo e vácuo, motores de partida, geradores, etc., nos diversos locais requeridos, de forma a facilitar o acesso. Outras adaptações consistem na fundição de liga de alumínio e uma cobertura fundida em magnésio, separadamente, na qual os montantes de fixação dos acessórios são montados.

A prática nos recentes projetos tem padronizado a montagem dos adaptadores para os diversos acessórios, de forma que eles sejam intercambiáveis entre os diversos tipos de motores. Por exemplo, a grande demanda de corrente elétrica nas grandes aeronaves e, o torque de partida mais elevado, requerido nos motores mais possantes tem resultado no aumento do tamanho dos motores de partida e geradores. Isso significa que um maior número de parafusos de fixação será necessário e, em alguns casos, a seção traseira reforçada.

Os eixos de acionamento de acessórios são montados em buchas de bronze, localizadas nas seções difusora e traseira. Esses eixos se prolongam pela seção traseira e são ligados a engrenagens, das quais se tira potência, ou a arranjos de acionamento que são ligados aos adaptadores de acessórios. Dessa forma, diversas razões de engrenagens podem ser montadas para dar a velocidade adequada para o magneto, bomba e outros acessórios, para se obter a sincronização correta ou o funcionamento adequado. Em alguns casos há uma duplicação dos acionadores, tais como o acionador do tacômetro, para conectar instrumentos instalados em locais separados.

A seção de acessórios prevê local de fixação para o carburador, bombas de injeção de combustível, bomba de combustível acionada pelo motor, gerador do tacômetro, gerador de sincronismo para o analisador do motor, filtro de óleo e válvula de alívio de pressão de óleo.

Trens de engrenagens dos acessórios

Trens de engrenagens, com engrenagens de dentes retos ou de dentes chanfrados, são usados em diferentes tipos de motores para acionar componentes e acessórios. As engrenagens de dentes retos são utilizadas geralmente para acionar os acessórios com cargas mais pesadas, aqueles que requerem jogo ou folga mínima no trem de engrenagens. As engrenagens de dentes chanfrados permitem posição angular de eixos principais curtos para os diversos suportes de acessórios.

Praticamente, todos os motores de alta potência são equipados com compressor. De 75 a 125HP pode ser requerido acionar o compressor. As forças de aceleração e desacelaração impostas ao trem de engrenagens do compressor, durante os avanços e recuos da manete, produz um dispositivo antichoque para aliviar as cargas excessivas. A prática corrente nos grandes motores radiais é usar a engrenagem principal de acionamento de acessórios, a qual é adaptada com diversas molas entre a borda da engrenagem e o eixo de acionamento. Esse dispositivo, chamado de engrenagem acionadora de acessórios, carregada por mola, permite absorção de forças elevadas, prevenindo os trens de engrenagens dos acessórios contra danos.

Quando um motor está equipado com um compressor de duas velocidades, a embreagem operada à pressão de óleo age como um dispositivo, absorvendo choques para proteger o trem de engrenagens do compressor.

Nos motores em linha e nos opostos de baixa potência, os trens de engrenagens são geralmente de montagem simples. Muitos desses motores utilizam acoplamentos de mola ou de borracha sintética, para proteger os trens de engrenagem do magneto e do gerador contra cargas excessivas.

Tipos em linha e opostos

Os cárteres utilizados nos motores com montagem de cilindros opostos ou em linha, variam de forma para os diferentes tipos de motores, porém, em geral, eles são aproximadamente cilíndricos. Um ou mais lados são facetados para servir de base, onde cilindros são presos por meio de parafusos ou de prisioneiros.

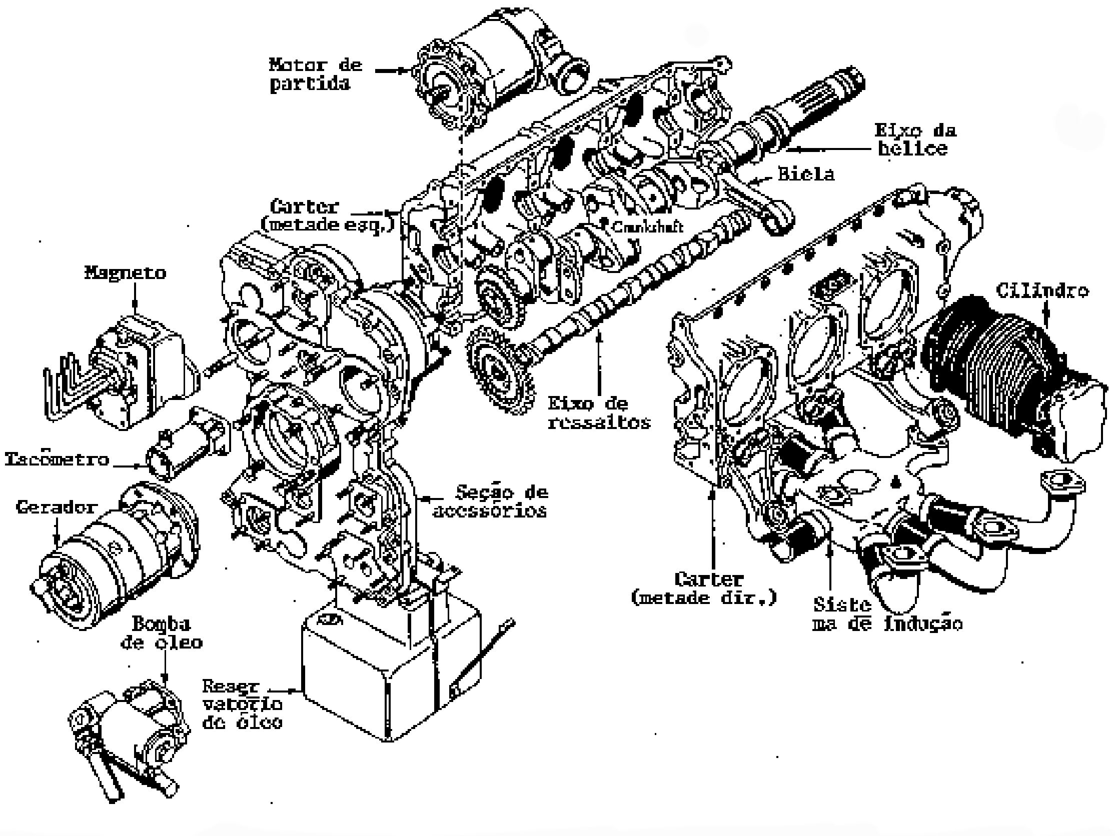


Figura 1-7 Vista explodida de um típico motor de cilindros opostos e seus componentes.

Essas superfícies trabalhadas de forma precisa são frequentemente referidas como base do cilindro.

O eixo de manivelas é montado em uma posição paralela ao eixo longitudinal do cárter e, é geralmente, suportado por meio de um rolamento principal entre cada curso. O rolamento principal do eixo de manivelas deve ser rigidamente apoiado no cárter. Isso geralmente é conseguido por meio de nervuras transversais no cárter, uma para cada rolamento principal. As nervuras formam uma parte integral da estrutura e, além de suportar os rolamentos principais, aumenta a resistência do invólucro como um todo.

O cárter está dividido em duas seções em um plano longitudinal. Essa divisão pode ser no plano do eixo de manivelas, de forma que metade do rolamento principal (e algumas vezes rolamentos do eixo de ressaltos) está montada numa seção do invólucro e a outra metade, na seção oposta (ver figura 1-7).

Um outro método consiste em dividir o invólucro, de maneira que os rolamentos principais sejam presos apenas a uma seção do invólucro, sobre a qual os cilindros estão presos, proporcionando dessa forma condições de remover a seção do cárter para inspeção sem alterar o ajuste do rolamento.

EIXOS DE MANIVELAS

O eixo de manivelas é a espinha dorsal dos motores alternativos. Ele está sujeito à maioria das forças desenvolvidas pelo motor. Seu objetivo principal, é transformar o movimento alternativo do pistão e da biela em movimento rotativo, para acionamento da hélice. O eixo de manivelas, como o próprio nome sugere, é um eixo composto de uma ou mais manivelas localizadas em pontos específicos ao longo do seu comprimento. As manivelas são feitas forjando-se protuberâncias em um eixo antes dele ser trabalhado. Tendo em vista que os eixos de manivelas tem que ser muito resistentes, eles são geralmente forjados em ligas muito resistentes, tais como aço cromo-níquel-molibdênio. O eixo de manivelas pode ser construído em uma ou em múltiplas peças. A figura 1-8 mostra dois tipos representativos de eixos de manivelas compactos, utilizados em motores de aeronaves. A construção de quatro manivelas pode ser utilizada, ou nos motores de quatro cilindros opostos, ou nos de quatro cilindros em linha.

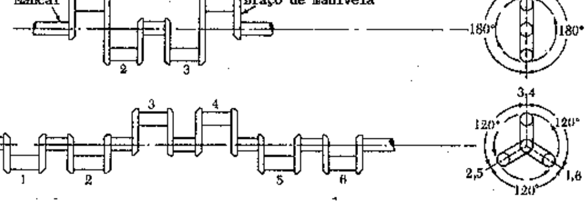


Figura 1-8 Eixos de manivela do tipo sólido.

Os eixos de seis manivelas são utilizados nos motores em linha de seis cilindros, motores em V de doze cilindros e opostos de seis cilindros.

Os eixos de manivelas dos motores radiais podem ser de manivela única; duas ou quatro manivelas , dependendo do motor, que pode ser do tipo de uma, duas ou quatro fileiras de cilindros.

A figura 1-9 mostra um eixo de manivelas de motor radial de uma manivela.

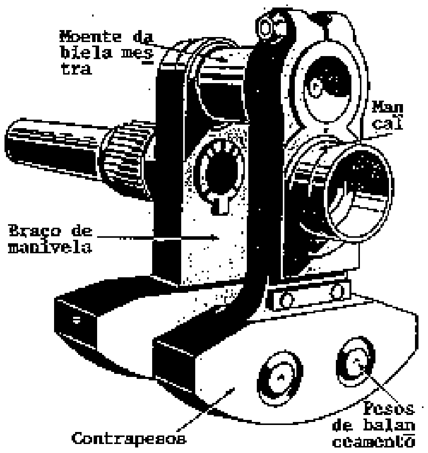


Figura 1-9 Eixo de manivelas de um motor radial de uma série de cilindros.

Independente do número de manivelas que ele tenha, cada eixo tem três partes principais: munhão, pino da manivela (moente) e braço da manivela. Muito embora não façam parte do eixo de manivelas, contrapesos e amortecedores são geralmente ligados a ele para reduzir as vibrações do motor.

O munhão é suportado por um rolamento principal que gira dentro dele. Ele serve como centro de rotação do eixo de manivelas e tem sua superfície endurecida para reduzir o desgaste. O moente é a seção à qual a biela está conectada. Ele está fora do centro do munhão principal e é comumente chamado de manivela.

Dois braços da face e um moente constituem uma manivela. Quando uma força é aplicada ao moente em qualquer direção, que não seja paralela ou perpendicular, e passando pela linha de centro do eixo de manivelas, irá acusar a rotação do eixo de manivelas. A superfície externa é endurecida por nitruração para aumentar sua resistência ao desgaste, e prover a superfície de contato do rolamento.

O moente é geralmente ôco. Isso reduz o peso total do eixo de manivelas e proporciona a passagem para transferência do óleo de lubrificação. O moente ôco também serve como uma câmara para coleta de borra, depósitos de carbono e outras matérias estranhas. A força centrífuga arremessa essas substâncias para fora da câmara, impedindo que elas alcancem a superfície do rolamento da biela. Em alguns motores a passagem é feita na cabeça da manivela, para permitir que o óleo do interior do eixo de manivelas salpique as paredes dos cilindros. O braço da manivela conecta o moente ao munhão principal. Em alguns projetos, a cabeça se estende além do munhão e leva um contrapeso para balancear o eixo de manivelas, o braço da manivela deve ser de construção robusta para obter a rigidez entre o moente e o munhão.

Em todos os casos, o tipo de eixo de manivelas e o número de moentes deve corresponder à montagem do cilindro do motor. A posição das manivelas no eixo, em relação a outras manivelas do mesmo eixo, é expressa em graus.

O eixo de manivelas mais simples é exatamente o de manivela única ou de 360º. Esse tipo é usado em motores radiais de uma só carreira de cilindros. Pode ser construído em uma ou duas peças. Dois rolamentos principais (um em cada extremidade) são requeridos quando esse tipo de eixo de manivelas é usado.

O eixo de dupla manivela ou 180º é utilizado nos motores radiais de dupla manivela. No motor radial uma manivela é requerida para cada carreira de cilindros.

Balanceamento do eixo de manivelas

Vibração excessiva em um motor, resulta não apenas em falha por fadiga da estrutura metálica, mas também causa rápido desgaste das partes móveis.

Em alguns exemplos, a vibração excessiva é causada pelo desbalanceamento do eixo de manivelas. Eixos de manivelas são balanceados estática e dinamicamente.

Um eixo de manivelas está estaticamente balanceado quando o peso de todo o conjunto de moentes, braço da manivela e contrapesos, está balanceado em volta do eixo de rotação.

Durante o teste de balanceamento estático do eixo de manivelas, ele é colocado sobre dois cutelos. Se o eixo tender a girar através de qualquer posição durante o teste, estará fora de balanceamento estático. Um eixo de manivelas está dinamicamente balanceado, quando todas as forças criadas pela sua rotação e impulsões estão balanceados entre si, de maneira que pouca ou nenhuma vibração é produzida quando o motor está funcionando.

Para reduzir ao mínimo a vibração durante o funcionamento do motor, amortecedores dinâmicos são incorporados ao eixo de manivelas.

Um amortecedor dinâmico é simplesmente um pêndulo, o qual é bem preso ao eixo de manivelas, de forma que ele fique livre para se mover num pequeno arco. Ele está incorporado ao conjunto de contrapesos.

Alguns eixos de manivelas incorporam dois ou mais desses conjuntos, cada um ligado a um diferente braço da manivela.

A distância em que o pêndulo se move, e sua frequência de vibração, correspondem à frequência dos impulsos de potência do motor.

Quando ocorre a frequência de vibração do eixo de manivelas, o pêndulo oscila fora de tempo, reduzindo, dessa forma, a vibração ao mínimo.

Amortecedores dinâmicos

A construção do amortecedor dinâmico utilizado em um motor, consiste de um contrapeso de aço com ranhuras, conectado ao braço da manivela.

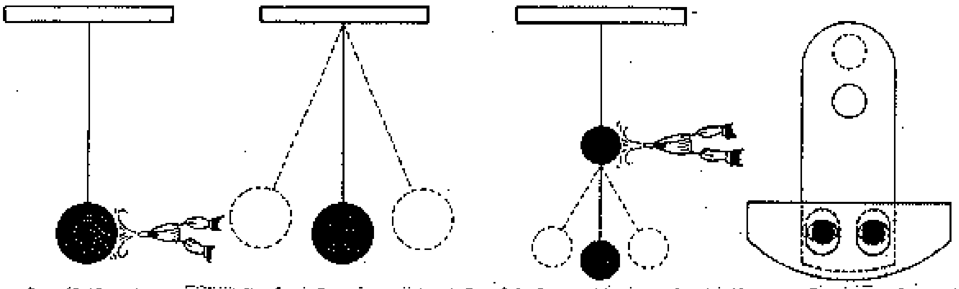
Dois pinos de aço em forma de carretel se prolongam pela ranhura, e passam através dos tubos superdimensionados nos contrapesos e braço da manivela.

A diferença nos diâmetros entre os pinos e os furos provoca um efeito de pêndulo. Uma analogia do funcionamento de um amortecedor dinâmico é mostrado na figura 1-10.

BIELAS

As bielas são elos que transmitem forças entre o pistão e o eixo de manivelas.

Elas devem ser suficientemente fortes para permanecerem rígidas sob cargas, e ainda serem leves o bastante para reduzir as forças de inércia, as quais são produzidas quando a haste e pistão param, invertem a direção e começam novo movimento ao fim de cada curso.



Se em um pendulo for dado uma serie de impulsos a uma velocidade correspondente à sua frequencia natural para simular uma força de impulso em um motor, ele começará a balançar, ou vibrar, para trás e para diante dos impulsos. Um outro pendulo, suspenso no primeiro, absorverá os impulsos, mantendo o primeiro estacionado. O amortecimento dinamico é um pequeno pendulo pendurado no eixo de manivelas e modulado para a freqüencia da força dos impulsos, para absorver a vibraçao da mesma maneira.

Figura 1-10 Princípios de um amortecedor dinâmico.

Existem três tipos de bielas. (1) Tipo plana (2) Tipo forquilha e pá; (3) Biela mestra e articulada. (ver figura 1-11.)

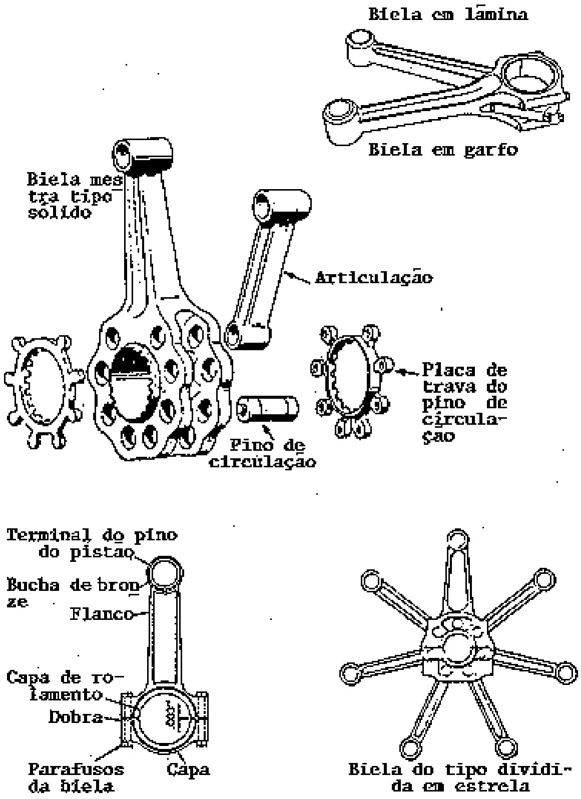


Figura 1-11 Conjunto de bielas.

Conjunto de biela mestra e articulada

O conjunto de biela mestra e articulada é comumente usado em motores radiais. Em um motor radial, o pistão do cilindro número um em cada carreira, é conectado ao eixo de manivelas por meio da biela mestra. Todos os outros pistões da fileira são conectados à biela mestra por meio de uma biela articulada.

Em um motor de 18 cilindros, o qual tem duas carreiras, existem duas bielas mestras e 16 bielas articuladas. As articuladas são fabricadas em liga aço forjado, com seção reta na forma de I ou H. Buchas de bronze são prensadas nos olhais em cada extremidade da biela articulada, para alojar os rolamentos do pino de articulação da biela e do pino do êmbolo.

A biela mestra serve como articulação de ligação entre o pino do pistão e o moente. O terminal do pino da manivela, contém o rolamento do moente ou biela mestra. Flanges em torno do terminal, possibilitam a ligação das bielas articuladas. Estas são ligadas à biela mestra através de pinos de articulação, os quais são prensados em furos nos flanges da biela mestra durante a montagem. Um mancal plano, geralmente chamado de bucha do pino do pistão está instalado no terminal do pistão da biela mestra para receber o pino do pistão.

Quando um eixo de manivelas dos tipos fenda canelada ou fenda em braçadeira é empregado, é utilizada uma biela mestra do tipo inteiriça. As bielas mestra e articulada são montadas, e então, instaladas no moente da biela; as seções do eixo de manivelas são portanto, unidas. Em motores que usam o eixo de manivelas do tipo inteiriço, o terminal da biela mestra é em fenda, como o mancal. A parte principal da biela mestra está instalada sobre o moente; então o mancal é colocado no lugar e preso à biela mestra.

Os centros dos pinos de articulação não coincidem com o centro do moente da biela. Então, enquanto o moente descreve um círculo verdadeiro para cada rotação do eixo de manivelas, os centros dos pinos de articulação descrevem um caminho elíptico (ver figura 1-12). Os caminhos elípticos são simétricos em relação a uma linha central do cilindro da biela mestra. Pode ser notado que os diâmetros maiores das elípses não são os mesmos. Assim, as bielas articuladas terão variação de ângulo em relação ao centro do braço de manivela.

Devido à variação de ângulo das bielas articuladas, e ao movimento elíptico dos pinos de articulação; os pistões não se movem em cursos iguais em cada cilindro, para em dado número de graus do movimento do braço de manivelas. Essa variação na posição do pistão entre cilindros pode ter efeito considerável sobre a operação do motor.

Para minimizar o efeito desses fatores sobre a válvula e o tempo de ignição, os furos do pino de articulação no flange da biela mestra não são equidistantes do centro do moente da biela, compensando dessa forma uma extensão do efeito do ângulo da biela articulada.

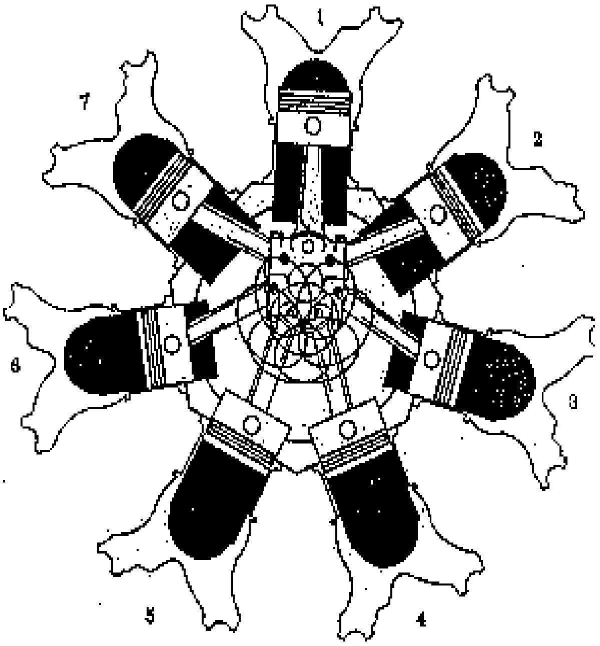


Figura 1-12 Percurso elíptico dos pinos de circulação num conjunto de bielas.

Outro método de minimizar os efeitos adversos sobre a operação do motor, é utilizar um magneto compensado. Nesse magneto, o came interruptor (brecker cam) tem um número de ressaltos igual ao número de cilindros do motor. Para compensar a variação na posição do pistão, devido ao ângulo da biela articulada, os ressaltos do came interruptor são estabelecidos com espaçamentos desiguais.

Isso permite que os contatos interruptores abram quando o pistão estiver na posição correta de queima. Esse assunto será discutido mais tarde no capítulo 4, tempo de ignição.

Pinos de articulação

Os pinos de articulação são de construção sólida, exceto quanto às passagens de óleo usinadas nos pinos, através das quais são lubrificadas as buchas. Esses pinos podem ser instalados por pressão nos furos dos flanges da biela mestra, de forma a evitar que eles girem.

Pinos de articulação podem também ser instalados com um encaixe frouxo, de forma que eles possam girar nos furos dos flanges das bielas mestras e, também, nas buchas das hastes articuladas. Esses são chamados de “pinos de articulação flutuantes".

Em cada tipo de instalação, uma chapa em cada lado retém o pino de articulação, evitando seu movimento lateral.

Biela plana

As bielas são usadas nos motores opostos e em linha. A extremidade ligada ao moente é encaixada com um mancal com capa ou em fenda. Os mancais com capa são presos através de parafusos.

Para manter o balanceamento e a folga apropriados, as bielas devem sempre ser reinstaladas no mesmo cilindro e na mesma posição relativa.

Biela tipo forquilha e pá

A biela tipo forquilha e pá, é um conjunto usado inicialmente nos motores tipo em V. A biela bifurcada é dividida no terminal do pivô para prover espaço para a fixação da lâmina entre os pinos. Um mancal simples bi-partido é usado na extremidade do braço de manivela.

PISTÕES

O pistão de um motor alternativo é uma parte do cilindro que se move para baixo e para cima dentro desse cilindro de aço. O pistão age como uma parede móvel dentro da câmara de combustão.

Conforme o pistão se move para baixo no cilindro, ele aspira a mistura ar/combustível.

Na medida em que ele se move para cima, comprime a carga, ocorre a ignição e os gases em expansão forçam o pistão para baixo. Essa força é transmitida para o eixo de manivelas através da biela.

No golpe de retorno, o pistão força os gases de escapamento para fora do cilindro.

Fabricação do pistão

A maioria dos pistões de motores de aeronaves são usinados de forjamentos de liga de alumínio.

Ranhuras são usinadas em suas faces externas para receberem os anéis do pistão e, aletas de refrigeração, estão instaladas em sua parte interna para grandes transferências de calor para o óleo do motor.

Os pistões podem ser do tipo sapata ou êmbolo; ambos são mostrados na figura 1-13.

Os pistões do tipo sapata não são utilizados nos motores modernos de alta potência, porque eles não proporcionam adequada resistência ao desgaste. A face superior do pistão, ou cabeça, pode ser plana, convexa ou côncava.

Rebaixos podem ser usinados na cabeça do pistão, afim de evitar interferência com as válvulas.

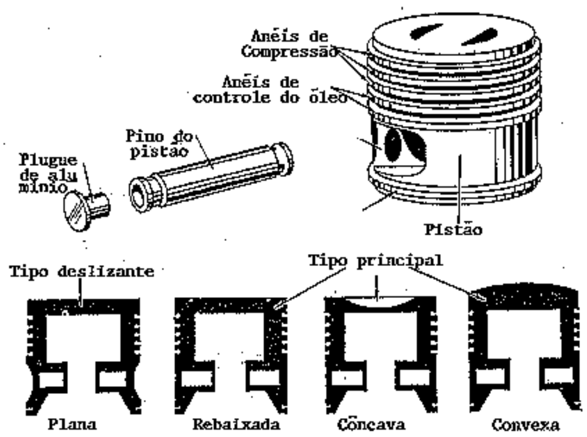


Figura 1-13 Conjunto de pistão e tipos de pistão.

Seis ranhuras podem ser usinadas em volta do pistão para acomodar os anéis de compressão e de óleo. (ver figura 1-13.) Os anéis de compressão estão instalados nas três ranhuras superiores; os anéis de controle de óleo estão instalados imediatamente acima do pino do pistão.

O pistão é geralmente furado nas ranhuras dos anéis de controle de óleo, para permitir que o óleo excedente raspado das paredes do cilindro, pelos anéis de controle de óleo retorne para o cárter.

Um anel raspador de óleo está instalado na base da parede do pistão ou saia, para evitar o consumo excessivo de óleo. As partes da parede do pistão que estão entre cada par de ranhura são chamados de anel plano.

Além de agir como um guia para a cabeça do pistão, a saia incorpora o orifício para passagem do pino do pistão. Os orifícios são construídos, de forma a permitir que as pesadas cargas sobre a cabeça do pistão sejam transferidas para o pino do pistão.

Pino do pistão

O pino do pistão une o pistão à biela. É usinado na forma de tubo, de aço-níquel, forjado, cementado e retificado. O pino do pistão é, algumas vezes, chamado de pino de punho, devido à similaridade entre os movimentos relativos do pistão e da biela com os do braço humano. O pino do pistão usado nos motores de aeronaves modernas são do tipo completamente flutuante, assim chamados porque o pino está livre para girar nos mancais, tanto do pistão quanto da biela.

O pino do pistão tem que ser contido para evitar riscos nas paredes do cilindro. Nos motores primitivos, molas helicoidais eram instaladas nas ranhuras dos pinos do pistão em cada extremidade. A prática corrente, é instalar um bujão de alumínio relativamente macio, nas extremidades dos pinos, para proporcionar uma boa superfície de mancal em contato com as paredes dos cilindros.

ANÉIS DE SEGMENTO

Os anéis de segmento evitam o vazamento de gases sob pressão e, reduzem ao mínimo, a infiltração de óleo na câmara de combustão. Os anéis se ajustam às ranhuras do pistão, mas se expandem para fazer pressão sobre as paredes dos cilindros. Quando lubrificados adequadamente, os anéis constituem um selo efetivo de gases.

Fabricação dos anéis de segmento

A maioria dos anéis de segmento são fabricados com ferro fundido de altos teores. Após a fabricação, eles são retificados para o corte transversal desejado. Eles são então seccionados, de forma que possam deslizar sobre a face externa do pistão e nas ranhuras, as quais são usinadas nas paredes dos pistões. Uma vez que seu propósito é vedar a folga entre o pistão e a parede do cilindro, eles têm que se ajustar na parede do cilindro, o suficiente para torná-lo hermeticamente fechado. Eles devem exercer pressões iguais em todos os pontos das paredes dos cilindros, e um fechamento hermético contra os lados das ranhuras dos anéis.

Ferro fundido cinzento é frequentemente mais usado na fabricação de anéis de segmento. Contudo, muitos outros materiais têm sido tentados. Em alguns motores, são usados anéis de aço macio cromado na ranhura superior de compressão, porque esses anéis resistem melhor às altas temperaturas presentes nesse ponto.

Anéis de compressão

A finalidade dos anéis de compressão é evitar o escapamento de gases através do pistão, durante a operação do motor. Eles são colocados nas ranhuras, imediatamente abaixo da cabeça do pistão.

O número de anéis de compressão, utilizados em cada pistão, é determinado pelo tipo de motor e de seu projeto, embora a maioria dos motores de aeronaves usem dois anéis de compressão, além de um ou mais anéis de controle de óleo.

A seção transversal dos anéis é retangular ou em forma de cunha com uma face cônica. A face cônica apresenta uma estreita borda de mancal para a parede do cilindro, que ajuda a reduzir a fricção e proporcionar melhor selagem.

Anéis de controle de óleo

Os anéis de controle de óleo são colocados nas ranhuras, imediatamente abaixo dos anéis de compressão, e acima das cavidades dos pinos do pistão. Pode haver um ou mais anéis de controle de óleo por pistão. Dois anéis podem ser instalados na mesma ranhura ou em ranhuras separadas.

Os anéis de controle de óleo regulam a espessura do filme de óleo sobre a parede do cilindro. Se entrar muito óleo na câmara de combustão, ele será queimado e deixará uma fina camada de carbono sobre as paredes da câmara de combustão, na cabeça do pistão, velas e cabeça das válvulas.

Esse carbono pode causar o emperramento das válvulas ou dos anéis, se ele penetrar nas ranhuras dos anéis ou nas guias das válvulas. Além disso, o carbono pode causar falha das velas, bem como detonação, pré-ignição ou excessivo consumo de óleo.

Para permitir que o óleo excedente retorne ao cárter, são usinados furos nas ranhuras dos anéis, ou nas regiões próximas dessas ranhuras.

Anel raspador de óleo

O anel raspador de óleo, geralmente tem uma face chanfrada, e está instalado em uma ranhura no fundo da saia do pistão. O anel está instalado com a face raspadora para fora da cabeça do pistão ou na posição reversa, dependendo da posição do cilindro e da série do motor. Na posição reversa o anel raspador retém o óleo em excesso acima dele, no golpe ascendente do pistão, e esse óleo, é retornado para o cárter através dos anéis de controle de óleo, no golpe descendente.

CILINDROS

A parte do motor na qual a potência é desenvolvida, é chamada de cilindro. O cilindro provê a câmara de combustão onde ocorrem a queima e a expansão dos gases, e aloja o pistão e a biela.

Existem quatro fatores principais que precisam ser considerados no projeto e construção do conjunto de um cilindro. São eles:

(1) o cilindro tem que ser suficientemente forte para resistir às pressões internas, desenvolvidas durante a operação do motor.

(2) tem que ser construído de um metal leve para diminuir o peso do motor.

(3) tem que possuir boas propriedades de condução de calor, para um eficiente resfriamento.

(4) tem que ser comparativamente fácil e barato quanto à fabricação, inspeção e manutenção.

A cabeça é produzida unitariamente para cada cilindro nos motores refrigerados a ar, ou é fundida "em bloco"(todas as cabeças em um bloco) para motores refrigerados a líquido. A cabeça de cilindro de um motor refrigerado a ar é geralmente feita de liga de alumínio, porque essa liga constitui um bom condutor de calor, e seu baixo peso reduz o peso total do motor.

Cabeças de cilindro são forjadas ou fundidas sob pressão para maior resistência. A forma interna da cabeça de um cilindro pode ser plana, semi-esférica ou na forma de telhado.

O tipo semi-esférico tem sido satisfatório porque é mais forte, e ajuda numa expulsão mais rápida e mais completa dos gases de escapamento.

Os cilindros usados nos motores refrigerados a ar são do tipo válvula sobre a cabeça, mostrado na figura 1-14. Cada cilindro é um conjunto de duas partes principais: (1) a cabeça do cilindro, e (2) o corpo do cilindro. Na montagem, a cabeça do cilindro é expandida através de aquecimento, e então roscada no corpo do cilindro que foi resfriado. Então, quando a cabeça esfria e se contrai e o corpo é aquecido e se expande, resulta em uma junta hermeticamente fechada.

Enquanto a maioria dos cilindros usados são construídos dessa maneira, alguns são construídos em peça única, em liga de alumínio, fundidos em areia. A cavidade do pistão de um cilindro fundido em areia é presa a uma camisa de aço, a qual se estende por toda a seção do corpo do cilindro e se projeta abaixo do flange. Essa camisa é facilmente removida, e outra nova, pode ser instalada em seu lugar.

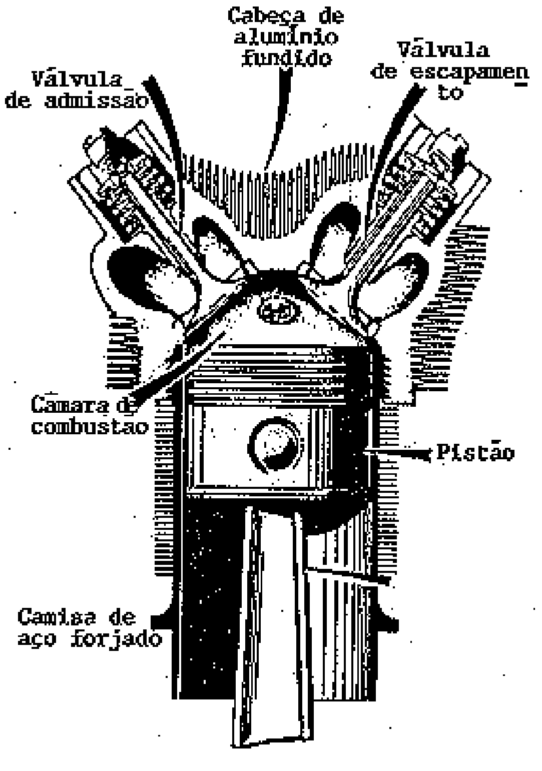


Figura 1-14 Vista em corte de um conjunto de cilindro.

Cabeças de cilindro

A finalidade da cabeça do cilindro é prover um lugar para a combustão da mistura ar/combustível, e dar ao cilindro maior condutividade de calor para uma adequada refrigeração.

A mistura ar/combustível é inflamada pela centelha na câmara de combustão e, dá início à queima, quando o pistão passa através do ponto morto superior, no tempo de compressão.

A carga inflamada é rapidamente expandida a essa altura, e a pressão é aumentada, de forma que, assim que o pistão passar através do ponto morto superior, ele seja impelido para baixo no tempo de potência.

As passagens das válvulas de admissão e escapamento estão localizadas na cabeça do cilindro, junto com as velas e mecanismos das válvulas.

Após a fundição, as buchas das velas, guias de válvulas, buchas dos balancins e sede das válvulas, são instaladas na cabeça do cilindro. As aberturas para as velas podem conter buchas de bronze ou aço, que são contraídas e atarrachadas nessas aberturas.

Muitos motores correntemente fabricados utilizam velas com roscas postiças ("heli-coil") de aço inoxidável.

Guias de válvulas de bronze ou aço, são geralmente contraídos ou roscados em aberturas usinadas na cabeça do cilindro, para prover guias para as hastes das válvulas.

As guias estão geralmente localizadas a um determinado ângulo, com a linha de centro do cilindro. As sedes das válvulas são anéis circulares de metal endurecido, o qual protege o metal, relativamente macio, da cabeça do cilindro, da ação de martelamento das válvulas e dos gases de escapamento.

As cabeças de cilindro dos motores refrigerados a ar estão sujeitas a temperaturas extremas. É portanto, necessário prover adequadas áreas com aletas de refrigeração, e utilizar metais que conduzam calor rapidamente. As cabeças de cilindro de motores refrigerados a ar são geralmente fundidas ou forjadas isoladamente. Liga de alumínio é utilizada em sua fabricação, por diversas razões.

Essa liga se adapta bem à fundição e à usinagem de aletas fundas e com pouco espaçamento, e, é mais resistente que a maioria dos metais ao ataque corrosivo do chumbo tetraetílico presente na gasolina.

As grandes melhorias na refrigeração a ar têm resultado da redução da espessura das aletas e do aumento de suas profundidades. Com isso, a área das aletas tem sido aumentada de aproximadamente 1200 para mais de 7500 polegadas quadradas por cilindro, nos motores modernos. Aletas de refrigeração são afiladas de 0,090" na base para 0,060" nas pontas.

Devido à diferença de temperatura entre as diversas seções da cabeça do cilindro, é necessário prover maior área de aletas em umas seções que em outras. A região da válvula de escapamento é a parte mais quente da superfície interna; por isso, maior área de aletas deve prover a face externa do cilindro, nessa seção.

Corpo do cilindro

Em geral, o corpo do cilindro no qual o pistão trabalha, tem que ser fabricado de um material de alta resistência, geralmente aço. Ele tem que ser o mais leve possível, além de possuir as características apropriadas para operação em altas temperaturas. Ele tem que ser fabricado com bom material de qualidade e possuir alta resistência à tensão.

O corpo do cilindro é fabricado de liga de alumínio forjado, com a face interna endurecida para resistir ao desgaste provocado pelo pistão e pelos anéis, os quais deslizam apoiados nele.

Esse endurecimento é, geralmente feito, expondo-se o aço à amônia ou ao cianureto, enquanto ele estiver muito quente.

O aço absorve nitrogênio, o qual forma ferro nitrurado sobre a superfície exposta. Como resultado desse processo, o metal passa a ser chamado de nitretado.

Em alguns exemplos, o corpo tem roscas na superfície externa de uma extremidade, para que ele possa ter a cabeça rosqueada. Alguns corpos de cilindro, refrigerados a ar, possuem aletas de alumínio substituíveis, enquanto outros têm aletas usinadas, como parte integrante desse corpo.

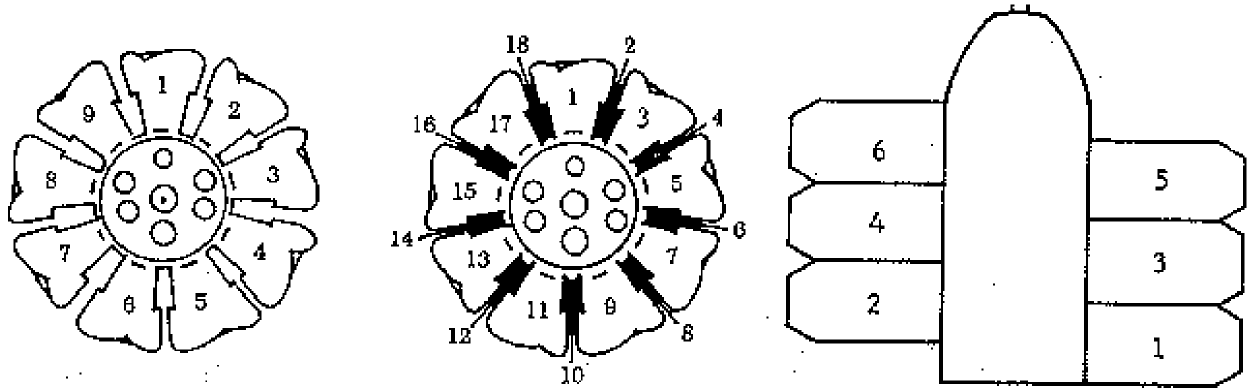
NUMERAÇÃO DOS CILINDROS

Ocasionalmente, é necessário referir-se ao lado esquerdo ou direito de um motor, ou a um particular cilindro. Dessa forma faz-se necessário conhecer as direções do motor, e como os cilindros são numerados. A ponta do eixo da hélice do motor é sempre a parte dianteira e a extremidade dos acessórios é a parte traseira, independentemente de como o motor tenha sido instalado na aeronave. Quando nos referimos ao lado direito ou esquerdo de um motor, é porque olhamos da seção traseira ou de acessórios. Visto dessa posição, a rotação do eixo de manivelas é referido como horário ou anti-horário.

Cilindros de motores radiais são numerados no sentido horário quando vistos da seção de acessórios. Os cilindros dos motores em linha ou em V são conhecidos como séries direita e esquerda, quando vistas da parte dos acessórios.

A numeração dos cilindros de um motor é mostrada na figura 1-15.

A numeração dos cilindros de motores opostos mostrado, começa com o direito traseiro como número 1 e o esquerdo traseiro como número 2. O situado adiante do número 1 é o número 3; o adiante do número 2 é o número 4, e assim por diante.



Radial de série simples

Radial de série dupla

Cilindros opostos

Figura 1-15 Numeração dos cilindros dos motores.

A numeração dos cilindros de motores opostos não segue um padrão. Alguns fabricantes numeram seus cilindros a partir da traseira, e outros, da parte dianteira do motor. Recorremos sempre ao manual apropriado do motor, para determinar o sistema de numeração correto utilizado pelo fabricante.

Os cilindros de motores radiais com uma só carreira de cilindros, são numerados no sentido horário, quando vistos da parte traseira. O cilindro número 1 é o da parte superior do motor. Em motores com duas carreiras de cilindros, é utilizado o mesmo sistema, onde o número 1 é o cilindro da parte superior do motor, na fileira traseira. Desta forma, todos os cilindros ímpares estão na fileira traseira e todos os cilindros pares, na dianteira.

ORDEM DE FOGO

A ordem de fogo de um motor, é a sequência na qual o tempo motor ocorre nos diferentes cilindros. A ordem de fogo é projetada para proporcionar o balanceamento, e para eliminar a vibração ao máximo possível.

Nos motores radiais, a ordem de fogo tem que seguir um padrão especial, uma vez que os impulsos provocados pela explosão têm que seguir o movimento do braço de manivelas durante sua rotação.

Nos motores em linha, as ordens de fogo podem variar fazendo existir diferentes arranjos de ordem de fogo, de forma que a força das explosões nos cilindros seja igualmente distribuída ao longo do eixo de manivelas.

Os motores em linha de seis cilindros, geralmente têm a ordem de fogo 1-5-3-6-2-4. A ordem de fogo dos motores opostos, pode geralmente, ser listada em pares de cilindros, conforme cada par queime de um lado e do outro do rolamento principal. A ordem de fogo dos motores opostos de 6 cilindros é 1-4-5-2-3-6. A ordem de fogo de um modelo oposto de 4 cilindros é 1-4-2-3, porém em outro modelo é 1-3-2-4.

Motores radiais de fileira única

Nos motores radiais de uma só fileira de cilindros, primeiramente todos os cilindros ímpares queimam em sucessão numérica, depois queimam em sucessão numérica, os cilindros pares.

Nos motores radiais de 5 cilindros, por exemplo, a ordem de fogo é 1-3-5-2-4, e nos motores radiais de 7 cilindros é 1-3-5-7-2-4-6. A ordem de fogo em um motor radial de 9 cilindros é 1-3-5-7-9-2-4-6-8.

Motores radiais de duas carreiras de cilindros

Nos motores radiais de duas carreiras de cilindros, a ordem de fogo é de certa forma complicada. A ordem de fogo é arranjada com o impulso de fogo ocorrendo no cilindro de uma carreira, e então, no cilindro da outra carreira. Dessa forma, a queima de dois cilindros da mesma carreira nunca ocorre de forma sucessiva.

Um método fácil de calcular a ordem de fogo de um motor radial de duas fileiras, 14 cilindros, é começar com qualquer número de 1 a 14, e adicionar 9 ou subtrair 5 (esses são chamados de números de ordem de fogo), quaisquer que sejam, darão uma ordem de fogo entre 1 e 14, inclusive. Por exemplo, começando com 8, não pode ser adicionado 9, uma vez que a resposta seria maior que 14; dessa forma, subtraimos 5 de 8 para obtermos 3; adicionamos 9 ao 3 para obtermos 12; subtraímos 5 de 12 e obtemos 7; subtraimos 5 de 7 para obtermos 2, e assim por diante.

Os números da ordem de fogo de um motor radial de 18 cilindros e duas fileiras são 11 e 7; isto é, começando com qualquer número entre 1 e 18 adicionamos 11 ou subtraimos 7. Por exemplo, começando com 1, adicionamos 11 para obtermos 12; 11 não pode ser adicionado ao 12, porque o total ultrapassaria 18, então, subtraimos 7 para obtermos 5, adicionamos 11 ao 5 para obtermos 16; subtraimos 7 do 16 para se obter 9, subtraimos 7 do 9 para se obter 2; adicionamos 11 para se obter 13; e continuamos o processo para os 18 cilindros.

VÁLVULAS

A mistura ar/combustível entra nos cilindros através das passagens das válvulas de admissão, e os gases queimados são expelidos através das passagens das válvulas de escapamento.

A cabeça de cada válvula abre e fecha essas passagens nos cilindros. As válvulas utilizadas em motores de aeronaves são do tipo gatilho convencional. As denominações dos tipos de válvulas são também em função de sua forma e, são ainda, chamadas de cogumelo ou tulipa, devido a sua semelhança com a forma dessas plantas.

A figura 1-16 ilustra os diversos tipos e formas dessas válvulas.

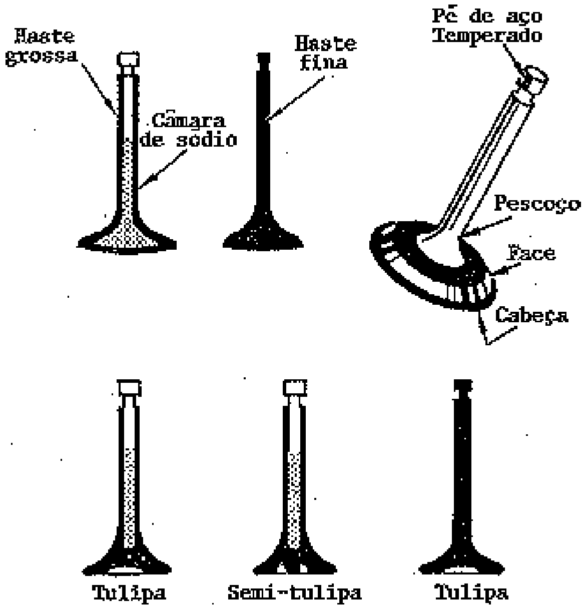


Figura 1-16 Tipos de válvulas.

Construção das válvulas

As válvulas nos cilindros do motor de uma aeronave estão sujeitas a altas temperaturas, corrosão e tensão de operação; com isso, a liga metálica nas válvulas têm que resistir a todos esses fatores.

Devido ao fato das válvulas de admissão trabalharem em temperaturas mais baixas que as temperaturas das válvulas de escapamento, elas podem ser fabricadas de aço cromo-níquel. As válvulas de escapamento são geralmente fabricadas de nicromo, silcrômo ou aço cobalto-cromo.

A cabeça das válvulas tem uma face retificada, a qual forma um selo contra a sede na cabeça do cilindro, quando a válvula está fechada. A face da válvula é geralmente retificada para um ângulo de 30º ou 45º. Em alguns motores a face da válvula de admissão é retificada para um ângulo de 30º e a face da válvula de escapamento, retificada para um ângulo de 45º.

As faces das válvulas são frequentemente mais duráveis por meio da aplicação de um material denominado estelita, cerca de 1/16" dessa liga é soldada à face da válvula, e retificada para o ângulo correto. A estelita é resistente à corrosão por altas temperaturas e, também resiste ao choque e desgaste, associados à operação da válvula. Alguns fabricantes de válvulas usam um revestimento de nicromo. O nicromo é utilizado com a mesma finalidade da estelita.

A haste da válvula tem sua superfície endurecida para resistir ao desgaste causado pelo seu deslocamento atravéis da guia de válvula. O pescoço é a parte que forma a junção entre a cabeça e a haste. A extremidade da válvula é endurecida para resistir ao martelamento do balancim, quando ele abre a válvula. Uma ranhura usinada na haste, próximo à extremidade, recebe o anel freno dela. Esse mecanismo forma uma trava para prender a arruela da mola de retenção no lugar.

Algumas válvulas de admissão e de escapamento são ocas e, parcialmente, cheias com sódio metálico. Esse material é utilizado porque é um excelente condutor de calor. O sódio irá fundir a aproximadamente 110ºC, e o movimento alternativo da válvula faz circular o sódio líquido, facilitando a retirada de calor da cabeça da válvula para a haste, onde é dissipado atráves da guia da cabeça do cilindro e das aletas de refrigeração. Então, a temperatura de operação da válvula pode ser reduzida tanto a 167ºC como a 230ºC.

Sob nenhuma circunstância deve uma válvula cheia de sódio ser cortada, ou sujeita a tratamento, o qual possa causar ruptura. A exposição do sódio, dessas válvulas ao ar exterior, irá resultar em fogo ou explosão com possíveis ferimentos no pessoal.

As válvulas de admissão comumente mais utilizadas, têm haste sólida, e as cabeças são na forma plana ou de tulipa. Válvulas de admissão, para motores de baixa potência, são geralmente de cabeça plana.

Em alguns motores, a válvula de admissão pode ser do tipo tulipa, e ter uma haste menor que a haste da válvula de escapamento, ou pode ser similar à da válvula de escapamento, mas ter hastes e cabeça sólidas. Muito embora essas válvulas sejam similares, elas não são intercambiáveis, uma vez que as suas faces são construídas de materiais diferentes. A válvula de admissão tem, geralmente, um serrilhado na extremidade para identificá-la.

MECANISMO DE OPERAÇÃO DA VÁLVULA

Para que um motor alternativo funcione de forma apropriada, cada válvula deve abrir no tempo certo, permanecer aberta pelo espaço de tempo requerido e fechar no tempo requerido.

As válvulas de admissão são abertas antes do êmbolo ou pistão atingir o ponto morto superior, e as válvulas de escapamento permanecem abertas após o ponto morto superior.

Em um instante particular, contudo, ambas as válvulas são abertas ao mesmo tempo (fim do escapamento e início da admissão).

Esse claro da válvula permite melhor eficiência volumétrica e mais baixas temperaturas de operação de cilindros mais baixas. Esse sincronismo das válvulas é controlado pelo seu mecanismo de operação.

O curso da válvula (distância que a válvula é desalojada de sua sede), e a duração (tempo que a válvula permanece aberta) são determinados pela forma do ressalto de came.

Ressaltos típicos estão ilustrados na figura 1-17. A parte do ressalto que pouco a pouco dá início ao mecanismo de operação da válvula é chamada rampa ou degrau.

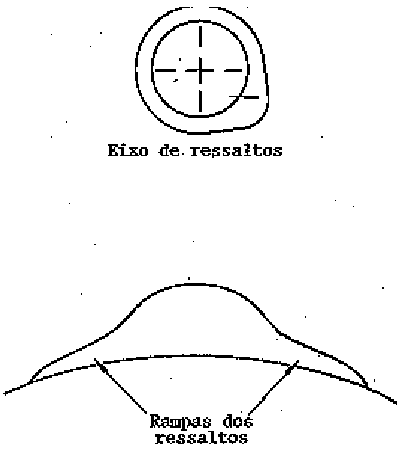

Eixo de ressaltos
Rampas dos ressaltos

Figura 1-17 Tipos de ressaltos.

A rampa é usinada em cada lado do ressalto, para facilitar o contato do balancim com a extremidade da válvula, reduzindo, dessa forma, a carga de choque que de outra forma ocorreria.

O mecanismo de operação da válvula consiste de um anel ou eixo, equipado com ressaltos, os quais trabalham contra um rolete do tucho (ver figura 1-18 e 1-19).

O tucho, aciona uma haste impulsora que, por sua vez, atua no balancim que abre a válvula.

As molas, que deslizam sobre as hastes das válvulas e, que são mantidas no lugar pela arruela de retenção da mola e pela ranhura da haste, fecham cada válvula e, empurram o mecanismo da válvula na direção oposta, quando o rolete do tucho rola ao longo da baixa seção do anel de ressalto.

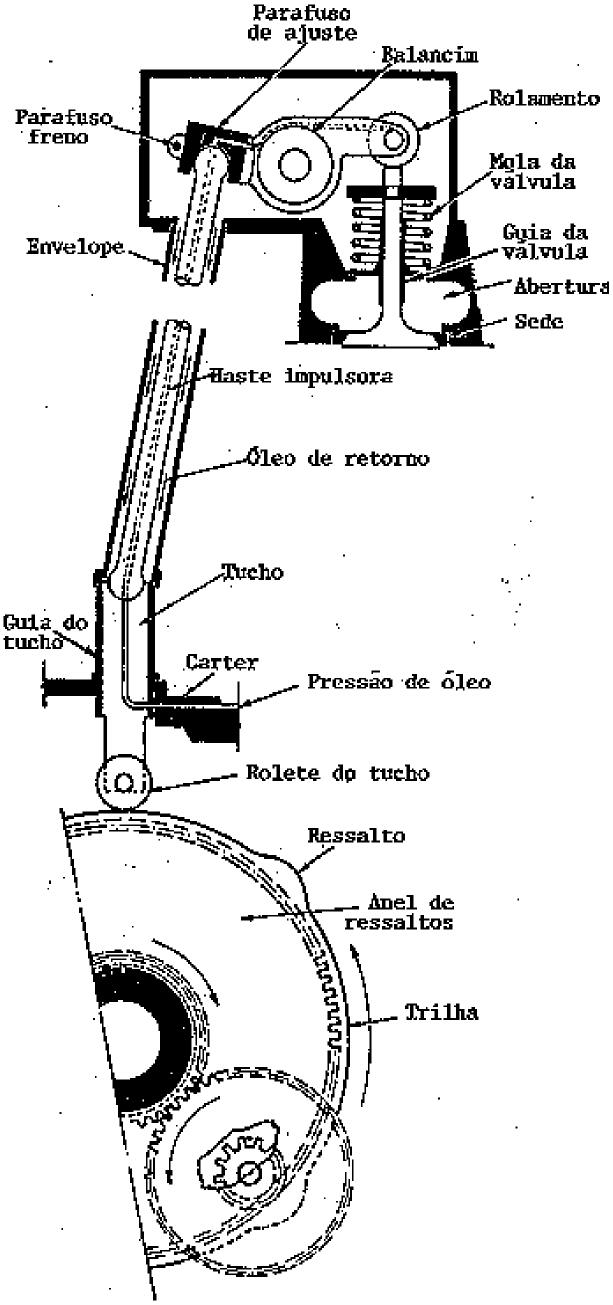

Parafuso de ajuste
Balancim
Rolamento
Parafuso freno
Mola da valvula
Guia da valvula
Envelope
Abertura
Sede
Haste impulsora
Óleo de retorno
Tucho
Guia do tucho
Carter
Pressão de óleo
Rolete do tucho
Ressalto
Anel de ressaltos
Trilha

Figura 1-18 Mecanismo de operação das válvulas (motor radial)

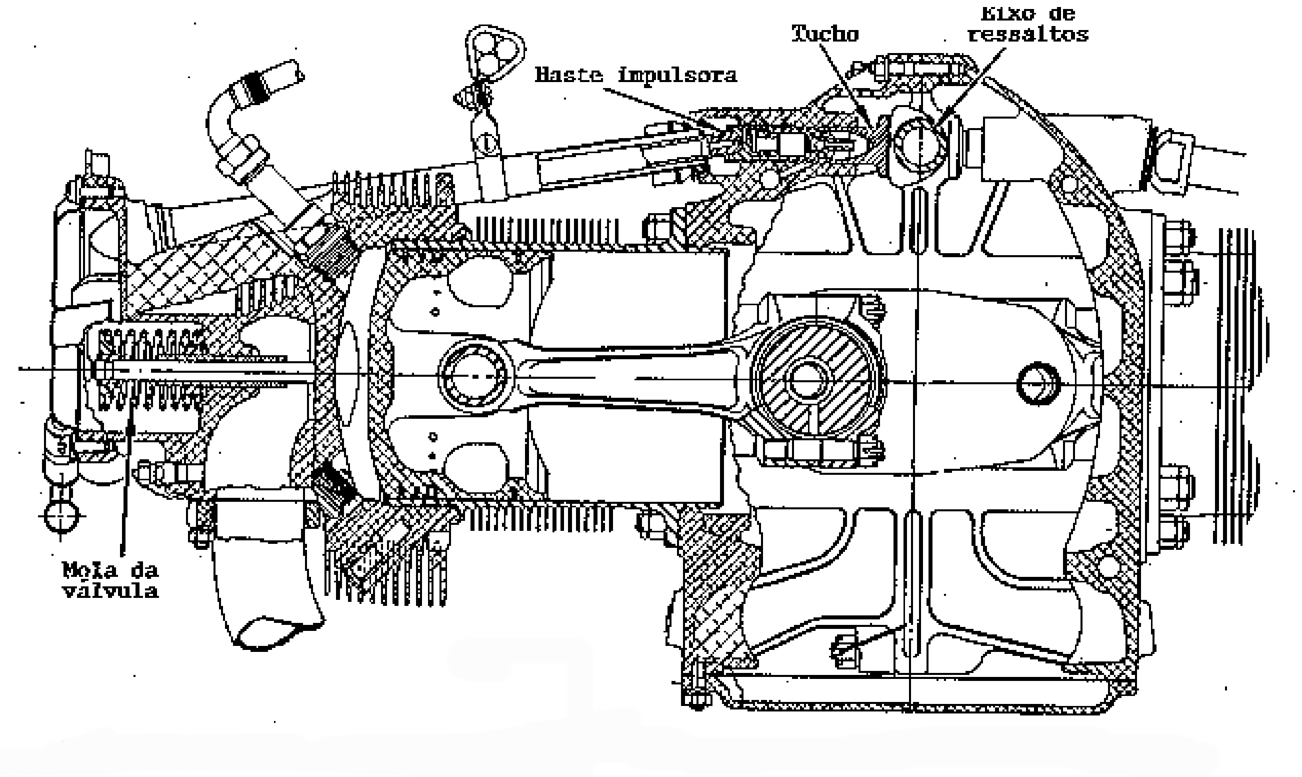


Figura 1-19 Mecanismo de operação das válvulas (motor de cilindros opostos).

Anel de ressaltos

O mecanismo da válvula de um motor radial é operado por meio de um ou dois anéis de ressaltos` dependendo do número de carreiras de cilindros.

Em um motor radial, com uma só carreira de cilindros, é utilizado um anel com dupla curva motriz (ou trilha). Uma, aciona a válvula de admissão; a outra, aciona a de escapamento.

O anel de ressaltos é uma peça circular de aço, com uma série de ressaltos ou lóbulos na superfície externa.

A superfície desses lóbulos e o espaço entre eles (sobre o qual o rolete do tucho desliza) é conhecido como curva motriz.

À medida que o anel de ressaltos gira, os lóbulos provocam o levantamento do impulsor na sua guia, transmitindo dessa forma a força, através da vareta e do balancim, para abrir a válvula.

No motor radial de carreira simples, o anel de ressaltos é geralmente localizado entre a engrenagem de redução da hélice e a extremidade frontal da seção de potência.

No motor radial de duas carreiras de cilindros, um segundo anel de ressaltos, destinado à operação das válvulas da carreira traseira, é instalado entre a extremidade traseira da seção de potência e a seção do compressor.

O anel de ressaltos é montado concentricamente com o eixo de manivelas, e por ele é acionado a uma razão de velocidade reduzida, através do conjunto de engrenagens acionadoras intermediarias do anel.

O anel de ressaltos tem dois conjuntos de lóbulos paralelos espaçados na periferia, sendo, um conjunto para as válvulas de admissão e outro para as de escapamento.

Os anéis de ressaltos utilizados podem ter quatro ou cinco lóbulos sobre as trilhas de ambas as válvulas.

O tempo de operação das válvulas, é determinado pelo espaçamento desses lóbulos e pela velocidade e direção, na qual os anéis de ressaltos são acionados em relação à velocidade e direção do eixo de manivelas.

Os métodos de acionamento dos cames variam com as diferentes marcas de motores. O anel de ressaltos pode ser projetado com dentes interna ou externamente.

Se as engrenagens de redução engrenam-se com a parte externa do anel, ele irá girar na direção de rotação do eixo de manivelas. Se o disco for acionado pelo lado interno, o anel de ressaltos irá girar na direção oposta a do eixo de manivelas. Esse método está ilustrado na figura

1-18. Um estudo da figura 1-20 mostrará que um anel de quatro lóbulos pode ser usado tanto nos motores de sete quanto nos de nove cilindros. Nos motores de sete cilindros, irão girar na mesma direção do eixo de manivelas e, nos de nove cilindros, na direção oposta.

Nos motores de nove cilindros, o espaçamento entre cilindros é de 40º e a ordem de fogo é 1-3-5-7-9-2-4-6-8. Isso significa que há um espaço de 80º entre os impulsos de ignição. O espaçamento nos quatro lóbulos do anel de ressaltos é de 90º, que é maior que o espaçamento entre impulsos.

Dessa forma, para se obter a relação adequada entre a operação das válvulas e a ordem de fogo, é necessário acionar o anel em oposição à rotação do eixo de manivelas.

5 cilindros		7 cilindros		9 cilindros		Direção da rotação com relação ao eixo de manivelas
Nº de ressaltos	Velocidade	Nº de ressaltos	Velocidade	Nº de ressaltos	Velocidade	
3	1/6	4	1/8	5	1/10	A mesma
2	¼	3	1/6	4	1/8	Oposta

Figura 1-20 Tabela do anel de ressaltos de um motor radial.

Utilizando o anel de ressaltos de quatro lóbulos nos motores de sete cilindros o espaçamento entre a ignição dos cilindros será maior que o espaçamento dos lóbulos do anel. Com isso, será necessário que o anel tenha rotação na mesma direção que a do eixo de manivelas.

A fórmula que algumas vezes é utilizada no cômputo da velocidade do anel é: velocidade do anel de ressaltos = ½ ÷ pelo número de lóbulos em cada curva motriz.

"Metade" (1/2) é a velocidade na qual o anel funcionaria se fosse equipado com apenas um lóbulo para cada válvula.

É dividida pelo número de lóbulos, o que determinará o quanto a velocidade terá que ser reduzida.

Em um motor radial de duas carreiras, com 14 cilindros, e que possuem sete cilindros em cada carreira, o mecanismo das válvula pode consistir de dois conjuntos separados, um para cada carreira.

Poderia ser considerado como dois motores de sete cilindros atrelados, tendo os impulsos de ignição espaçados ou com folga apropriada. Por exemplo, num motor de duas carreiras, dois anéis de ressaltos de quatro lóbulos podem ser utilizados.

Os aneis são acionados, por engrenagens ligadas ao eixo de manivelas por meio dos dentes de engrenagens, na periferia do anel de ressaltos.

Eixo de ressaltos

O mecanismo de um motor de cilindros opostos é acionado pelo eixo de ressaltos (ou eixo de comando de válvulas). O eixo de ressaltos é acionado por uma engrenagem que se une a outra presa ao eixo de manivelas (ver figura 1-21).

O eixo de ressaltos sempre gira com metade da velocidade do eixo de manivelas. À medida em que o eixo de ressaltos gira, os lóbulos provocam o levantamento do tucho em sua guia, transmitindo a força através de hastes impulsoras e balancim, para abrir a válvula.

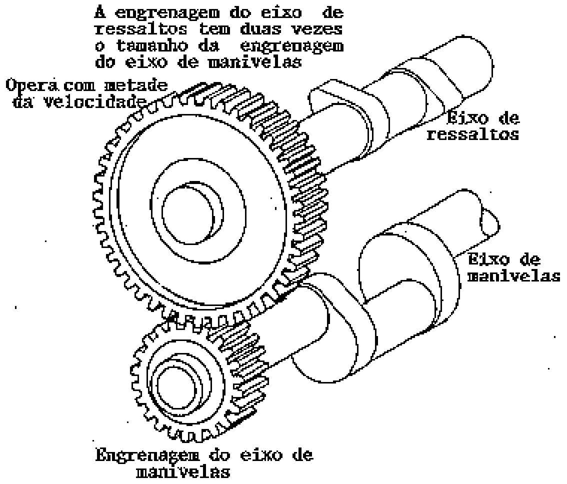

A engrenagem do eixo de ressaltos tem duas vezes o tamanho da engrenagem do eixo de manivelas
Opera com metade da velocidade
Eixo de ressaltos
Eixo de manivelas
Engrenagem do eixo de manivelas

Figura 1-21 Mecanismo de acionamento do eixo de ressaltos de um motor de cilindros opostos.

Conjunto de tuchos

O conjunto de tuchos consiste em:

(1) Um tucho cilíndrico, o qual desliza para dentro e para fora em uma guia, em uma das seções do cárter em volta do anel deressaltos.

(2) Um seguidor de ressaltos ou rolete de tucho, o qual segue o contorno do anel de ressaltos.

(3) Um soquete de bola de tucho, ou soquete de haste impulsora.

(4) Uma mola de tucho.

A função do conjunto de tuchos, é converter o movimento de rotação do lóbulo do anel de ressaltos em movimento alternativo, e transmitir esse movimento para a haste impulsora, e balancim, e então para a extremidade da válvula, abrindo esta no tempo apropriado.

O propósito da mola do tucho, é ocupar a folga entre o balancim e a extremidade da válvula, para reduzir o impacto quando a válvula for aberta. É feito um furo no tucho, para permitir que o óleo do motor flua através das cavidades das hastes impulsoras, para lubrificar o conjunto de balancins.

Tuchos hidráulicos

Alguns motores de aeronaves incorporam tuchos hidráulicos, os quais, automaticamente, mantêm a folga das válvulas a zero, eliminando a necessidade de qualquer ajuste no mecanismo de claro de válvulas. Um tucho hidráulico típico (zero-folga no curso da válvula) é mostrado na figura 1-22.

Quando a válvula é fechada, a face do corpo do tucho está sobre o círculo base ou costas do came, conforme mostrado na figura 1-22.

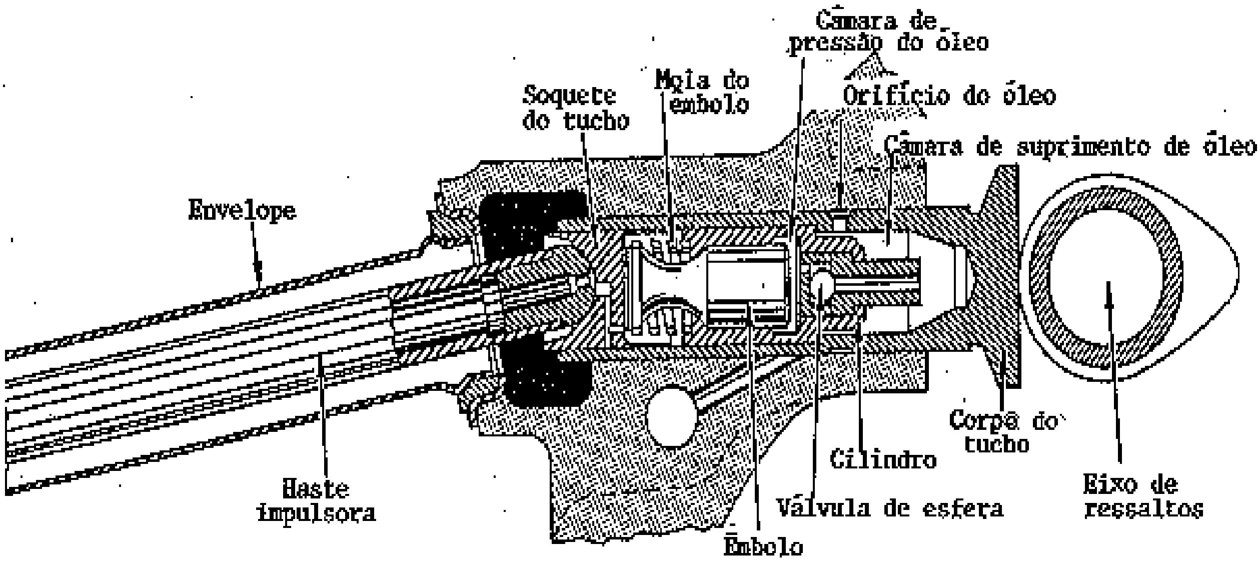


Figura 1-22 Tucho hidráulico.

A mola do êmbolo ergue o êmbolo hidráulico, de forma que sua extremidade externa contacta o soquete da haste impulsora, exercendo uma leve pressão sobre ele, eliminando assim, qualquer folga na articulação da válvula. Na medida em que o êmbolo se move para fora, a esfera da válvula sai de sua sede.

Óleo da câmara de fornecimento, que está diretamente ligado ao sistema de lubrificação do motor, entra e enche a câmara de pressão. Conforme o eixo gira, o ressalto empurra o corpo do tucho e o cilindro levantador hidráulico para fora. Esse ato, força o assentamento da esfera da válvula em sua sede; assim, o óleo retido na câmara de pressão age como uma almofada.

Durante os intervalos em que a válvula do motor está fora de sua sede, um vazamento predeterminado ocorre entre o êmbolo e o corpo do cilindro, o que compensa qualquer expansão ou contração no conjunto da válvula. Imediatamente, após a válvula fechar, a quantidade de óleo requerida para encher a câmara de pressão flui da câmara de fornecimento, preparando novo ciclo de operação.

Haste impulsora

As hastes impulsoras de forma tubular transmitem a força de levantamento do tucho para o balancim.

Uma esfera de aço endurecido é pressionada sobre ou para dentro de cada extremidade do tubo. Uma esfera encaixa-se no balancim. Em alguns exemplos, as esferas estão nos tuchos e balancins e os soquetes estão na haste impulsora. A forma tubular é empregada devido à sua leveza e resistência. Ela permite que o óleo sob pressão de lubrificação do motor passe através da haste oca e extremidades esféricas, com furo para lubrificar os terminais esféricos, rolamento do balancim e guia da haste de válvula. A haste impulsora está revestida por um envelope, que se estende do cárter à cabeça do cilindro.

Balancins

Os balancins transmitem a força de acionamento do ressalto para as válvulas. Os conjuntos de balancins são suportados por mancais lisos, de roletes ou de esferas, ou uma combinação deles, os quais servem como um eixo (pivô). Geralmente, uma extremidade do braço encosta na haste impulsora e, a outra, encosta na haste da válvula.

Algumas vezes, a extremidade do balancim possui uma ranhura para acomodar um rolete de aço. A extremidade oposta é construída ou com grampo bi-partido roscado e parafuso trava, ou furo rosqueado.

O braço pode ter um parafuso para ajustar a folga entre o balancim e a ponta da haste da válvula. O parafuso é ajustado à folga especificada, para garantir a abertura completa da válvula.

Molas das válvulas

Cada válvula é fechada por meio de duas ou três molas helicoidas. Se apenas uma mola fosse utilizada, haveria vibração ou oscilação em determinadas velocidades. Para eliminar essa dificuldade, duas ou mais molas (uma dentro da outra) são instaladas em cada válvula. Cada mola irá vibrar em diferentes velocidades do motor, resultando num rápido amortecimento das vibrações e oscilações durante o funcionamento.

Duas ou mais molas também reduzem o perigo de enfraquecimento e possível falha por fratura, devido ao aquecimento e fadiga do material.

As molas são mantidas no lugar por meio de travas bipartidas, instaladas no rebaixo do batente superior da mola da válvula ou arruela, e engraza num entalhe usinado na haste da válvula. As funções das molas são fechar as válvulas e prendê-las seguramente em suas sedes.

Levantador hidráulico de válvulas (tuchos hidráulicos)

Levantadores hidráulicos de válvulas, são normalmente ajustados durante a revisão geral. Eles são montados a seco (sem lubrificação), as folgas são verificadas e os ajustes são geralmente feitos por meio de hastes impulsoras de diferentes comprimentos. São estabelecidas as folgas mínima e máxima. Qualquer medida entre esses extremos é aceitável, porém, o ideal é que esta seja aproximadamente a média entre os extremos. Levantadores hidráulicos de válvulas requerem menos manutenção, são melhor lubrificados, e de operação mais silenciosa que os do tipo ajustados por meio de parafuso.

Mancais

Um mancal é qualquer superfície que suporta, ou é suportada, por outra superfície. Um bom mancal deve ser composto de material que seja suficientemente forte para resistir às pressões impostas a eles, e deve permitir que a outra superfície se movimente com um mínimo de atrito e desgaste.

As peças têm que ser montadas dentro de pequenas tolerâncias, para proporcionar um funcionamento eficiente e silencioso, e ainda, permitir liberdade de movimento.

Para se conseguir essa condição e, ao mesmo tempo reduzir o atrito entre as peças móveis, de forma que a perda de potência não seja excessiva, são utilizados mancais de diversos tipos.

Os mancais são requeridos para suportar cargas radiais, cargas de empuxo ou uma combinação das duas.

Existem dois meios, pelos quais as superfícies dos mancais se movem, uma em relação à outra.

Um é pelo movimento de deslizamento de um metal contra o outro e, o segundo, é pelo rolamento de uma superfície sobre outra. Os três diferentes tipos de mancais, em uso geral, são lisos, de rolete e de esfera (ver figura 1-23).

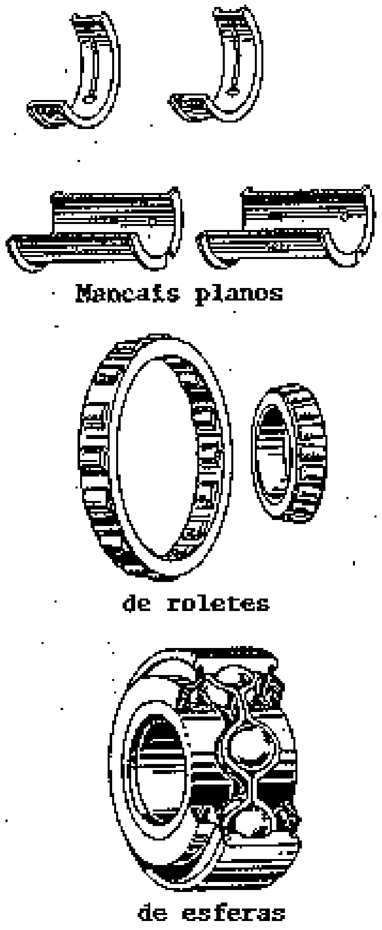


Figura 1-23 Rolamentos.

Mancais lisos

Os mancais lisos são utilizados geralmente nos eixos de manivelas, anéis de ressaltos, eixo de comando de ressaltos, bielas e eixo de acionamento de acessórios. Tais mancais estão, geralmente, sujeitos apenas a cargas radiais, embora alguns tenham sido projetados para absorver cargas de empuxo.

Os mancais planos são, de modo geral, fabricados de metais não-ferrosos (sem ferro), tais como prata, bronze, alumínio, e diversas ligas de cobre, estanho ou chumbo.

Os rolamentos da biela mestra ou pino de biela, em alguns motores, são finos invólucros de aço, protegidos com prata sobre as superfícies interna e externa; com chumbo-estanho protegendo a prata apenas na superfície interna.

Mancais menores, como aqueles utilizados para apoiar os diversos eixos na seção de acessórios, são denominados buchas.

Buchas "porous oilite" são amplamente usadas nesse exemplo. Elas são impregnadas com óleo, de tal forma que o calor proveniente da fabricação, traz o óleo para a superfície do mancal durante a operação do motor.

Mancais de esferas

Um mancal de esferas consiste em canais ranhurados interno e externamente, um ou mais conjuntos de esferas, e, nos mancais projetados para serem desmontáveis, um retentor. Eles são utilizados nos eixos de ventoinha dos compressores e balancins de alguns motores. Mancais de esferas especiais (*deep-grove*) são usados em motores de aeronaves, para transmitir o empuxo da hélice para a seção do nariz do motor.

Mancais de roletes

Mancais de roletes são fabricados de muitos tipos e formas, porém os dois tipos geralmente usados nos motores de aeronaves são os roletes retos e de roletes cônicos.

Mancais de roletes retos são utilizados onde esse mancal está sujeito apenas a cargas radiais. Eles são utilizados como mancais principais dos eixos de manivelas, nos motores de aeronaves de alta potência e, também em situações onde as cargas radiais são elevadas.

Nos mancais de roletes cônicos, conforme o próprio nome sugere, as superfícies interna e externa têm a forma de cone. Esses mancais resistem tanto às cargas de empuxo, quanto às radiais. .

ENGRENAGENS DE REDUÇÃO DA HÉLICE

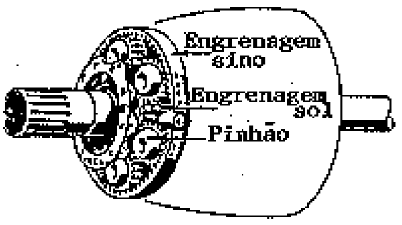
A potência elevada entregue por um motor de alta potência, resulta da alta rotação do eixo de manivelas.

É, portanto, necessário prover engrenagens de redução para limitar a velocidade de rotação da hélice, para um valor no qual uma operação eficiente seja obtida.

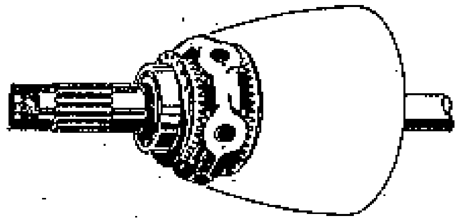
Sempre que a velocidade das pontas das pás se aproxima da velocidade do som, a eficiência da hélice diminui rapidamente. A prática geral tem sido prover engrenagens de redução para hélices de motores, cujas velocidades são acima de 2.200 RPM, porque a eficiência da hélice diminui rapidamente acima dessa velocidade.

Uma vez que as engrenagens de redução têm que resistir a tensões extremamente altas, elas são usinadas em aço forjado. Existem em uso, muitos tipos de sistemas de redução. Os três tipos (figura 1-24) comumente mais utilizados são:

(1) Planetário de dentes retos;
(2) Planetário de dentes chanfrados; e
(3) Pinhão cilíndrico.



Planetário plano



Planetário cônico

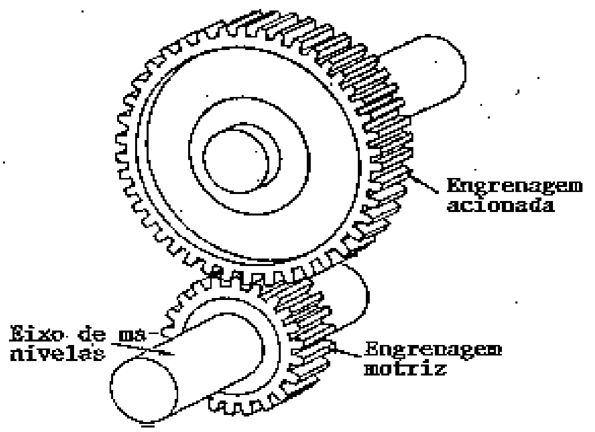


Figura 1- 24 Engrenagens de redução.

Os sistemas de engrenagens de redução do tipo planetário são usados com motores radiais e opostos; e os de dentes retos e pinhão cilíndrico são usados com os motores do tipo em linha e em "V".

Dois desses tipos, o planetário de dentes retos e o planetário de dentes chanfrados, são aqui discutidos.

Os sistemas de engrenagens do tipo planetário de dentes retos consistem de uma grande engrenagem acionadora ou engrenagem sol, presa por chaveta (e algumas vezes por estrias) ao eixo de manivelas, uma grande engrenagem estacionária chamada engrenagem sino, e um conjunto de pequenas engrenagens planetárias de dentes retos, montadas sobre um anel de suporte.

O anel é preso ao eixo da hélice, e as engrenagens planetárias unidas tanto à engrenagem sol quanto à sino estacionária ou anel. A engrenagem estacionária é presa ou estriada na carcaça da seção central. Quando o motor está em operação, a engrenagem sol gira. Estando as engrenagens combinadas com o anel, elas também têm que girar. Uma vez que, também estão engrazadas com a engrenagem estacionária, elas irão caminhar ou rolar em torno da mesma, à medida em que ela gira; e o anel no qual estão montadas irá girar o eixo da hélice na mesma direção do eixo de manivelas, mas a uma velocidade reduzida.

Em alguns motores, a engrenagem sino é montada no eixo da hélice, e a engrenagem do pinhão planetário é ali fixada. A engrenagem sol é encaixada por estrias ao eixo de manivelas e, dessa forma, age como uma engrenagem acionadora. Nessa montagem, a hélice move-se a uma velocidade reduzida, porém em direção contrária a do eixo de manivelas.

No sistema de engrenagens de redução do tipo planetário de dentes chanfrados, a engrenagem acionadora é usinada com dentes externos chanfrados e presa ao eixo de manivelas.

Um conjunto de engrenagens de pinhão cônico conjugado, é montado na caixa ligada ao eixo da hélice.

As engrenagens pinhão, são acionadas pela engrenagem acionadora, e, giram em torno da engrenagem estacionária, a qual é presa por parafusos ou por estrias à carcaça da seção frontal. O empuxo das engrenagens tipo pinhão cônico é absorvido pelo empuxo de um mancal de esferas de projeto especial.

As engrenagens acionadora e fixa são, geralmente, suportadas por mancais de esferas apropriados para trabalhos pesados. Esse tipo de conjunto de redução planetário é mais compacto que o outro descrito e, pode, por isso, ser utilizado onde uma menor engrenagem redutora de hélice é desejada.

EIXO DA HÉLICE

Os eixos de hélices podem ser de três tipos principais: cônico, estriado ou flangeado. Eixos cônicos são identificados pelos números de conicidade. Os eixos estriados e flangeados são identificados pelos números SAE.

O eixo de hélice, da maioria dos motores de baixa potência de saída, é forjado como parte do eixo de manivelas.

Ele é cônico e provido de uma fenda serrilhada, de forma a permitir que o cubo da hélice seja fixado ao eixo. O rasgo da chaveta e indicador de posição ("key index") da hélice está relacionado ao ponto morto superior do cilindro número 1. A ponta do eixo da hélice é rosqueada para receber a porca de retenção da hélice. Eixos de hélice cônicos são comuns tanto em motores mais antigos, quanto em motores em linha.

O eixo de uma hélice de motor com alta potência de saída, geralmente é estriado. Ele é rosqueado em uma extremidade, para fixar a porca do cubo da hélice.

O mancal de empuxo, o qual absorve o empuxo da hélice, está localizado em torno do eixo e transmite o empuxo para a carcaça da seção do nariz.

O eixo é rosqueado para receber a porca de retenção do mancal de empuxo. Na parte sobressalente à carcaça (entre as duas partes roscadas), estão localizadas as estrias para receber o cubo da hélice. O eixo é geralmente usinado de uma liga de aço forjado por todo o seu comprimento.

O eixo da hélice pode ser conectado por meio de engrenagens redutoras ao eixo de manivelas do motor, porém nos pequenos motores o eixo da hélice é simplesmente uma extensão do eixo de manivelas.

Para girar o eixo da hélice, o eixo de manivelas também tem que girar. Eixos de hélices flangeados são usados em motores alternativos de média ou baixa potência, em motores turbojato. Uma extremidade do eixo é flangeada, com furos para receber os parafusos do montante da hélice.

O conjunto pode ser um curto eixo, com roscas internas para receber a válvula distribuidora, a ser usada com uma hélice controlável. O eixo flangeado é normal na maioria dos motores alternativos aprovados.

MOTORES ALTERNATIVOS - PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Um estudo dessa seção ajudará no entendimento dos princípios básicos de operação dos motores alternativos. Os princípios que governam o relacionamento entre a pressão, volume e temperatura dos gases são os princípios básicos da operação do motor.

Um motor de combustão interna, é um dispositivo para conversão de energia térmica em energia mecânica. A gasolina é vaporizada e misturada com ar, forçada para dentro do cilindro, comprimida por meio de um êmbolo, e então inflamada através de uma centelha. A conversão da energia calorífica, resultante em energia mecânica e, daí em trabalho, é levada a termo dentro do cilindro.

A figura 1-25 ilustra os vários componentes necessários para executar essa conversão e também apresenta os principais termos utilizados para indicar a operação do motor.

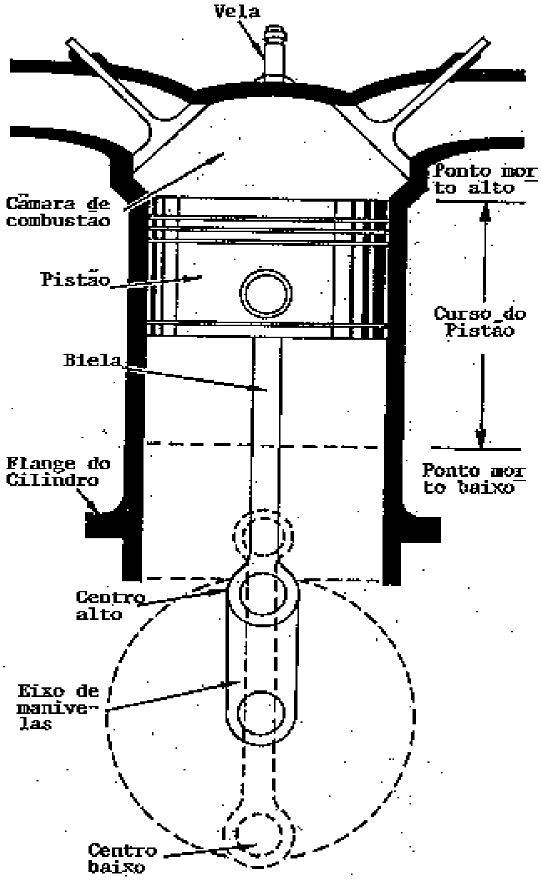


Figura 1-25 Componentes e terminologia de operação do motor.

O ciclo de operação de um motor alternativo de combustão interna, inclui a série de eventos requerida para introduzir, comprimir, inflamar, queimar e expandir a carga ar/combustível dentro do cilindro, e para recuperar ou descarregar os sub-produtos do processo de combustão.

Quando a mistura comprimida é inflamada, os gases resultantes da combustão se expandem muito rapidamente, e forçam o movimento do êmbolo, afastando-se da cabeça do cilindro. Esse movimento do êmbolo para baixo, agindo sobre o eixo de manivelas através da biela, é convertido em movimento circular ou rotativo do eixo de manivelas.

Uma válvula no topo ou cabeça do cilindro se abre para permitir o escapamento dos gases queimados, e o movimento do eixo de manivelas e da hélice força o êmbolo a retornar para cima, no cilindro, onde estará pronto para novo evento no ciclo. Então, abre-se outra válvula na cabeça do cilindro para deixar entrar uma nova carga da mistura ar/combustível.

A válvula que permite a saída dos gases queimados é chamada de válvula de escapamento, e a válvula pela qual entra a carga de mistura ar/combustível é denominada válvula de admissão. Essas válvulas são abertas e fechadas mecanicamente nos tempos apropriados, por meio do mecanismo de operação das válvulas.

Chamamos de diâmetro de um cilindro, seu diâmetro interno. O curso é a distância que o êmbolo se move de uma extremidade à outra do cilindro, especificamente do p.m.s. (ponto morto superior) ao p.m.i. (ponto morto inferior), ou vice-versa (ver figura 1-25).

CICLOS DE OPERAÇÃO

Existem dois ciclos de operação de uso geral:

(1) ciclo de dois tempos; e
(2) ciclo de quatro tempos.

Os motores de dois tempos, há muito desaparecidos do cenário da aviação, não será aqui discutido. Como o próprio nome sugere, os motores de dois tempos requerem apenas um movimento para cima e um para baixo, para que o êmbolo complete a série de eventos requeridos dentro do cilindro.

Dessa forma, o motor completa o ciclo de operação com uma rotação do eixo de manivelas.

A maioria dos motores alternativos de aeronaves opera com o ciclo de quatro tempos, às vezes chamado de ciclo Otto. O nome do seu descobridor, um físico alemão. Os motores de quatro tempos apresentam muitas vantagens quanto ao seu uso em aeronaves. Uma das vantagens é que ele presta-se prontamente para alta performance através de supercompressor.

Nesse tipo de motor, são requeridos quatro tempos para completar a série de eventos ou ciclos de operação de cada cilindro, como mostrado na figura 1-26. São requeridas duas voltas completas do eixo de manivelas (720º) para os quatro tempos; então, cada cilindro em um motor desse tipo, queima uma vez a cada duas voltas do eixo de manivelas.

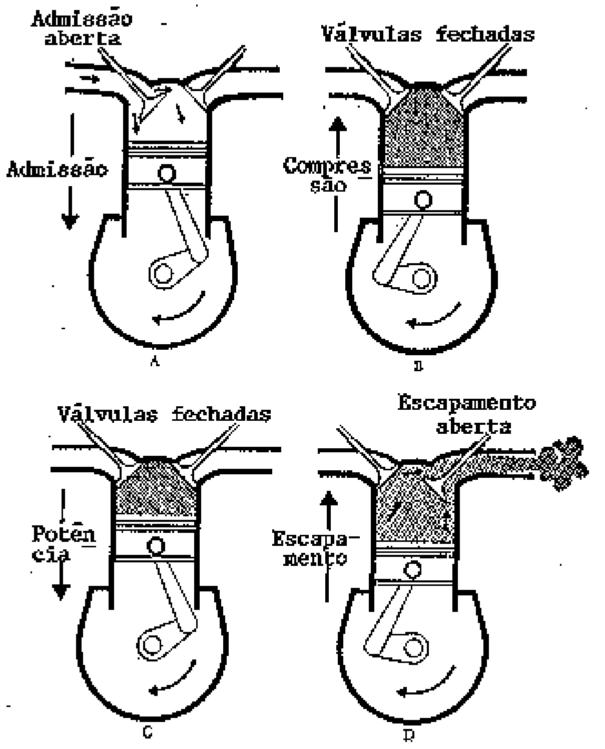


Figura 1-26 Ciclo de quatro tempos.

CICLO DE QUATRO TEMPOS

Na discussão seguinte à operação dos motores com ciclo de quatro tempos, deve ser percebido que, a relação entre a distribuição de ignição e a abertura das válvulas, varia consideravelmente entre diferentes motores.

Muitos fatores influenciam a distribuição de um motor específico, e o mais importante é que as recomendações do fabricante a esse respeito sejam seguidas na manutenção e revisão geral. A distribuição de ignição e a abertura das válvulas são sempre especificadas em graus, com relação ao eixo de manivelas.

Nos parágrafos seguintes, o tempo de cada evento será especificado em termos de graus em relação ao eixo de manivelas, no tempo em que o evento ocorre.

Deve ser lembrado que é requerido um certo intervalo de movimento do eixo de manivelas para abrir completamente a válvula; dessa forma, o tempo especificado representa o início da abertura, ao invés da posição completamente aberta.

Tempo de admissão

Durante o tempo de admissão, o êmbolo é puxado para baixo no cilindro, através da rotação do eixo de manivelas. Isso reduz a pressão no interior do cilindro e provoca um fluxo de ar na pressão atmosférica através do carburardor, que mede a quantidade correta de combustível.

A mistura ar/combustível passa através das tubulações de admissão, e da válvula de admissão para os cilindros.

A quantidade ou a carga da mistura ar/combustível depende da abertura da manete de aceleração.

A válvula de admissão é aberta muito antes do êmbolo atingir o ponto morto superior no tempo de escapamento, de modo a provocar a entrada de maior quantidade de carga ar/combustível no cilindro, aumentando dessa forma sua potência.

A distância antes do ponto morto superior em que a válvula pode ser aberta, está, contudo limitada por vários fatores; tal como a possibilidade de que os gases quentes remanescentes do ciclo anterior, retornem pela tubulação de admissão e sistema de indução.

Em todos os motores de aeronaves de alta potência, as válvulas de admissão e escapamento estão fora de suas sedes no ponto morto superior, no início do tempo de admissão.

Conforme mencionado acima, a válvula de admissão abre antes do ponto morto superior no tempo de escapamento (avanço de válvula).

Esse tempo é denominado claro de válvula, e é projetado para ajudar na refrigeração do cilindro, internamente, por meio da circulação da mistura ar/combustível que está fria na admissão, para aumentar a quantidade de mistura introduzida no cilindro e para ajudar na expulsão dos sub-produtos da combustão.

A válvula de admissão é regulada para fechar entre 50º e 75º após o ponto morto inferior no tempo de compressão, dependendo da especificação do motor, para permitir que a impulsão dos gases de admissão carregue o cilindro mais completamente. Devido ao volume do cilindro acima do êmbolo, comparativamente grande, quando o êmbolo está próximo ao ponto morto inferior, o ligeiro curso do êmbolo para cima durante esse tempo não tem grande efeito sobre o fluxo de gases sendo admitidos. Esse retardo pode ser estendido, porque os gases podem ser forçados de volta através da válvula de admissão, e anular o proposito do retardo no fechamento.

Tempo de compressão

Após a válvula de admissão estar fechada, a continuação do movimento do êmbolo para cima comprime a mistura ar/combustível, para obter as características de queima e expansão desejadas.

A carga é queimada por meio de uma centelha elétrica, quando o êmbolo se aproxima do ponto morto superior. O tempo de ignição varia de 20º a 35º antes do ponto morto superior, dependendo do que seja requerido pelo motor específico, para assegurar completa combustão da carga, no tempo em que o êmbolo tiver passado ligeiramente do ponto morto superior.

Muitos fatores afetam a distribuição de ignição. O fabricante do motor gasta tempo considerável em pesquisa e teste para determinar o melhor ajustamento.

Todos os motores incorporam dispositivos para ajuste da distribuição de ignição, e, é mais importante que os sistema de ignição seja regulado de acordo com as recomendações do fabricante do motor.

Tempo de potência

Quando o êmbolo se move para o ponto morto superior, no fim do tempo de compressão, e começa a descer no tempo de potência, ele é forçado para baixo pela rápida expansão dos gases, queimando na cabeça do cilindro com uma força que pode ser maior que 15 toneladas, à potência máxima de saída do motor.

A temperatura de saída desses gases pode estar entre 1650ºC e 2200ºC. Na medida em que o êmbolo é forçado para baixo, durante o tempo de potência, através da pressão que os gases queimados exercem sobre ele, o movimento da biela para baixo é transformado em movimento de rotação pelo eixo de manivelas. Então, o movimento de rotação é transmitido ao eixo da hélice para acioná-la.

Conforme os gases queimados são expandidos, a temperatura cai para limites seguros, antes de fluirem pelo escapamento.

O tempo de abertura da válvula de escapamento é determinado, entre outras considerações, pela conveniência de utilizar as forças de expansão o máximo possível, e de esvaziar o cilindro o mais completo e rapidamente possível.

A válvula é aberta antes do ponto morto inferior no tempo de potência (em alguns motores, de 50º a 75º antes do ponto morto inferior), enquanto ainda existe alguma pressão no cilindro.

Esse tempo é utilizado de forma que a pressão possa forçar a saída dos gases através do escapamento, o mais imediato possível.

Esse processo livra o cilindro das sobras de calor, após a expansão desejada ter sido obtida, e evita superaquecimento do cilindro e do êmbolo.

Uma drenagem completa é muito importante, uma vez que qualquer produto de exaustão remanescente no cilindro, irá diluir a carga ar/combustível, sendo admitida no início do ciclo seguinte.

Tempo de escapamento

Conforme o êmbolo passa no ponto morto inferior no fim do tempo de potência, e sobe no tempo de escapamento, ele começa a empurrar os gases queimados.

A velocidade dos gases de escapamento deixando o cilindro, cria uma baixa pressão no seu interior.

Essa pressão baixa ou reduzida acelera o fluxo da mistura ar/combustível para o cilindro, quando a válvula de admissão começar a abrir.

A abertura da válvula de admissão é regulada para ocorrer entre 8º e 55º antes do ponto morto superior, no tempo de escapamento em muitos motores.

POTÊNCIA E EFICIÊNCIA DOS MOTORES ALTERNATIVOS

Todos os motores são homologados de acordo com sua capacidade para produzir trabalho e potência.

Esta seção apresenta uma explanação sobre trabalho e potência, e sobre como eles são calculados. Também são discutidas as diversas competências que governam a saída de um motor alternativo.

Trabalho

Os físicos definem trabalho da seguinte forma:"Trabalho é força multiplicada por distância.O trabalho realizado por uma força agindo sobre um corpo, é igual ao produto dessa força pela distância através da qual ela age."

trabalho (w) = força (f) x distância (d)

O trabalho é medido em diversos sistemas, a unidade mais comum é chamada libra-pé. Se a massa de uma libra for erguida de um pé, uma lb.pé de trabalho foi produzido.

Quanto maior a massa e maior a distância, maior será o trabalho realizado.

Cavalo-vapor (HP)

A unidade comum de potência mecânica é o hp (ou HP).

Há muito tempo no século 18, James Watt, o inventor do motor a vapor, descobriu que um cavalo inglês poderia trabalhar à razão de 550 lb.pé por segundo ou 33.000 lb.pé por minuto, por um espaço razoável de tempo. A partir dessas observações veio o hp, o qual é a unidade padrão de potência no sistema inglês de medida. Para calcular a capacidade de um motor em hp, divide-se a potência desenvolvida em lb.pé por minuto por 33.000, ou a potência em lb.pé por segundo por 550.

$$HP = \frac{lb.pé/\min}{33.000} \text{ ou } \frac{lb.pé/seg}{550}$$

Conforme mostrado acima, trabalho é o produto de uma força por uma distância;e potência é o trabalho por unidade de tempo.

Consequentemente, se um peso de 33000 lb. for levantado verticalmente na altura de um pé, em um minuto, a potência despendida é 33000 lb.pé por minuto ou exatamente um hp.

O trabalho não é realizado apenas quando a força é aplicada para levantamento. A força pode ser aplicada em qualquer direção. Se um peso de 100 lb. for arrastado no solo, uma força estará sendo aplicada para desenvolver trabalho, embora a direção do movimento resultante seja aproximadamente horizontal, o valor dessa força dependerá da aspereza do piso.

Se o peso for ligado a uma mola com escala graduada em lbs., e então arrastado, puxando-se o punho da escala, o valor da força requerida pode ser medido. Suponhamos que a força requerida seja 90 lb. e que o peso de 100 lbs. seja arrastado 660 pés em dois minutos. O valor do trabalho realizado em dois minutos será 59.400 lb. pé, ou 29700 lb.pé por minuto; o hp. despendido nesse caso será 29700 dividido por 33000 ou 0,9 hp.

Deslocamento do êmbolo

Quando outros fatores permanecem iguais, quanto maior o deslocamento, maior será a potência máxima que o motor desenvolverá.

Quando um êmbolo se move do ponto morto inferior para o ponto morto superior, ele desloca um volume específico. O volume deslocado é conhecido como cilindrada, e é expresso em polegadas cúbicas para a maioria dos motores de fabricação americana, e centímetros cúbicos para os outros.

O volume deslocado pelo pistão de um cilindro (ou cilindrada) pode ser obtido multiplicando a área da seção reta de um cilindro pela distância total que o êmbolo se desloca em um tempo do motor. Para motores multicilindros, esse produto é multiplicado pelo número de cilindros, para se obter o volume total ou cilindrada do motor.

Uma vez que o volume (v) de um cilindro é igual a área (A) da base multiplicada pela altura (H), é expresso matematicamente como:

$$V = A \times H.$$

Para nossos propósitos, a área da base é a área da seção reta do cilindro ou da face superior do êmbolo.

Área de um círculo

Para se encontrar a área de um círculo é necessário, usar um número denominado Pi (¶). Esse número representa a razão entre a circunferência e o diâmetro de qualquer círculo.

O valor de π (Pi) não é exato, uma vez que ele representa uma dízima, porém com quatro casas decimais, seu valor é 3,1416, aproximação suficiente para a maioria dos cálculos.

A área de círculo, como de um retângulo ou de um triângulo, tem que ser expressa em unidades quadradas.

A distância equivalente à metade do diâmetro do círculo é denominada raio. A área de um círculo é obtida multiplicando-se ¶ pelo raio elevado ao quadrado. A fórmula é expressa por:

$$A = \P\, R^2$$

Onde A é a área do círculo, ¶ é a constante dada, e R é o raio do círculo, o qual é igual à metade do diâmetro ou:

$$R = \frac{D}{2}$$

Exemplo:

Encontrar o volume deslocado pelo êmbolo ou cilindrada de um motor PWA, 14 cilindros, tendo cada cilindro 5,5 polegadas de diâmetro e um curso de 5,5 polegadas. As fórmulas requeridas são:

$$R = \frac{D}{2}$$

$A = \P R^2$
$V = A \times H$
$V_{TOT} = V \times N$ (NÚMERO DE CILINDROS)

Substituindo os valores nessas fórmulas, e completando os calculos.

$R = \frac{D}{2}$ $R = \frac{5,5}{2} = 2,75$
$A = \P R^2$ $A = 3,1416 \ . \ (2,75 \times 2,75)$
$A = 3,1416 \times 7,5625 = 23,7584$ pol^2.
$V = A \times HV = 23,7584 \times 5,5$ $V = 130,6712$
$V_{TOT} = V \times N$ $V_{TOT} = 130,6712 \times 14$
$V_{TOT} = 1829, 3968$

Arredondando para o inteiro imediatamente superior, o volume total é igual a 1830 pol^3.

Outro método de calcular esse valume é utilizar o diâmetro do êmbolo, ao invéz do raio na fórmula para a área da base.

A = ¼¶D^2
Substituindo A =1/4 x 3,1416 x 5,5 x 5,5

A = 0,7854 x 30,25 A = 23,758 pol^2.

A partir desse ponto, os cálculos são idênticos ao exemplo precedente.

Taxa de compressão

Todo motor de combustão interna tem que comprimir a mistura ar/combustível, para receber uma quantidade razoável de trabalho em cada tempo de potência. A carga ar/combustível em um cilindro pode ser comparada com uma mola helicoidal, em que, quanto mais é comprimida, mais trabalho é potencialmente capaz de realizar.

A razão de compressão de um motor (ver figura 1-27), é uma comparação do volume de um cilindro quando o êmbolo está no ponto morto inferior, e o volume quando ele está no ponto morto superior.

Essa comparação é expressa como uma razão, daí a expressão "razão de compressão". Taxa de compressão é um fator de controle na maxíma potência desenvolvida por um motor, mas ela está limitada pela quantidade dos combustíveis atuais, pelas elevadas velocidades dos motores e pressões de admissão requeridos para decolagem.

Por exemplo, se existem 140 pol^3 de volume em um cilindro quando o êmbolo está no ponto morto inferior, e 20 pol^3 quando o êmbolo está no ponto morto superior, a razão de compressão é 140 para 20.

Se essa razão é expressa na forma de fração, será escrita como 140/20 ou 7 para 1, geralmente representada por 7:1.

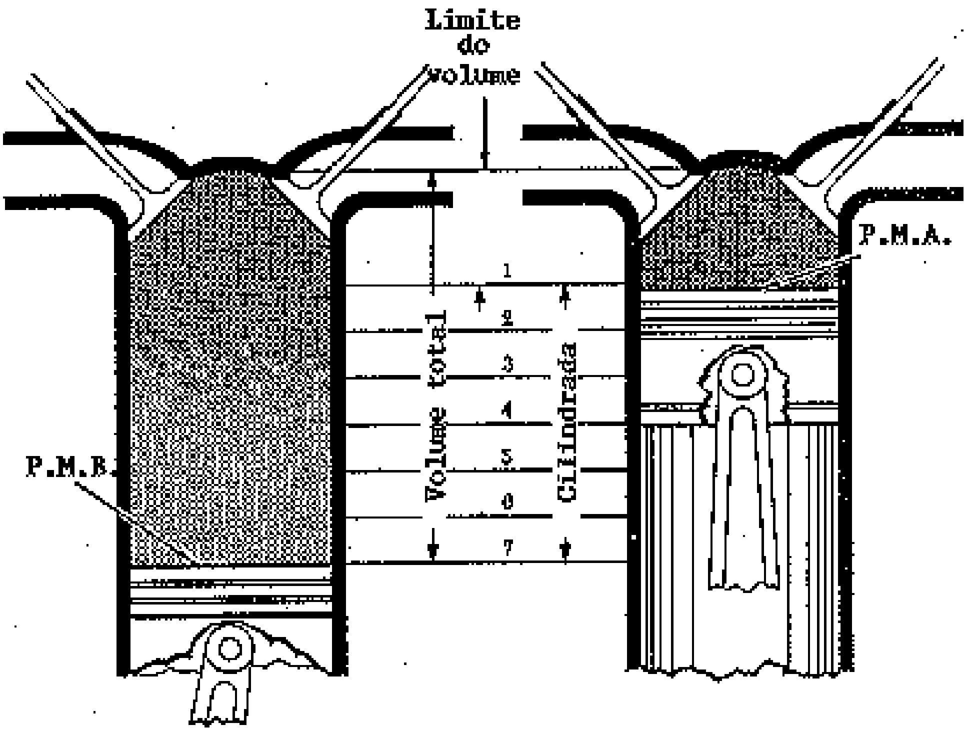


Figura 1-27 Razão de compressão.

Para compreender inteiramente as limitações localizadas na razão de compressão, deve-se entender a pressão de admissão e seus efeitos.

Pressão de admissão é a pressão média absoluta da carga de ar ou ar/combustível na entrada, e é medida em polegadas de mercúrio.

A pressão de admissão depende da velocidade do motor (posição da manete) e do compressor. O compressor interno acionado por motor (ventoinha), e o compressor externo acionado pelos gases de escapamento (turbo), são geralmente compressores do tipo centrífugo.

A operação desses compressores aumenta o peso da carga que entra no cilindro. Quando um ou ambos são usados com um motor de aeronave, a pressão de admissão pode ser consideravelmente mais elevada que a pressão atmosférica.

A vantagem dessa condição, é que uma quantidade maior de carga é forçada em um dado volume de cilindro, resultando em uma potência maior.

A taxa de compressão e a pressão de admissão determinam a pressão no cilindro naquela parte do ciclo de operação em que ambas as válvulas estão fechadas. A pressão da carga, antes da compressão, é determinada pela pressão de admissão, enquanto a pressão em alta compressão (no momento da ignição) é determinada pela pressão de admissão vezes a razão de compressão.

Por exemplo, se um motor operou com pressão de admissão de 30"Hg, com uma razão de compressão de 7:1, a pressão no instante anterior à ignição foi de aproximadamente 210"Hg. Contudo, em uma pressão de admissão de 60"Hg, a pressão seria 420"Hg.

Sem entrar em detalhes, foi mostrado que o tempo de compressão aumenta o efeito da variação de pressão de admissão e, o aumento de ambos, afeta a pressão da carga de combustível, exatamente no momento que antecede a ignição. Se a pressão nesse instante se tornar muito alta, ocorrerá ignição prematura ou detonação, produzindo superaquecimento.

Uma das razões para utilização de motores com elevadas razões de compressão é obter uma maior economia de combustível, ou seja, converter mais energia térmica em trabalho útil do que é obtido em motores com baixa taxa de compressão; uma vez que, mais calor da carga sendo convertido em trabalho útil, menos calor é absorvido pelas paredes do cilindro. Esse fato proporciona uma operação do motor com temperaturas mais baixas, o que por consequência aumenta a eficiência térmica.

Aqui, mais uma vez, um acordo é necessário entre a demanda para uma economia de combustível, e a demanda para uma potência máxima, sem detonação.

Alguns fabricantes de motores de alta compressão eliminam detonação a altas pressões de admissão, injetando um fluido antidetonante na mistura ar/combustível. O fluido age primeiramente como um refrigerante, de forma que mais potência pode ser liberada pelo motor por curtos períodos, tais como na decolagem e durante emergências, quando a potência é crítica. Essa alta potência deve ser usada apenas por curtos períodos.

Potência indicada

A potência indicada, produzida por um motor, é a potência calculada da pressão efetiva média e de outros fatores, os quais afetam a potência de saída de um motor.

Potência indicada é a potência desenvolvida na câmara de combustão sem referência à perdas por atrito no interior do motor.

Essa potência é calculada como função da pressão real do cilindro, observada durante a operação do motor. Para facilitar o cálculo da potência indicada, um dispositivo mecânico, ligado ao cilindro, risca a pressão real existente no cilindro durante um ciclo completo de operação. Essa variação de pressão pode ser representada pelo tipo gráfico mostrado na figura 1-28.

Observamos que a pressão do cilindro aumenta no tempo de compressão, alcança o pico após o ponto morto superior, e então diminui à medida que o êmbolo se desloca para baixo,no tempo de potência.

Uma vez que a pressão do cilindro varia durante o ciclo de operação, uma pressão média é registrada, linha AB, essa pressão média, se aplicada durante o tempo de potência, invariavelmente produzirá a mesma quantidade de trabalho que a pressão variável produziria nesse mesmo período. Essa pressão média é conhecida como pressão efetiva média, e está incluída no cálculo da potência indicada com outras especificações do motor.

Se as características e a pressão efetiva média indicada de um motor são conhecidas, é possível calcular a razão de potência indicada.

A potência indicada para um motor de quatro tempos pode ser calculada pela fórmula seguinte, na qual os símbolos ou letras que constituem o numerador são colocados de maneira a formar a palavra "PLANK", com a finalidade de ajudar na memorização da referida fórmula:

$$POTENCIA = \frac{PLANK}{33000}$$

ONDE:

P = pressão efetiva média indicada (em PSI)
L = Comprimento do curso (em PÉS ou fração)
A = Área da cabeça do pistão ou sa seção reta do cilindro (em sq. in.)

N = Número de tempos de potência por minuto: $\frac{\text{RPM}}{2}$

K = Número de cilindros

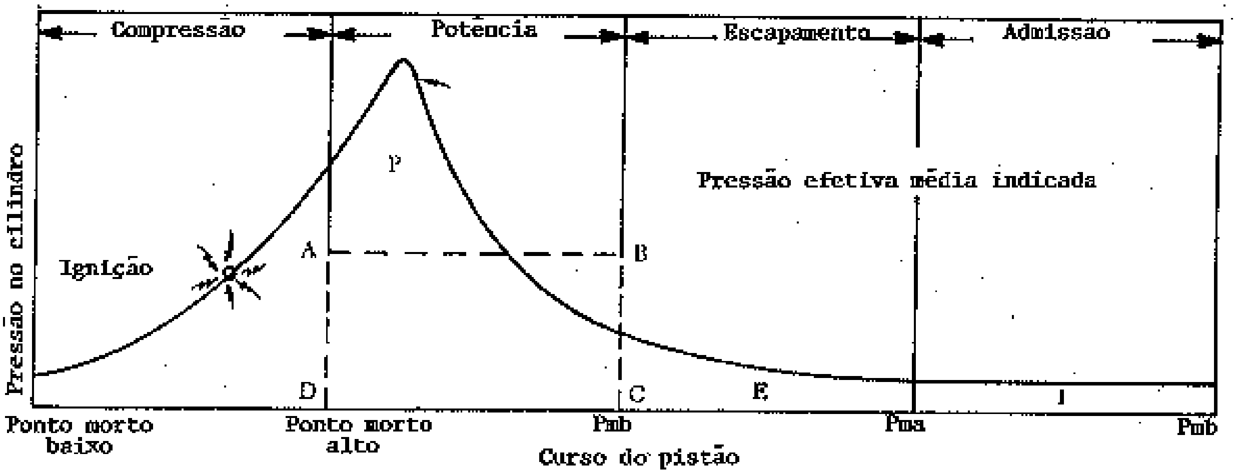


Figura 1-28 Pressão do cilindro durante o ciclo de potência.

Na fórmula acima, a área do êmbolo multiplicada pela pressão efetiva média indicada, dá a força que atua sobre o pistão em polegadas. Essa força,multiplicada pelo comprimento do curso, em pés, dá o trabalho desenvolvido em um tempo de potência, o qual multiplicado pelo número de tempos de potência por minuto, fornece o número de lb.pé por minuto, de trabalho produzido por um cilindro.

Multiplicando-se esse resultado pelo número de cilindros do motor, encontramos a quantidade de trabalho desenvolvido em lb.pé pelo motor.

Uma vez que HP é definido como o trabalho produzido à razão de 33.000 lb.pé por minuto, o número total de lb.pé de trabalho desenvolvido pelo motor é dividido por 33.000 para se encontrar a potência indicada.

EXEMPLO
DADOS:

Pressão efetiva média indicada (P) = 165 PSI
CURSO (L) = 6" ou 0,5 PÉ
Diâmetro interno do cilindro (A) = 5,5"
RPM = 3.000
Número de cilindros (K) = 12

$$\text{HP INDICADA} = \frac{\text{PLANK}}{\text{33000 LB PE / MIM}}$$ Encontre a HP indicada.

A é calculado usando-se a equação:

$A = ¼\, ¶D^2$

$A = ¼ \times 3{,}1416 \text{ X } 5{,}5 \text{ X } 5{,}5 = 23{,}76 \text{ POL}^2$

N é calculado multiplicando-se a RPM por N = x 3.000 = 1.500 RPM

Agora, substituindo na fórmula:
HP INDICADA =

$$\frac{165x0{,}5x23{,}7x1500x12}{\text{33.000 LB. PE / MIM}} = 1069{,}20$$

Potência ao freio

O cálculo da potência indicada, discutido no parágrafo precedente, é a potência teórica de um motor sem atrito.

A potência total pedida para vencer o atrito, tem que ser subtraída da potência indicada, para chegar à potência real entregue à hélice.

A potência entregue para a hélice para trabalho útil é conhecida como B.H.P. (potência ao freio).

A diferença entre potência indicada e potência ao freio é conhecida como potência de atrito, a qual é a potência requerida para vencer as perdas mecânicas, tais como a ação de bombeamento e atrito dos êmbolos e de todas as partes móveis.

Na prática, a medição do BHP de um motor envolve a medição de variáveis, conhecidas como torque ou momento de torção.

Torque é o produto de uma força pela distância dessa força, ao eixo sobre o qual ela atua, ou:

TORQUE = FORÇA x DISTÂNCIA (A 90º DA FORÇA)

Torque é uma medida de carga, expressa em libra-polegada (lb.pol.) ou libra-pé, e não deverá ser confundida com trabalho, que é expresso em polegada-libra (pol.lb) ou pé-libra (pé.lb).

Existe uma quantidade de dispositivos para medição de torque, da qual o freio de Prony, o dinamômetro e o torquímetro são exemplos.

O freio de Prony é um desses dispositivos típicos (figura 1-29), o qual mede a potência de saída disponível de um motor na bancada de teste.

Ele consiste essencialmente em um anel articulado ou freio, o qual pode ser preso a um tambor estriado preso ao eixo da hélice.

O anel e o tambor formam um freio de atrito, o qual pode ser ajustado por meio de uma roda.

Um braço de alavanca de comprimento conhecido, é rigidamente ligado ao anel estriado ou constitui parte do mesmo, e termina num ponto onde se apóia num conjunto de balança.

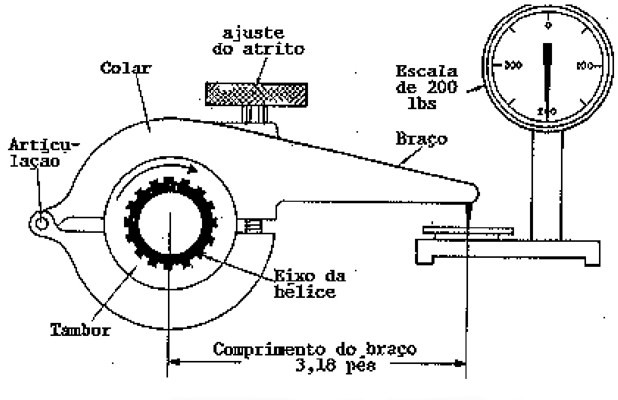


Figura 1-29 Típico freio de *Prony*.

Na medida em que o eixo gira, tende a girar também o anel estriado, sendo impedido pelo braço de alavanca que se apóia na balança. A escala da balança mostra a leitura da força necessária para impedir o movimento do braço. O produto reultante será o torque exercido pela rotação do eixo.

Exemplo: Se uma balança registra 200 lb, e o comprimento do braço for 3,18 pés; o torque exercido pelo eixo será:

200 lb x 3,18 pés = 636 lbs.pé

Uma vez conhecido o torque, o trabalho produzido por rotação do eixo da hélice pode ser registrado sem dificuldade por meio da equação:

Trabalho por rotação = 2 π x Torque.

Se o trabalho por rotação for multiplicado pela RPM, o resultado será trabalhado por minuto ou potência.

Se o trabalho for expresso em lb.pé por minuto, esse valor será dividido por 33.000; o resultado será a potência ao freio do eixo. Em outras palavras:

Potência = Trabalho por rotação x RPM
E BHP

$$= \frac{Trabalho\ por\ rotação \times RPM}{33.000}$$

$$\frac{Comprimento\ do\ braço(pé) \times RPM}{33.000}$$

ou BHP = 2π x força indicada na balança(LBS)

Exemplo:
Dados:
Força na balança = 200 lbs
Comprimento do braço = 3,18 pés
RPM = 3.000
π = 3,1416
Encontro BHP

Substituindo na equação

$$BHP = \frac{6,2832x200x3,18x3,000}{33.000} = 363,2$$

BHP = 363

Enquanto o atrito entre o anel freio e o tambor do eixo da hélice for suficiente para impor uma carga aplicável ao motor, porém insuficiente para provocar sua parada, não será necessário conhecer o valor do atrito entre o anel e o tambor para calcular o BHP.

Se não houvesse carga imposta, não haveria torque a ser medido e o motor sofreria um "disparo".

Se a carga imposta for tão grande que cause o estol do motor, pode haver considerável torque a ser medido, mas não haverá RPM. Nesse caso é impossível medir o BHP do motor.

Contudo, se existir um atrito razoável entre o tambor-freio e o anel, e a carga for aumentada, a tendência do eixo da hélice de conduzir o anel e o braço aumenta, impondo dessa forma, maior força à balança.

Enquanto o aumento de torque for proporcional à diminuição de RPM, a potência liberada no eixo permanece inalterada. Isso pode ser visto da equação na qual 2¶ e 33.000 são constantes e torque e RPM são variáveis.

Se a alteração na RPM for inversamente proporcional à alteração no torque, seu produto irá permanecer inalterado. Dessa forma, o BHP permanecerá, também, inalterado.

Isso é importante porque mostra que a potência é função tanto do torque quanto da RPM, e pode ser alterada, alternando-se o torque, a RPM ou ambos.

Potência de atrito

Potência de atrito é a potência indicada menos a potência de freio. É a potência usada por um motor para vencer o atrito entre as partes móveis, aspirar combustível, expulsar os gases de escapamento, acionar bombas de óleo e combustível, e similares.

Nos motores aeronáuticos modernos, essa potência perdida por atrito é elevada, podendo atingir de 10% a 15% da potência indicada.

Pressões efetivas médias de freio e de atrito

A P.E.M.I. (pressão efetiva média indicada), discutida anteriormente, é a pressão média produzida na câmara de combustão durante o ciclo de operação, e é uma expressão teórica de potência sem fricção, conhecida como potência indicada. Além de desprezar completamente a potência perdida por atrito, a potência indicada não informa quanta potência real é entregue ao eixo da hélice para produzir trabalho útil. Contudo, está relacionada com a pressão real, a qual ocorre no cilindro e pode ser usada como uma medida dessas pressões.

Para registrar a perda por atrito e a potência líquida de saída, a potência indicada de um cilindro pode ser conceituada como duas potências separadas, cada uma produzindo um efeito diferente. A primeira vence o atrito interno, e a potência assim consumida é conhecida como potência de atrito. A segunda, conhecida como potência de freio, produz trabalho útil para o eixo da hélice. Logicamente, por conseguinte, a porção de P.E.M.I. que produz potência de freio, é denominada P.E.M.F. (pressão efetiva média de atrito). Isso está ilustrado na figura 1-30. A P.E.M.I., é uma expressão útil da potência total de saída do cilindro, mas não é a quantidade física real. Da mesma forma, P.E.M.A. e P.E.M.F. são teóricas, mas expressões úteis das perdas por atrito e potência líquida de saída.

Embora P.E.M.F. e P.E.M.A. não existam de fato, no cilindro elas provêem meios convencionais de se representar os limites de pressão ou taxas de desempenho do motor, por toda sua faixa de operação. Isto é verdade, desde que haja um relacionamento entre P.E.M.I., P.E.M.F. e P.E.M.A.

Uma das limitações básicas da operação do motor é a pressão desenvolvida no cilindro, durante a combustão. Na discussão de razão de compressão e pressão efetiva média indicada, foi observado que, dentro de certos limites, o aumento de pressão resulta em aumento de potência. Foi notado também, que se a pressão no cilindro não for controlada dentro de limites estreitos, perigosas cargas internas serão impostas, podendo resultar em falha do motor. É, portanto, necessário ter meios de determinarmos essas pressões no cilindro, como medida de proteção, e para uma aplicação eficiente da potência.

Se o BHP for conhecido o P.E.M.F. pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$P.E.M.F. = \frac{BHP \text{ x } 33000}{\text{LANK}}$$

Exemplo: Calcule P.E.M.F

Dado:

BHP	=1000
Curso	= 6"
Diametro interno do cilindro	= 5,5"
RPM	= 3.000
número de cilindros	= 12

Calcule o comprimento do curso (em pés):
L = 0,5

Calcule a área do cilindro
A = ¼¶D^2 = 0,7854 x 5,5, x5,5 = 23,76 pol^2

Calcule o número de tempos de potência por minuto:
N = ½ x RPM = ½ x 3.000 = 1.500
Substituindo na equação:

$$PEMF = \frac{1000x33000}{0{,}5x23{,}76x1500x12} = 154{,}33 \text{ ibl / pol}^2$$

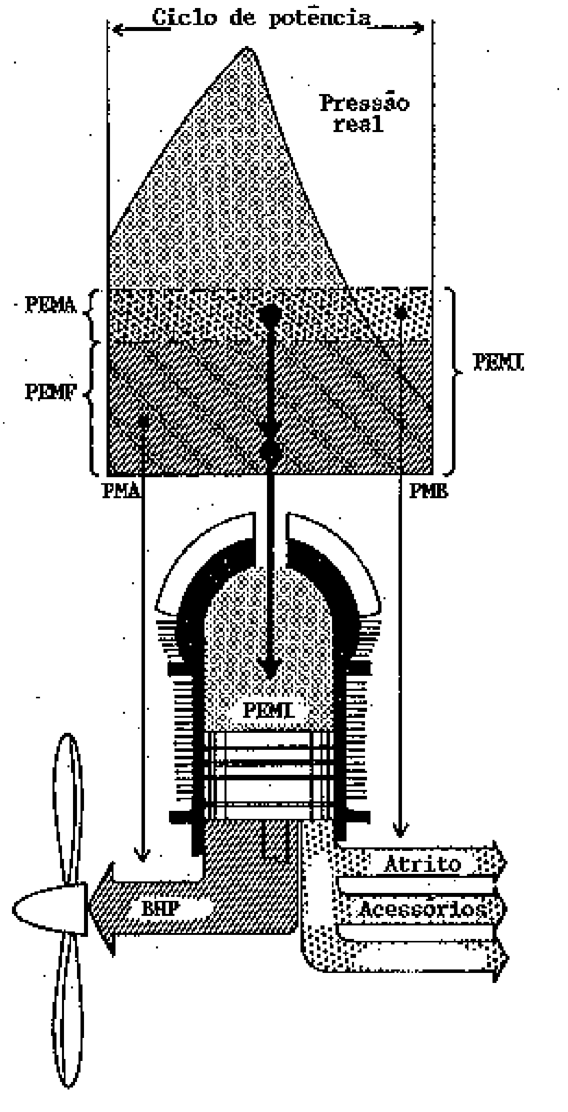


Figura 1-30 Pressões e potências.

Potência de empuxo

Potência de empuxo pode ser considerada como resultado do trabalho conjunto do motor e da hélice.

Se uma hélice pudesse ser projetada para ser 100% eficiente, o empuxo e a potência freio seriam os mesmos. Contudo, a eficiência da hélice varia com a velocidade do motor, atitude, altitude, temperatura e velocidade do ar; portanto, a razão da potência de empuxo e a potência ao freio entregue para o eixo da hélice nunca serão iguais.

Por exemplo, se um motor desenvolve 1.000 BHP e é usado com uma hélice com eficiência de 85%, a potência de empuxo dessa combinação motor-hélice é 85% de 1.000 ou 850 HP de empuxo.

Dos quatro tipos de potência discutidos, é a potência de empuxo que determina o desempenho do conjunto motor-hélice.

RENDIMENTOS

Rendimento térmico

Qualquer estudo de potência em motores envolve considerações de calor como fonte de potência. O calor produzido pela queima da gasolina nos cilindros causa uma rápida expansão dos gases nesses cilindros, e eles por sua vez, movimentam os êmbolos e criam energia mecânica.

Há muito tempo sabemos que trabalho mecânico pode ser convertido em calor e que uma dada quantidade de calor contém a energia equivalente a uma certa quantidade de trabalho mecânico.

Calor e trabalho são teoricamente intercambiáveis, e mantendo uma relação fixa entre um e outro.

Calor pode ser então medido em unidades de trabalho (Lb.pé por exemplo), bem como em unidades de calor. O BTU (Unidade inglesa de medição de calor) é a quantidade de calor requerida para aumentar a temperatura de uma Lb de água de 1ºF. Isso é equivalente a 778 Lb.pé de trabalho mecânico.

Uma libra de combustível derivado de petróleo, quando queimado com uma quantidade de ar suficiente para consumí-lo completamente, libera 20.000 BTU, o equivalente a 15.560.000 Lb.pé de trabalho mecânico.

Esses valores expressam a energia calorífica do combustível em unidades de calor e trabalho, respectivamente.

A razão de trabalho útil produzido por um motor, em relação à energia calorífica do combustível que ele utiliza, expresso em unidades de trabalho e calor é chamado de rendimento térmico.

Se dois motores similares utilizam quantidades iguais de combustível, obviamente o motor que converter em trabalho a maior parte da energia do combustível (maior rendimento térmico) irá liberar maior quantidade de potência. Além disso, o motor que tiver maior rendimento térmico terá menos calor residual disponível para as válvulas, cilindros, êmbolos e sistema de refrigeração do motor.

Um alto rendimento térmico também significa um baixo consumo específico de combustível e, dessa forma, menos combustível para um vôo de uma determinada distância a uma determinada potência. Assim, a importância prática de um alto rendimento térmico, é que ele constitui uma das mais desejáveis características no desempenho de um motor aeronáutico.

Do calor total produzido, 25% a 30% é utilizado na potência de saída, 15% a 20% é perdido em refrigeração (calor irradiado das aletas da cabeça do cilindro); 5% a 10% é perdido para vencer o atrito no movimento de peças; e 40% a 45% é perdido através do escapamento.

Qualquer coisa que aumente o conteúdo térmico que produz trabalho mecânico no êmbolo, o qual reduz o atrito e perdas na aspiração, ou que reduzem a quantidade de combustível que não é queimada, ou perda de calor para as peças do motor, aumentam o rendimento térmico.

A porção do calor total de combustão, que é transformada em trabalho mecânico, depende em grande parte da razão de compressão.

Razão de compressão é a razão entre o volume deslocado pelo pistão e o volume da câmara de combustão. Se os outros parâmetros permanecem iguais, quanto maior a razão de compressão, maior será a proporção entre energia calorífica de combustão transformada em trabalho útil no eixo de manivelas.

Por outro lado, aumentando-se a razão de compressão, aumenta-se a temperatura da cabeça do cilindro. Esse é um fator limitante, já que as temperaturas, extremamente altas, criadas por elevadas taxas de compressão, causam rápida deterioração do material do cilindro e detonação do combustível.

O termo, rendimento de um motor, pode ser baseado em BHP ou IHP, e é representado pela fórmula:

Rendimento térmico indicado=

$$= \frac{IHP \times 33.000}{Peso\ comb.queimado/\min \times valor\,do\,calor \times 778}$$

A fórmula para obtenção da eficiência térmica ao freio, é a mesma mostrada acima, substituindo-se o IHP pelo valor do BHP.

Exemplo:

Um motor fornece 85 BHP por um período de 1 hora e, durante esse tempo, consume 50 libras de combustível. Considerando-se que o combustível tem um conteúdo de calor de 18.800 BTU por libra, calcular o rendimento térmico do motor.

Rendimento térmico ao freio:

$$\frac{85x33.000}{833x18.800x778} = \frac{2.805.000}{12.184.569} = 0{,}23.$$

Rendimento térmico ao freio = 0,23 ou 23%.

O rendimento térmico dos motores alternativos situa-se em aproximadamente 34%, isto é, eles transformam apenas cerca de 34% do calor produzido pelo combustível queimado em energia mecânica. O calor restante é perdido através dos gases de escapamento, refrigeração do sistema e atrito interno do motor. A distribuição térmica em um motor alternativo é ilustrado na.

Rendimento mecânico

Rendimento mecânico, é a taxa que mostra o quanto da potência desenvolvida pelos gases expandidos no cilindro são realmente entregues na saída do eixo. É uma comparação entre BHP e IHP. Pode ser expresso pela fórmula:

$$\text{rendimento mecânico} = \frac{BHP}{IHP}$$

Potência ao freio, é a potência útil entregue ao eixo da hélice; potência indicada, é a potência total desenvolvida nos cilindros. A diferença entre as duas é a potência de atrito, potência perdida para vencer o atrito. O fator de maior efeito no rendimento mecânico é o atrito dentro do motor. O atrito, entre as peças móveis de um motor, permanece praticamente constante em toda faixa de velocidade do motor. Portanto, o rendimento mecânico de um motor será maior quando ele estiver funcionando à RPM, na qual a máxima BHP for desenvolvida. O rendimento mecânico de um motor aeronáutico alternativo médio aproxima-se de 90%.

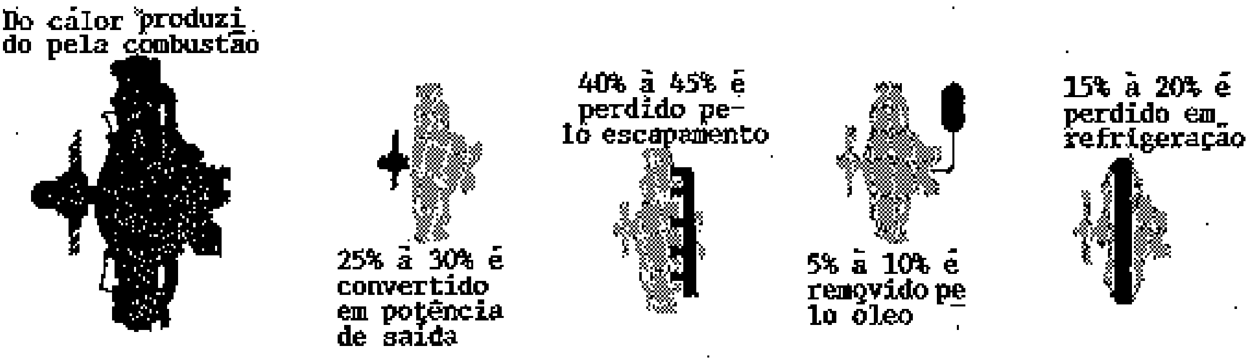

Do calor produzido pela combustão
25% à 30% é convertido em potência de saída
40% à 45% é perdido pelo escapamento
5% à 10% é removido pelo óleo
15% à 20% é perdido em refrigeração

Figura 1-31 Distribuição térmica em um motor.

Rendimento volumétrico

Rendimento volumétrico, outro rendimento do motor, é uma taxa expressa em termos de porcentagem. É uma comparação entre volume da carga ar/combustível (corrigida pela temperatura e pressão) introduzida nos cilindros e o deslocamento total do êmbolo do motor. Diversos fatores provocam a saída de um rendimento volumétrico de 100%.

Os êmbolos de motores, sem supercompressor, deslocam o mesmo volume cada vez que são deslocados no cilindro, do ponto morto superior ao ponto morto inferior.

A quantidade de carga que preenche esse volume, no tempo de admissão, depende da pressão existente e da temperatura do ar exterior. Dessa forma, para calcular o rendimento volumétrico de um motor, é necessário estabelecer padrões para a pressão atmosférica e para a temperatura.

O padrão americano para atmosfera foi estabelecido em 1958, e fornece a pressão necessária e o valor de temperatura para se calcular rendimento volumétrico.

A temperatura padrão ao nível do mar é 15ºC. A essa temperatura, a pressão de uma atmosfera é 14.69 lb/pol^2 e essa pressão suporta uma coluna de mercúrio de 29,92 pol. de altura.

Essas condições de padrão ao nível do mar, determinam uma densidade padrão, e se o motor aspira um volume de carga dessa densidade exatamente igual ao deslocamento do êmbolo, é dito que ele está operando a 100% de rendimento volumétrico.

Um motor aspirando um volume inferior a esse, tem rendimento volumétrico inferior a 100%. Um motor equipado com um compressor interno ou externo de alta velocidade, pode ter um rendimento volumétrico maior que 100%. A equação para rendimento volumétrico é:

rendimento volumétrico =

$$= \frac{\text{vol. da carga corrigida quanto à temp./pressão}}{\text{deslocamento do êmbolo}}$$

Muitos fatores diminuem o rendimento volumétrico, alguns deles são:

(1) operação com o motor reduzido.

(2) tubulações de admissão compridas e de pequeno diâmetro.

(3) curvas acentuadas no sistema de indução.

(4) temperatura do ar do carburador muito elevada.

(5) temperatura da cabeça do cilindro muito elevada.

(6) descarga incompleta.

(7) tempo de abertura de válvulas inadequado.

Rendimento propulsivo

Uma hélice é utilizada com um motor para prover empuxo. O motor fornece BHP através da rotação do eixo, e a hélice absorve a BHP e a converte em potência de empuxo. Nessa conversão, alguma potência é perdida.

Uma vez que o rendimento de qualquer máquina é a razão entre a potência útil de saída e a de entrada; o rendimento propulsivo (nesse caso, rendimento da hélice) é a razão entre a potência de empuxo e a potência ao freio. Na média, a potência de empuxo constitui aproximadamente 80% da potência ao freio. Os outros 20% são perdidos em atrito e escorregamento.

O controle dos ângulos das pás da hélice, é o melhor método de obtermos o máximo de rendimento propulsivo para todas as condições encontradas em vôo.

Durante a decolagem, quando a aeronave está se deslocando em baixa velocidade e, quando são requeridos potência e empuxo máximos, um baixo ângulo de pá da hélice produzirá o máximo de empuxo.

Para vôos em alta velocidade ou picada, o ângulo da pá é aumentado para se obter o máximo de empuxo e rendimento. A hélice de velocidade constante é utilizada para fornecer o empuxo requerido, a um rendimento máximo, para todas as condições de vôo.

CONSTRUÇÃO DO MOTOR A TURBINA

Em um motor alternativo, a admissão, a compressão, a combustão e o escapamento ocorrem na mesma câmara de combustão; consequentemente, cada uma dessas funções tem ocupação exclusiva da câmara, durante sua respectiva parte no ciclo de combustão.

Uma vantagem significante do motor de turbina a gás, contudo, é que existem seções separadas para cada função, e todas as funções ocorrem simultaneamente sem interrupção.

Um motor de turbina a gás tipico consiste em:

(1) uma entrada de ar
(2) seção do compressor
(3) seção de combustão
(4) seção de turbina
(5) seção de escapamento
(6) seção de acessórios
(7) sistemas necessários para partida, lubrificação, suprimento de combustível e fins auxiliares, tais como degelo, refrigeração e pressurização.

Os principais componentes de todos os motores de turbina a gás são basicamente os mesmos; contudo, a nomenclatura das peças componentes de diversos motores de uso corrente, varia ligeiramente devido à diferença na terminologia de cada fabricante. Essas diferenças estão refletidas nos manuais de manutenção aplicáveis.

O fator que mais influencia as características de construção de um motor de turbina a gás é o tipo do compressor (de fluxo axial ou centrífugo) para o qual o motor é projetado. Adiante neste capítulo, será dada uma descrição detalhada de compressores, mas para o momento vejamos as figuras 1-32 e 1-33.

Observe o efeito físico que os dois tipos de compressores têm sobre as características de construção do motor. É obvio que existe uma diferença nos seus comprimentos e diâmetros.

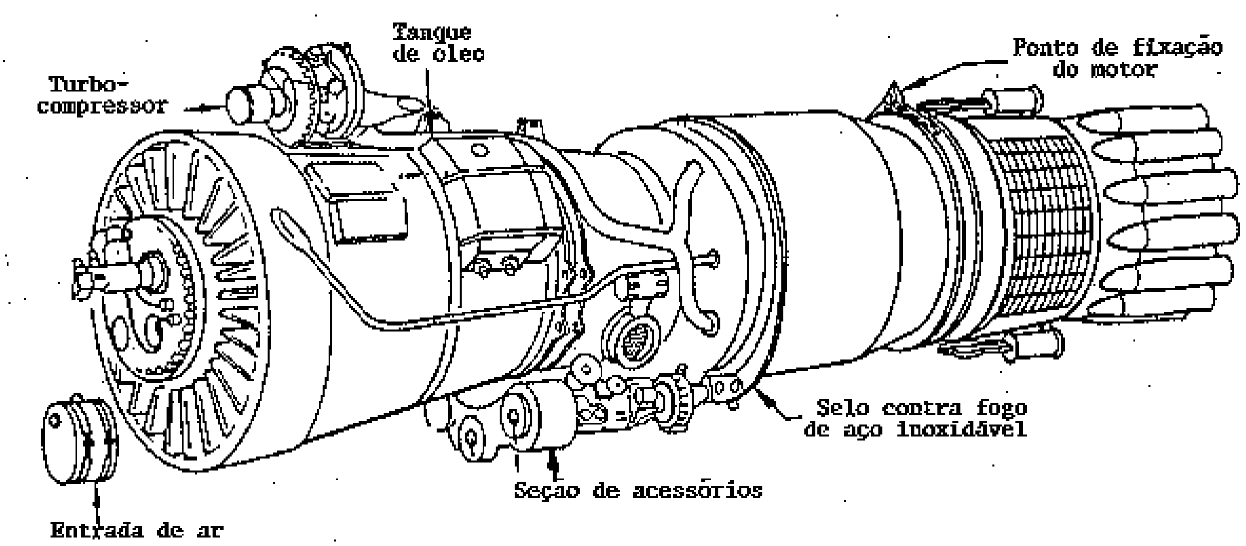


Figura 1-32 Motor de fluxo axial.

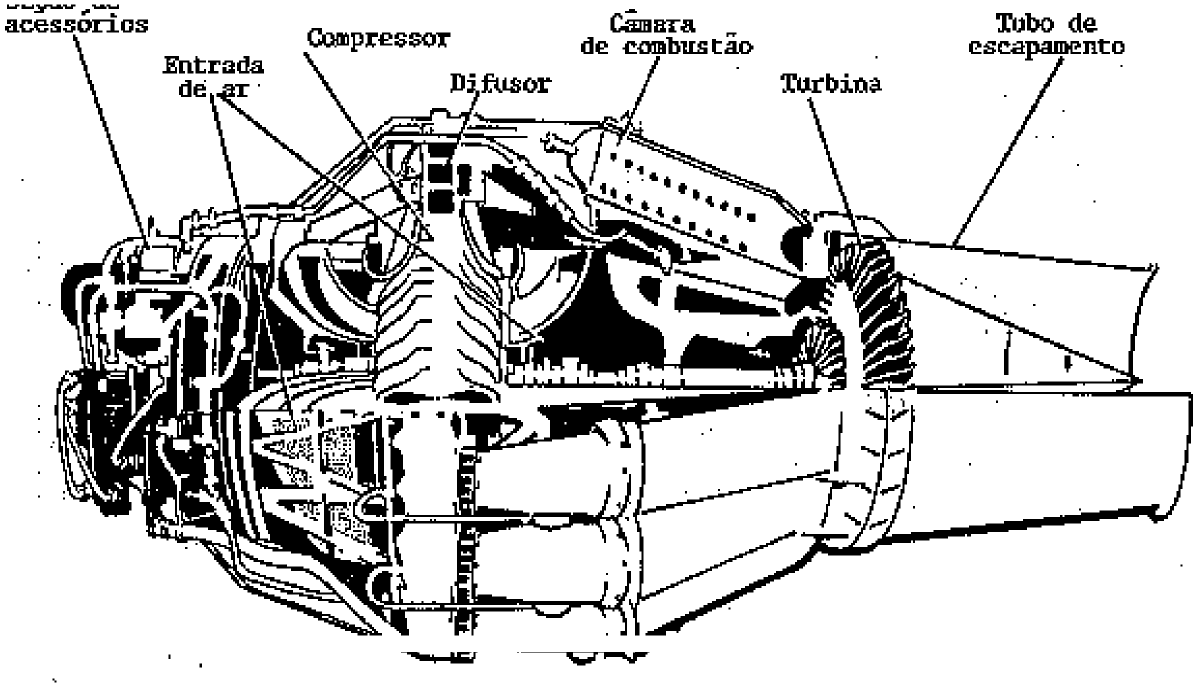


Figura 1-33 Motor de fluxo centrífugo.

Observamos que no motor de fluxo axial, o duto da entrada de ar é um dos principais componentes do motor; por outro lado, no motor de fluxo centrífugo, o ar, após passar pela entrada, é dirigido para as aletas indutoras do compressor através de passagens circunferenciais, localizadas à frente e atrás do impelidor.

As passagens são protegidas com tela, para evitar a entrada de objetos estranhos que poderiam causar sérios danos em componentes metálicos, quando permitida a sua entrada no compressor.

Os acessórios dos dois tipos de motores estão localizados em pontos diferentes. Isso é necessário devido à construção do motor.

A parte dianteira do motor de fluxo axial é utilizada como entrada de ar; consequentemente, os acessórios deverão estar localizados em outra parte.

Além das características já mencionadas, existem poucas dissimilaridades visuais entre os demais componentes principais dos dois motores.

Entrada de ar

A entrada de ar é projetada de forma a dirigir o ar para o compressor com um mínimo de perda de energia, resultante do arrasto aerodinâmico ou pressão de impacto; ou seja, o fluxo de ar no compressor deve estar livre de turbulência para alcançar o máximo de eficiência de operação.

Um projeto adequado contribui meterialmente para o desempenho da aeronave, aumentando a taxa de pressão de descarga do compressor em relação à pressão de entrada do duto.

A quantidade de ar que entra no motor depende de três fatores:

(1) velocidade do compressor (rpm)
(2) velocidade da aeronave
(3) densidade do ar ambiente

As entradas de ar podem ser classificadas como:

(1) entradas de ar localizadas no nariz da fuselagem ou nacele do motor.

(2) entradas de ar localizadas ao longo dos bordos de ataque das asas, geralmente na raiz, para as instalações de monomotores.

(3) entradas de ar anulares, circundando, no todo ou em parte, a fuselagem ou nacele do motor.

(4) entradas de ar de aspiração, as quais se projetam além da superfície imediata da fuselagem ou nacele.

(5) Entradas de ar embutidas, as quais são rebaixadas do lado da fuselagem ou nacele.

Existem dois tipos básicos de entrada de ar em uso: a entrada simples e a entrada dividida. Geralmente é mais vantajoso utilizar um motor com entrada simples com fluxo axial, para se obter a máxima pressão de impacto, através do fluxo direto. Ela é utilizada quase que exclusivamente sobre as asas ou instalações internas, onde as entradas desobstruídas ajudam prontamente a dirigir o fluxo para um duto direto, curto e simples.

Uma entrada dividida oferece maior oportunidade de difusão do ar; e uma entrada na câmara plena, com a velocidade suficientemente baixa, requerida para utilizar com eficiência um compressor de entrada dupla.

A câmara plena é um lugar de acúmulo de ar de impacto, geralmente associado com a instalação da fuselagem.

É também vantajoso quando a instalação do equipamento ou localização do piloto torna o uso de um duto direto ou simples impraticável. Na maioria dos casos, a entrada dividida permite o uso de dutos muito curtos, com menor queda de pressão resultante, devido ao atrito com a superfície.

Seção de acessórios

A seção de acessórios de um motor turbojato tem diversas funções. A função principal é prover espaço para instalação dos acessórios necessários à operação e controle do motor. Geralmente, também são incluídos acessórios concernentes à aeronave, tais como geradores elétricos e bombas de fluidos.

As funções secundárias incluem a utilização como reservatório e/ou coletor de óleo e alojamento de engrenagens, acionadoras de acessórios e engrenagens de redução.

A montagem e acionamento dos acessórios têm sido sempre um dos grandes problemas nos motores de turbina a gás. Acessórios acionados são geralmente montados em apoios comuns, acima ou adjacentes à seção do compressor, dependendo de ser um motor de fluxo centrífugo ou axial. As figuras 1-34 e 1-35 ilustram a montagem dos acessórios de um motor de fluxo centrífugo e de um motor de fluxo axial, respectivamente.

Os componentes da seção de acessórios de todos os motores de fluxo centrífugo e axial têm essencialmente o mesmo propósito, mesmo quando eles diferem muito em detalhes de fabricação e nomenclatura.

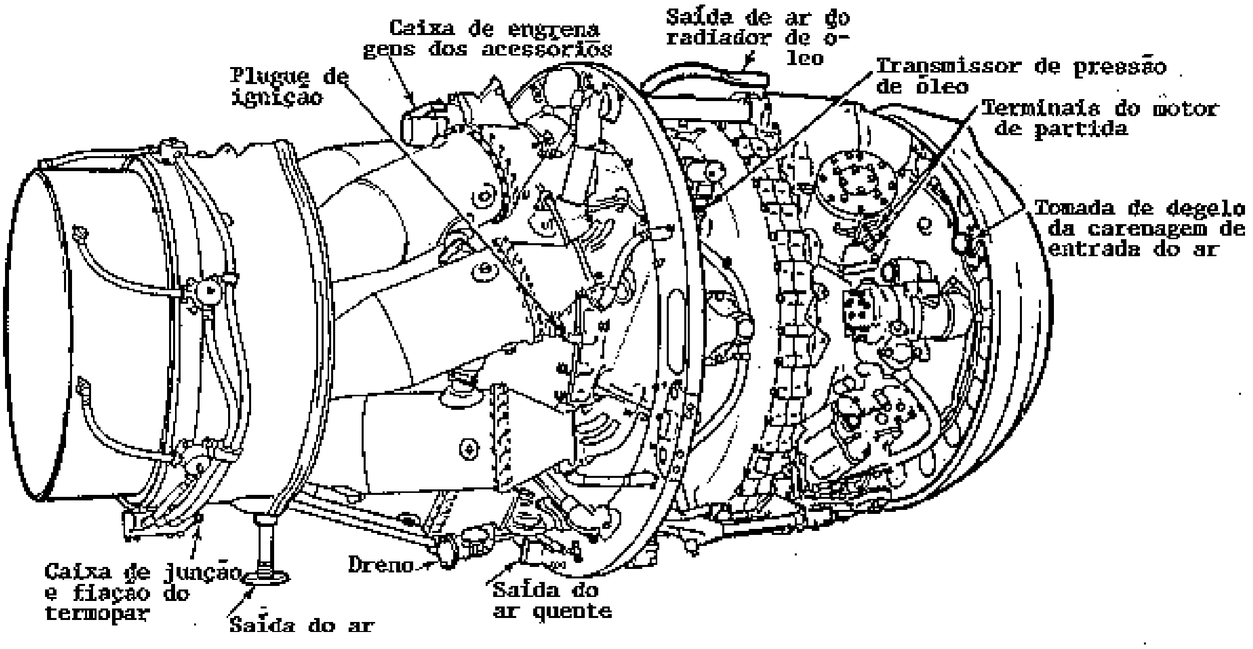

Caixa de engrenagens dos acessórios
Plugue de ignição
Saída de ar do radiador de óleo
Transmissor de pressão de óleo
Terminais do motor de partida
Tomada de degelo da carenagem de entrada do ar
Caixa de junção e fiação do termopar
Saída do ar
Dreno
Saída do ar quente

Figura 1-34 Localização dos acessórios de um motor de fluxo centrífugo.

Os elementos básicos de uma seção de acessórios de um motor de fluxo centrífugo são:

(1) caixa de acessórios, a qual tem usinados, adaptadores para os acessórios acionados pelo motor; e
(2) o trem de engrenagens, o qual está alojado no interior da caixa de acessórios.
(3)

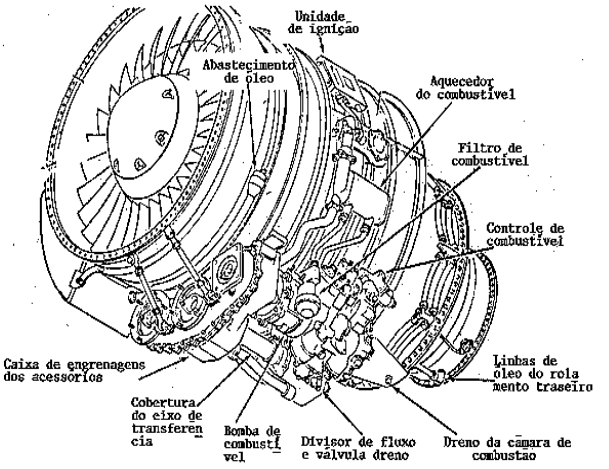

Unidade de ignição
Abastecimento de óleo
Aquecedor do combustível
Filtro de combustível
Controle de combustível
Caixa de engrenagens dos acessórios
Linhas de óleo do rolamento traseiro
Cobertura do eixo de transferencia
Bomba de combustível
Divisor de fluxo e válvula dreno
Dreno da câmara de combustão

Figura 1-35 Seção de acessórios de um motor de fluxo axial.

A caixa de acessórios pode ser projetada para servir como um reservatório de óleo. Se for utilizado um tanque de óleo, um depósito coletor de óleo, geralmente abaixo do suporte do rolamento dianteiro, para drenagem e recuperação do óleo, é utilizado para lubrificar rolamentos e engrenagens de acionamento.

A caixa de acessórios é também provida de tubulações adequadas ou passagens na própria carcaça, para borrifar óleo de lubrificação sobre o trem de engrenagens e mancais de apoio.

O trem de engrenagens é acionado pelo rotor do motor por meio do acoplamento da engrenagem do eixo acionador de acessórios, o qual é preso por estrias a um eixo de engrenagens e conjunto do rotor do cubo do compressor.

As engrenagens de redução, na caixa de engrenagens provêem velocidade adequada para cada acessório ou componente do motor.

Devido ao fato da RPM de operação do rotor ser muito alta, a razão das engrenagens de redução de acessórios é relativamente alta.

Os acessórios acionados, são suportados por mancais de esferas, montados nos furos do adaptador da caixa de acessórios.

Os componentes de uma seção de acessórios de um motor de fluxo axial são uma caixa de engrenagens de acessórios e um conjunto de potência de decolagem, alojando os eixos de acionamento necessários e engrenagens de redução. A figura 1-36 mostra a localização da caixa de engrenagens de acessórios.

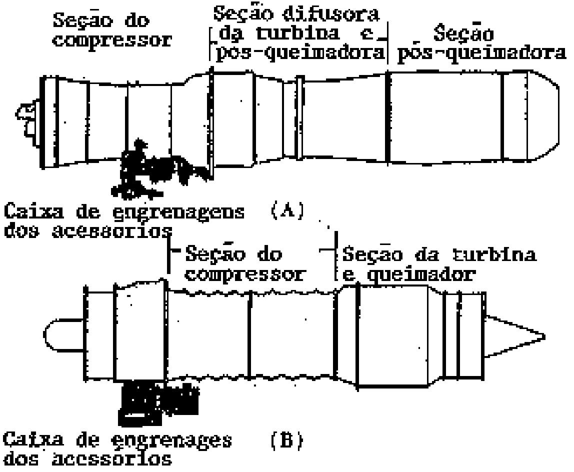

Seção do compressor
Seção difusora da turbina e pós-queimadora
Seção pós-queimadora
Caixa de engrenagens dos acessorios
(A)
Seção do compressor
Seção da turbina e queimador
Caixa de engrenages dos accessorios
(B)

Figura 1-36 A-Caixa de engrenagens dos acessórios por baixo do compressor; e B - Caixa de engrenagens dos acessórios por baixo do suporte do rolamento dianteiro.

Muito embora o estreito relacionamento entre a caixa de engrenagens de acessórios e a de potência de decolagem necessitem estar localizadas, uma próxima à outra, dois fatores afetam a localização das caixas de engrenagens. Esses fatores são o diâmetro do motor e a instalação do motor.

Os projetista estão continuamente empenhando-se em reduzir o diâmetro do motor para melhorar sua linha de fluxo, aumentando dessa forma o desempenho da aeronave através da redução do arrasto. Também a instalação em uma particular aeronave, pode ditar a localização ou remontagem da caixa de engrenagens de acessórios.

A caixa de engrenagens de acessórios tem basicamente a mesma função da seção de acessórios de um motor de fluxo centrífugo. Ela tem o usual adaptador usinado para os acessórios do motor, e aloja e suporta o trem de engrenagens acionadoras dos acessórios.

Também são incluídas tubulações adequadas e passagens na própria carcaça, para lubrificação dos trens de engrenagens e seus mancais de apoio.

Os acessórios, usualmente instalados em um motor, são o controle de combustível com seus dispositivos de governo, a(s) bomba(s) de alta pressão de combustível; bombas de pressão e de retorno de óleo, bomba auxiliar de combustível e, algumas vezes, bomba de combustível de partida e diversos acessórios do motor, incluindo motor de partida, gerador e tacômetro.

Embora esses acessórios sejam na maioria peças essenciais, uma combinação particular dos acessórios acionados pelo motor depende do uso para o qual o motor foi projetado.

Os acessórios acima mencionados (exceto os motores de partida) são do tipo acionado pelo motor. Também associados com os sistemas do motor estão os acessórios não acionados mecanicamente tais como excitadores de ignição, filtros de óleo e combustível, unidades barométricas, válvulas de drenagem, válvulas de sangria do compressor e válvulas de alívio.

Seção do compressor

A seção do compressor de um motor de turbina a gás tem muitas funções. A principal delas é suprir ar em quantidade suficiente às necessidades dos queimadores de combustão. Especialmente para cumprir sua finalidade, o compressor tem que aumentar a pressão da massa de ar recebida do duto de entrada, e então descarregá-la para os queimadores em quantidade e pressão requeridas.

Uma função secundária do compressor é suprir ar de sangria para as diversas finalidades no motor e na aeronave.

O ar de sangria é tomado em qualquer um dos diversos estágios do compressor. A localização exata das tomadas de sangria depende naturalmente da pressão ou temperatura, requerida para um próposito particular. As tomadas são pequenas aberturas na carcaça do compressor, adjacente ao particular estágio do qual o ar será extraído; assim, níveis variados de pressão e calor estão disponíveis, simplesmente sangrando no estágio apropriado.

O ar é frequentemente extraído do último estágio ou estágio de pressão mais elevado, uma vez que nesse ponto, a pressão e temperatura do ar estão no máximo.

Algumas vezes, pode ser necessário resfriar esse ar de alta pressão. Se ele for utilizado para pressurização da cabine ou outros propósitos onde o calor excessivo seria desconfortável ou danoso, será enviado através de uma unidade de refrigeração.

O ar sangrado do motor é utilizado numa ampla variedade de situações, incluindo o acionamento dos acessórios mencionados anteriormente. Algumas das aplicações correntes do ar extraído são:

(1) pressurização, aquecimento e refrigeração da cabine.

(2) equipamentos de degelo e anti-gelo

(3) partida penumática de motores

(4) unidade de acionamento auxiliar (APU)

(5) sistema servo de reforço

(6) potência para acionamento de instrumentos.

A localização da seção do compressor, depende do tipo deste último. As figuras 1-32 e 1-33, ilustram como a montagem dos componentes do motor variam com o tipo de compressor. No motor de fluxo centrífugo, o compressor está localizado entre a seção de acessórios e a seção de combustão; no motor de fluxo axial o compressor está localizado entre o duto de entrada de ar e a seção de combustão.

Tipos de compressor

Os dois tipos principais de compressores, sendo utilizados correntemente em motores turbojatos de aeronaves, são de fluxo centrífugo e axial.

O tipo de compressor é um meio de classificação do motor.

Os termos "fluxo centrífugo"e "fluxo axial" têm sido muito usados para descrever o motor e o compressor. Contudo, eles são aplicáveis para o fluxo de ar através do compressor.

Nos motores de fluxo centrífugo, o compressor alcança seu propósito, captando a massa de ar de entrada e acelerando-a de dentro para fora através de ação centrífuga.

No motor de fluxo axial, o ar é comprimido enquanto continua em sua direção original de fluxo, evitando dessa forma perda de energia causada pela rotação.

Da entrada para a saída, o ar flui por um caminho axial, e é comprimido a uma razão aproximada de 1,25:1 por estágio. Os componentes de cada um desses tipos de compressores têm suas funções individuais na compressão do ar para a sua combustão.

Compressores de fluxo centrífugo

O compressor centrífugo consiste basicamente de um impulsor (rotor), um difusor (estator) e um coletor compressor, ilustrado na figura 1-37. Os dois principais elementos funcionais são o impulsor e o difusor. Embora o difusor seja uma unidade, separada e instalada, interiormente presa por parafusos ao coletor; o conjunto (difusor e coletor) é freqüentemente chamado de difusor. Para classificação durante a familiarização com o compressor, as unidades são tratadas individualmente.

O impulsor é geralmente fabricado em liga de alumínio forjado, tratado termicamente, usinado e polido para restrição mínima ao fluxo e turbulência. Em alguns tipos, o impulsor é fabricado com um único forjamento. Esse tipo de impulsor é mostrado na figura 1-37(A). Em outros tipos de aletas curvas de indução curvas são partes separadas, como ilustrado na figura 1-38.

O impulsor, cuja função é captar e acelerar o ar de dentro para fora para o difusor pode ser de dois tipos: entrada simples ou dupla.

Ambas são similares em construção, ao impulsor do compressor do motor alternativo, sendo o tipo de entrada dupla similar a dois impulsores costa com costa.

Contudo, devido à quantidade de ar muito maior, requerida nos motores turbojato, os impulsores são maiores que os impulsores dos supercompressores.

A principal diferença entre os dois tipos de impulsores são o tamanho e a montagem do duto. O tipo de entrada dupla tem um diâmetro menor, mas funciona geralmente em velocidades de rotação mais elevadas, para assegurar um fluxo de ar suficiente.

O impulsor de entrada dupla permite um duto conveniente direto para o olhal do impulsor (palhetas do indutor), oposto aos dutos mais complicados, necessários para alcançar a parte traseira do tipo de entrada dupla.

Embora ligeiramente mais eficiente na recepção de ar, o impulsor do tipo entrada simples precisa ter um grande diâmetro para fornecer a mesma quantidade de ar que o tipo entrada dupla fornece; isso, naturalmente, aumenta o diâmetro total do motor.

Incluída no duto para motores com compressor de entrada dupla está uma câmara plena. Essa câmara é necessária nos compressores de entrada dupla porque o ar deve ser admitido no motor a ângulos quase retos, em relação ao eixo do motor. Portanto, o ar deve, a fim de proporcionar um fluxo positivo, circundar o compressor do motor a uma pressão positiva antes de entrar nessa unidade.

Incluídas em algumas instalações, como peça essencial da câmara plena, estão as entradas de ar auxiliares (*blow-in doors*). Essas entradas auxiliares admitem ar para o compartimento do motor durante a operação no solo, quando o ar requerido para o motor excede o fluxo que passa através dos dutos de entrada.

As entradas são mantidas fechadas por ação de mola, quando o motor não está operando.

Durante a operação, no entanto, as entradas abrem automaticamente sempre que a pressão no compartimento do motor cai abaixo da pressão atmosférica.

Durante a decolagem e em vôo, a pressão do ar de impacto no compartimento do motor auxilia a mola a manter a entrada fechada.

O impelidor é uma câmara anular provida de uma quantidade de aletas formando uma série de passagens divergentes no coletor. As aletas difusoras dirigem o fluxo para reter a máxima quantidade de energia imprimida pelo impulsor.

Elas também distribuem o ar para o coletor a uma velocidade e pressão satisfatórias para uso nas câmaras de combustão.

Vejamos a figura 1-37(A) e observamos a seta indicando o caminho seguido pelo fluxo de ar através do difusor, e então através do coletor.

O coletor do compressor, mostrado na figura. 1-37(A) desvia o fluxo de ar do difusor, o qual é parte integral do coletor nas câmaras de combustão.

O coletor tem uma saída para cada câmara, afim de que o ar seja igualmente dividido. Um cotovelo de saída do compressor está preso por parafusos à janela de saída. Essas saídas de ar são construídas na forma de dutos e são conhecidas por uma variedade de nomes, tais como dutos de saída de ar, cotovelos de saída ou dutos de entrada da câmara de combustão.

Indiferente à terminologia utilizada, esses dutos de saída cumprem uma parte muito importante do processo de difusão; isto é, eles mudam a direção radial do fluxo de ar para uma direção axial, onde o processo de difusão é completado após a volta.

Para ajudar os cotovelos a cumprirem sua função de maneira eficiente, defletores em cascata são algumas vezes presos dentro deles. Essas aletas ou deflectores reduzem as perdas de pressão de ar, apresentando uma suave superfície torneada. Ver figura 1-37(B).

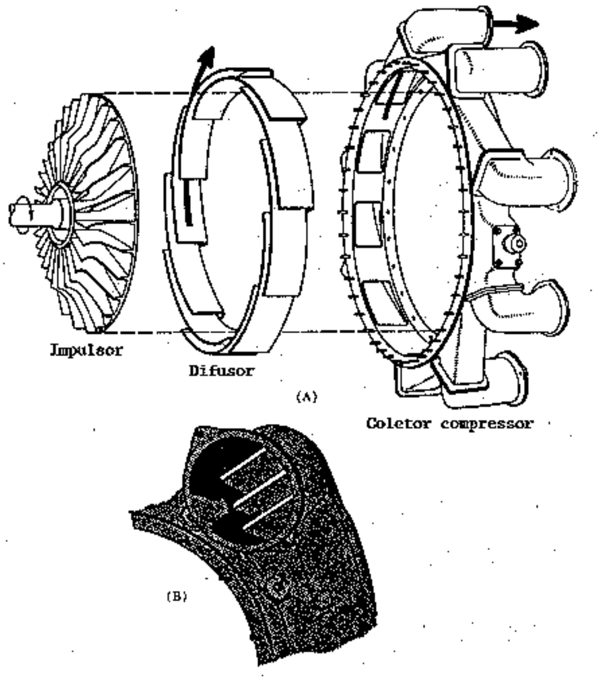


Figura 1-37 A- Componentes de um compressor centrífugo; e B- Saídas de ar do cotovelo, com aletas curvas para reduzir as perdas da pressão do ar.

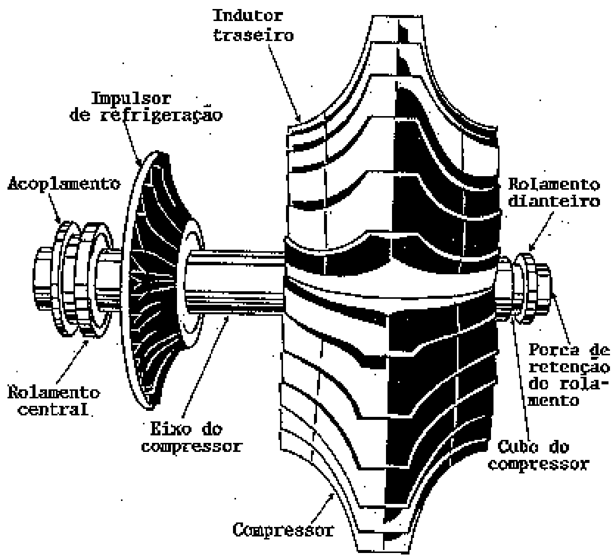


Figura 1-38 Compressor de duas entradas com palhetas indutoras como peças separadas.

Compressor de fluxo axial

O compressor de fluxo axial tem dois elementos principais: o rotor e o estator. O rotor tem lâminas fixas a um eixo. Essas lâminas impelem o ar para trás da mesma forma que uma hélice, devido ao seus ângulos e perfil de aerofólio. O rotor, girando a alta velocidade, toma o ar na entrada do compressor e o impele através de uma série de estágios. A ação do rotor aumenta a compressão do ar em cada estágio, e o acelera para trás através dos diversos estágios.

Com essa velocidade aumentada, a energia é transferida do compressor para o ar na forma de energia dinâmica.

As lâminas estatoras atuam como difusores em cada estágio, convertendo parcialmente alta velocidade em pressão. Cada par consecutivo de rotor e lâminas estatoras constitui um estágio de pressão. O número de fileiras de lâminas (estágios) é determinado pela quantidade de ar e aumento de pressão total requeridos. Quanto maior o número de estágios, mais alta será a taxa de compressão.

Muitos motores utilizam de 10 a 16 estágios.

O estator tem fileiras de lâminas ou aletas em forma de cauda de andorinha, em anéis bipartidos, os quais são, por sua vez, presos interiormente a uma camisa envolvente. As lâminas estatoras projetam-se radialmente pelo eixo do motor e se unem em cada lado de cada estágio do rotor.

A carcaça do compressor, na qual as lâminas estatoras são fixas, é dividida horizontalmente em metades. Tanto a metade superior quanto a inferior podem ser removidas para inspeção e manutenção do rotor e das aletas estatoras.

A função das lâminas é duplicada. Elas são projetadas para receber ar do duto de entrada ou de cada estágio precedente do compressor, e distribuí-lo para o estágio seguinte ou para os queimadores, à pressão e velocidade trabalháveis.

Elas também controlam a direção do ar para cada estágio do rotor, para obterem a máxima eficiência possível das palhetas do compressor. São mostrados na figura 1-39 os elementos do rotor e do estator de um compressor típico de fluxo axial. As palhetas do rotor são geralmente precedidas por um conjunto de lâminas guias de entrada. As lâminas guias direcionam o fluxo de ar para as palhetas do primeiro estágio do rotor a ângulos apropriados e imprimem um movimento em forma de redemoinho ao ar que entra no compressor. Esse pré-redemoinho na direção de rotação do motor melhora as características aerodinâmicas do compressor, reduzindo o arrasto nas palhetas do primeiro estágio do rotor. As lâminas-guia são lâminas de aço curvas, geralmente soldadas a proteções de aço, interna e externamente. As lâminas-guia podem ser precedidas de uma tela de proteção na entrada de ar. Essa tela reduz a possibilidade de entrada acidental de corpos estranhos, tais como pedras, sujeiras, panos e outros restos, em geral no compressor.

A carcaça do compressor de fluxo axial não apenas suporta as lâminas estatoras e provê a parede externa do caminho axial que o ar segue, mas também provê os meios para extração de ar do compressor para os diversos propósitos.

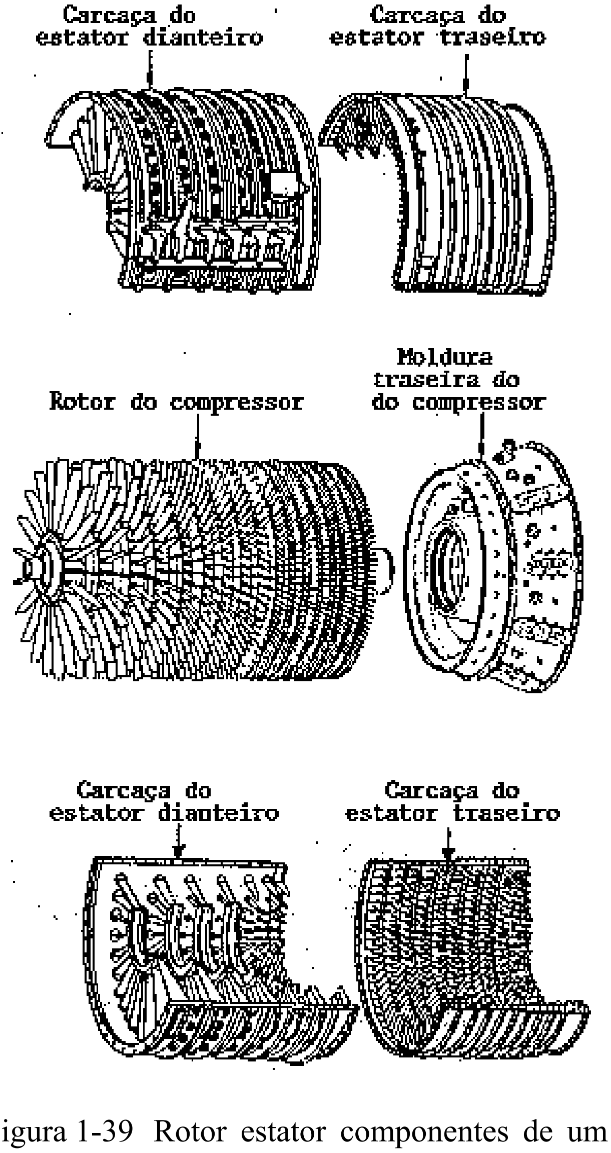

Carcaça do estator dianteiro
Carcaça do estator traseiro
Rotor do compressor
Moldura traseira do do compressor
Carcaça do estator dianteiro
Carcaça do estator traseiro

Figura 1-39 Rotor estator componentes de um compressor de fluxo axial.

As lâminas estatoras são geralmente fabricadas de aço, resistente à corrosão e à erosão. Freqüentemente elas são protegidas por uma cinta de material apropriado para simplificar o problema de fixação. As lâminas são soldadas nos reforços, e a cinta externa é presa à parede interna do compressor por meio de parafusos de retenção.

As palhetas do rotor são fabricadas geralmente em aço inoxidável. Os métodos para fixação das palhetas nas bordas dos discos do rotor variam com os diferentes projetos, mas elas são geralmente fixas aos discos por raíz tipo bulbo ou por raíz tipo pinheiro. (ver figura. 1-40). As palhetas são então fixas por meio de parafusos, martelamento, arames de freno, pinos ou chavetas.

As pontas das palhetas do compressor são de espessura reduzida por "cutouts" chamadas de contorno de palhetas. Esses contornos evitam sérios danos às palhetas ou à carcaça, no caso das palhetas encostarem na carcaça. Essa condição pode ocorrer se as palhetas do rotor tornarem-se excessivamente folgadas, ou se o suporte do motor for reduzido por uma deficiência do mancal. Mesmo se o contorno das palhetas reduzir tais possibilidades, ocasionalmente uma palheta pode quebrar sob fadiga por fricção e causar danos consideráveis às palhetas do compressor e ao conjunto de lâminas estatoras.

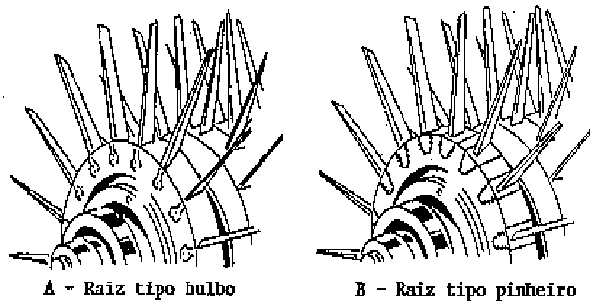


Figura 1-40 Métodos comuns de retenção das lâminas do rotor do compressor.

As palhetas variam de comprimento da entrada para a saída do escapamento porque o espaço de trabalho anular (do tambor para a carcaça) é reduzido progressivamente para trás pela diminuição do diâmetro da carcaça (ver figura 1-41). Antes de concluir a matéria de familiarização do rotor, é bom mencionar que ele pode ser de construção tipo tambor ou tipo disco.

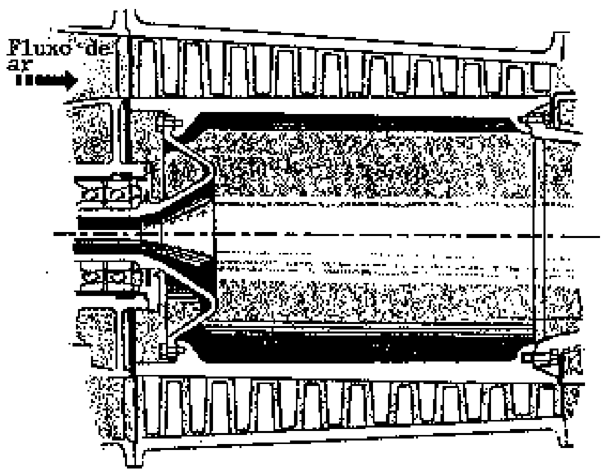


Figura 1-41 Rotor do compressor do tipo tambor.

O rotor do tipo tambor consiste de anéis flangeados para fixar um contra o outro, em que o conjunto pode então ser preso através de parafusos. Esse tipo de construção é satisfatório para compressores de baixa velocidade onde as tensões centrífugas são baixas.

O rotor tipo disco consiste de uma série de discos usinados de alumínio forjado, encaixados por contração em um eixo de aço, com palhetas do tipo cauda de andorinha, nas bordas dos discos. Outro método de construção do rotor é usinar os discos e o eixo de um forjamento de alumínio, e então aparafusar eixos curtos de aço nas partes dianteira e traseira do conjunto para prover superfícies suportes de mancais e estrias para fixação do eixo da turbina.

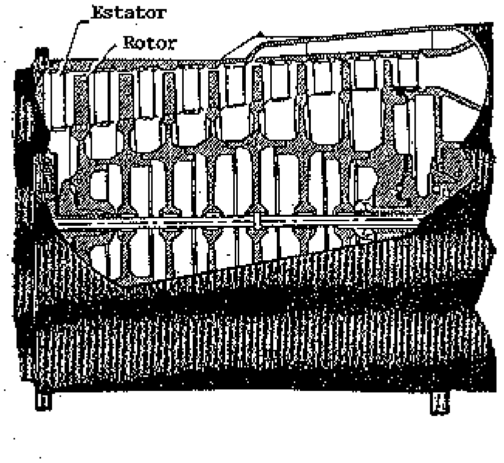


Figura 1-42 Rotor do compressor do tipo disco.

Os rotores tipo disco são usados quase que exclusivamente em todos os motores de alta velocidade atuais, e são do tipo a que se refere esse texto. Os rotores tipo tambor e tipo disco são ilustrados nas figuras 1-41 e 1-42, respectivamente.

A focalização do compressor de fluxo axial até este ponto, tratou apenas do rotor tipo simples, convencional.

Realmente existem duas configurações do compressor axial correntemente em uso, o rotor simples e o rotor duplo, às vezes chamado de compressor tipo carretel - sólido e carretel bipartido, respectivamente.

Uma versão do compressor carretel-sólido usa aletas guias de entrada variável. Também, as primeiras fileiras de aletas estatoras são variáveis. Esta é a montagem do motor General Eletric CJ805. Ele incorpora um compressor de 17 estágios e os ângulos e as aletas guias de entrada e os primeiros seis estágios das aletas estatoras são variáveis. Durante a operação o ar entra pela parte frontal do motor, e é direcionado para o compressor num ângulo apropriado pelas guias de entrada e aletas estatoras variáveis. O ar é comprimido e forçado para a seção de combustão. Um bico injetor, o qual se estende em cada câmara atomiza o combustível para a combustão.

Essas variáveis são controladas em relação direta com a potência requerida a ser produzida pelo motor, em função do posicionamento da manete de potência.

Uma versão do compressor tipo carretel bipartido é encontrada no motor *Pratt and Whitney* JT3C. Ele incorpora dois compressores, com suas respectivas turbinas e eixos conjugados, os quais formam dois sistemas de rotores fisicamente independentes.

Como previamente mencionado, os motores de fluxo centrífugo e axial dominam o campo das turbinas a gás. Existem, contudo, diversas configurações possíveis desses tipos de motor, algumas das quais têm sido verificadas experimentalmente, enquanto outras estão ainda em projeto ou estágio de desenvolvimento em laboratório.

Analisando os compressores de motores de fluxo centrífugo e axial em seu atual estágio de desenvolvimento, o de fluxo axial parece ter vantagens definidas. O advento do compressor axial do tipo carretel bipartido tornou essas vantagens bem mais positivas, oferecendo maior flexibilidade de partida e melhorando a performance em grandes altitudes.

As vantagens e desvantagens desses dois tipos de compressores estão incluídas na lista seguinte. Lembre-se que embora cada tipo de compressor tenha méritos e limitações, o desempenho em potencial é a chave para desenvolvimento e utilização ulteriores.

As vantagens do compressor de fluxo centrífugo são:

(1)a alta pressão a cada estágio.

(2)boa eficiência sobre largo alcance de velocidade rotacional.
(3)simplicidade de fabricação, além do baixo custo.
(4)Baixo peso.
(5)necessidade de baixa potência de partida.

As desvantagens dos compressores de fluxo centrífugo são:

(1) extensa área frontal para o fluxo obtido.
(2) não são práticos para mais de dois estágios, devido às perdas nas curvas entre estágios.

As vantagens do compressor de fluxo axial são:
(1) alto rendimento máximo.
(2) pequena área frontal para um dado fluxo de ar.
(3) fluxo direto, permitindo alta eficiência de impacto.
(4) elevação da pressão, através do aumento do número de estágios com perdas desprezíveis.

As desvantagens do compressor de fluxo axial são:
(1) são eficientes apenas numa estrita faixa de rotação.
(2) difícil fabricação e alto custo.
(3) relativamente pesado.
(4) requer alta potência para partida (isso tem sido parcialmente superado pelos compressores divididos.

Seção de combustão

A seção de combustão encerra o processo de combustão, o qual eleva a temperatura do ar que passa através do motor. Esse processo libera a energia contida na mistura ar/combustível. A maior parte dessa energia é requerida na turbina para acionar o compressor. A energia remanescente cria uma reação ou propulsão e desemboca na traseira do motor na forma de jato em alta velocidade.

A função principal da seção de combustão é, naturalmente, queimar a mistura ar/combustível, adicionando dessa forma energia calorífica ao ar. Para fazer essa queima de forma eficiente a câmara de combustão deve:

(1) prover os meios para a mistura apropriada do ar e do combustível para assegurar boa combustão.
(2) queimar essa mistura de forma eficiente.
(3) resfriar os produtos da combustão para uma temperatura na qual as palhetas da turbina possam resistir sob condições de operação.
(4) distribuir os gases quentes para a seção da turbina.

A posição da seção de combustão é entre o compressor e as seções da turbina. As câmaras de combustão são sempre montadas coaxialmente com o compressor e com a turbina, independente do tipo, uma vez que as câmaras devem estar numa posição de fluxo direto para funcionar eficientemente.

Todas as câmaras de combustão contêm os mesmos elementos básicos:

(1) carcaça;
(2) camisa interna perfurada;
(3) sistema de injeção de combustível;
(4) alguns dispositivos para a ignição inicial;
(5) um sistema de drenagem para drenar o combustível não queimado, após o corte do motor.

Existem três tipos básicos de câmara de combustão, sendo as variações dentro desses tipos, apenas particularidades. Esses tipos são:

(1) câmara múltipla ou caneca
(2) anular ou tipo cesta
(3) caneca anular, ou canelar

A câmara de combustão tipo caneca é típica dos modelos usados, tanto nos motores de fluxo centrífugo quanto nos de fluxo axial. É particularmente adequada para motores de compressor centrífugo (uma vez que o ar que deixa o compressor já está dividido em porções iguais, quando deixa as lâminas difusoras). Ela é então um simples espaço para conduzir o ar dos difusores nas respectivas câmaras de combustão, montadas radialmente em volta do eixo do motor. No passado, o número de câmaras, de duas passaram a dezesseis.

Nos tempos atuais esse número é bastante variado. A figura 1-43 ilustra a montagem para a câmara de combustão tipo caneca. Nos motores de construção americana essas câmaras são numeradas no sentido horário, com a câmara número um fazendo o topo do motor, visto por trás.

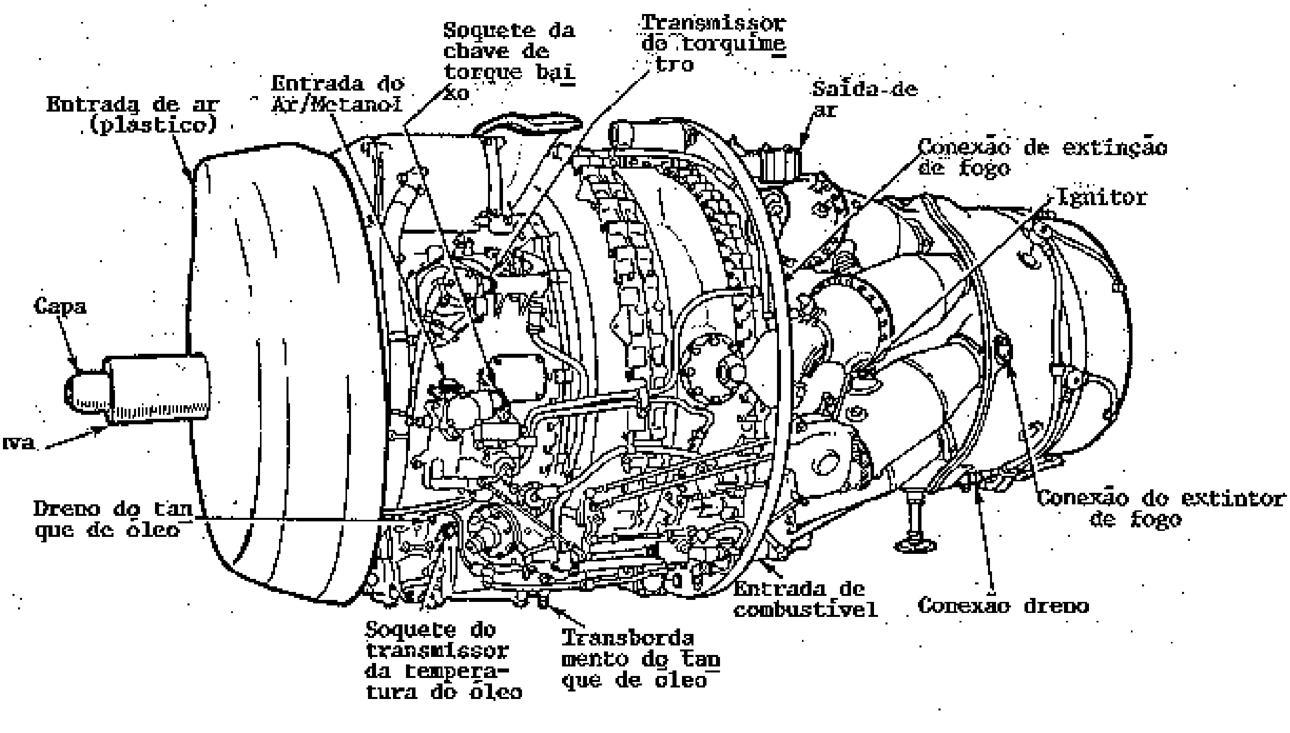

Soquete da chave de torque baixo
Transmissor do torquimetro
Entrada do Ar/Metanol
Entrada de ar (plástico)
Saída de ar
Conexão de extinção de fogo
Ignitor
Capa
va
Dreno do tanque de óleo
Conexão do extintor de fogo
Entrada de combustível
Conexão dreno
Soquete do transmissor da temperatura do óleo
Transbordamento do tanque de óleo

Figura 1-43 Arranjo das câmaras de combustão do tipo caneca.

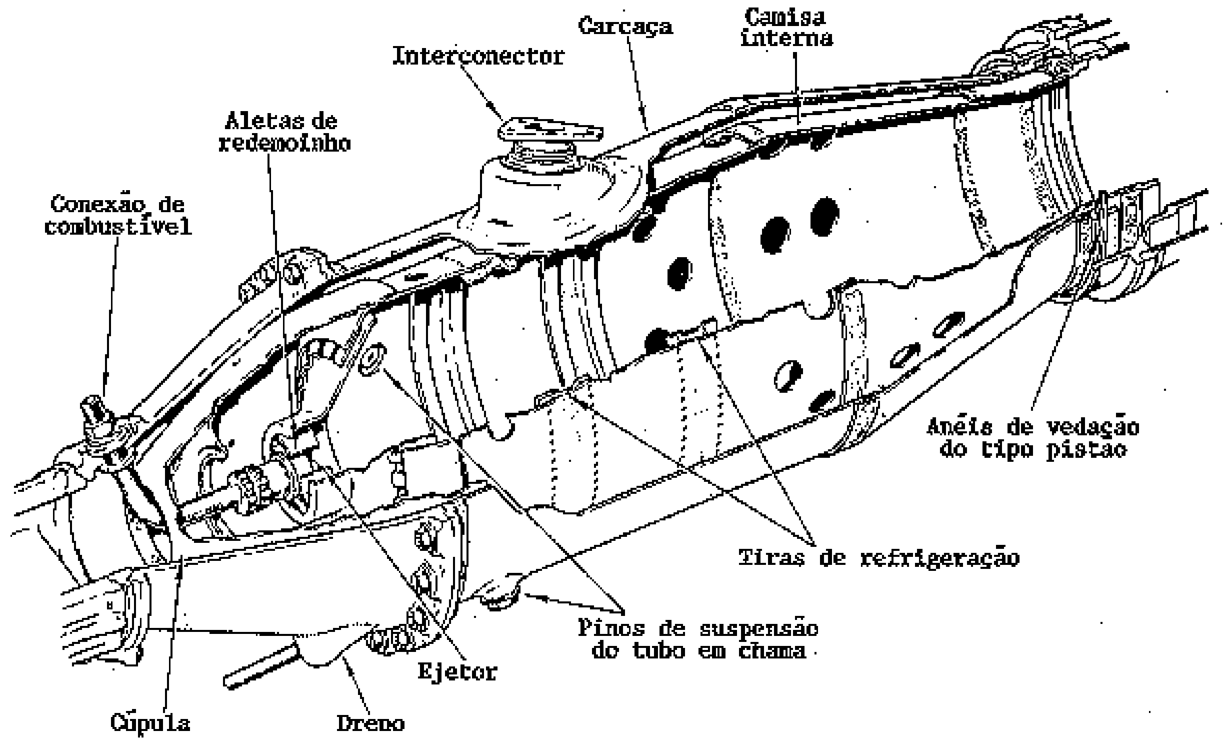

Carcaça
Camisa interna
Interconector
Aletas de redemoinho
Conexão de combustível
Anéis de vedação do tipo pistão
Tiras de refrigeração
Pinos de suspensão do tubo em chama
Ejetor
Cúpula
Dreno

Figura 1-44 Câmara de combustão do tipo caneca.

Cada câmara de combustão tipo caneca consiste de uma carcaça externa, dentro da qual existe uma camisa de aço inoxidável perfurada (resistente a altas temperaturas) ou camisa interna. (ver figura 1-44). A carcaça externa está dividida para facilitar a substituição da camisa. A seção maior ou o corpo da câmara, encaixa a camisa na extremidade de saída, e a tampa da câmara menor encaixa na extremidade frontal ou entrada da camisa.

Os tubos interconectores (propagadores de chama) são peças necessárias das câmaras de combustão tipo caneca.

Uma vez que cada caneca é um queimador separado, operando independentemente de outras canecas, deve haver um meio de espalhar a combustão durante a operação inicial de partida. Isso é conseguido interconectando todas as câmaras, de forma que a chama seja iniciada pelos ignitores em duas das câmaras inferiores, passando através dos tubos e inflamando a mistura de combustível na câmara adjacente.

A ação é continuada até que todas as câmaras estejam queimando.

Os tubos de chama variam em detalhes de construção de um motor para outro, embora os componentes básicos sejam quase idênticos.

Os tubos interconectores são mostrados na figura 1-45. Devemos ter em mente que as câmaras não apenas devem estar interconectadas por um tubo externo (nesse caso uma virola), mas deve haver também um tubo ligeiramente maior, dentro do tubo externo, para interconectar, as camisas das câmaras onde a chama está localizada.

Os tubos externos ou invólucros em volta dos tubos de interconex o da chama, não apenas proporcionam um fluxo de ar entre às câmaras, mas também cumprem uma função isoladora em volta dos tubos de chama.

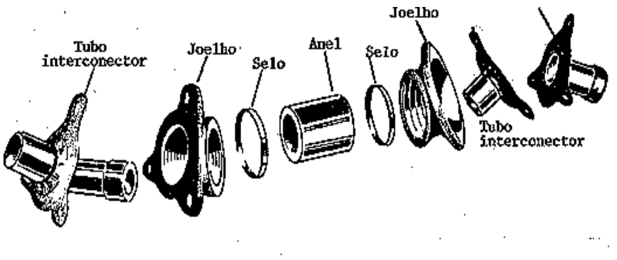


Figura 1-45 Tubos interconectores de chama para câmaras do tipo caneca.

Os ignitores anteriormente mencionados são geralmente dois; e estão localizados em duas câmaras de combustão tipo caneca.

Outro requisito muito importante na construção das câmaras de combustão é prover meios para drenagem do combustível não queimado. Essa drenagem evita a deposição de goma nas tubulações de combustível, bicos injetores e câmaras de combustão.

Esses depósitos são causados pelo resíduo deixado quando o combustível evapora. Provavelmente mais importante é o perigo de explosão (pós chama), se houver acúmulo de combustível após o corte do motor. Se o combustível não for drenado, existe uma grande possibilidade de, na tentativa da partida seguinte, o excesso de combustível na câmara se inflame e a temperatura do tubo de escapamento ultrapasse os limites seguros de operação. As camisas dos combustores tipo caneca(figura 1-44) têm perfurações de tamanhos e formas variados, tendo cada furo um propósito e efeito específicos sobre a propagação da chama dentro da camisa.

O ar que entra na câmara de combustão é dividido entre os próprios furos, venezianas e fendas em duas correntes principais: ar primário e ar secundário.

O ar primário ou de combustão é dirigido dentro da camisa na extremidade frontal, onde se mistura com o combustível e é queimado. O ar secundário ou ar de refrigeração passa entre a carcaça externa e a camisa e se junta aos gases de combustão através dos furos maiores em direção à parte traseira da camisa, resfriando os gases de combustão de cerca de 192ºC para aproximadamente 815ºC.

Para ajudar na atomização do combustível, são construídos furos em volta dos injetores, na cúpula ou extremidade de entrada da camisa do combustor tipo caneca.

As camisas dispõem também de venezianas ao longo do comprimento do eixo axial para direcionar uma camada de ar de refrigeração ao longo de suas paredes internas.

Essas camadas de ar tendem a controlar a forma da chama mantendo-a centrada na camisa, evitando dessa forma a queima das paredes da camisa.

A figura 1-46 ilustra o fluxo de ar através das venezianas na câmara de combustão anular dupla.

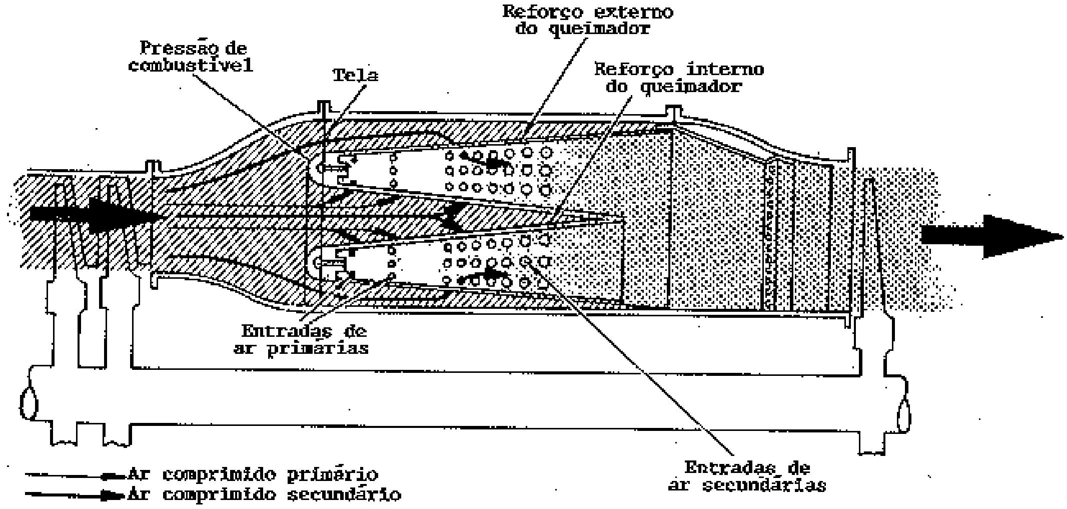

Pressão de combustível
Tela
Reforço externo do queimador
Reforço interno do queimador
Entradas de ar primárias
Ar comprimido primário
Ar comprimido secundário
Entradas de ar secundárias

Figura 1-46 Componentes e fluxo de ar de uma câmara anular dupla.

Algumas provisões são feitas na carcaça da câmara de combustão ou no joelho de saída de ar do compressor, para instalação dos atomizadores de combustível. Os atomizadores distribuem o combustível na camisa numa forma finamente atomizada de borrifo. Quanto mais fino o borrifo, mais rápido e eficiente é o processo de queima.

Dois tipos de atomizadores de combustível correntemente usados em diversos tipos de câmaras de combustão são os atomizadores simples e os atomizadores duplos. As características de construção desses atomizadores estão cobertas em maiores detalhes no Capítulo 3 "Combustível do motor e sistemas de medição de combustível".

A câmara de combustível anular consiste basicamente de um alojamento e uma camisa, assim como a do tipo caneca. A camisa consiste de um anel de contenção circular interior que se estende em volta da parte externa na carcaça do eixo da turbina. A câmara pode ser construída de uma ou mais cestas; isto é, se duas ou mais câmaras forem usadas, elas serão colocadas uma externamente à outra, no mesmo plano radial, por isso, câmara anular dupla. A câmara anular dupla está ilustrada na figura 1-47.

As velas de ignição das câmaras de combustão anulares são do mesmo tipo básico utilizado na câmara tipo caneca, embora os detalhes de construção possam variar. Existem geralmente duas velas instaladas em dois orifícios providos em cada carcaça de câmara. As velas devem ser suficientemente compridas para projetarem-se da carcaça para a coroa circular da câmara de combustão anular dupla.

A câmara de combustão tipo caneca anular é um desenvolvimento Pratt and Whitney para uso em seus motores turbo jato de fluxo axial JT3. Uma vez que esse motor utiliza o compressor carretel bipartido, ele requer uma câmara de combustão capaz de reunir as severas exigências de máxima resistência e comprimento limitado, com elevado rendimento global. Essas exigências são necessárias devido às altas pressões e velocidades do ar presentes nesse tipo de compressor, juntamente com as limitações de comprimento do eixo, explicadas nos dois paragráfos seguintes.

O compressor bipartido requer dois eixos concêntricos ligando os estágios da turbina aos seus respectivos compressores. O compressor frontal ligado aos estágios traseiros da turbina requer o eixo mais comprido.

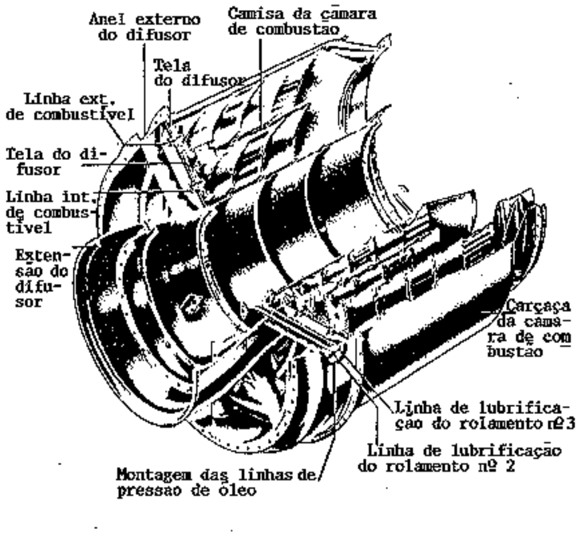

Anel externo do difusor
Camisa da câmara de combustão
Tela do difusor
Linha ext. de combustível
Tela do difusor
Linha int. de combustível
Extensão do difusor
Carcaça da câmara de combustão
Linha de lubrificação do rolamento nº3
Linha de lubrificação do rolamento nº 2
Montagem das linhas de pressão de óleo

Figura 1-47 Câmara de combustão anular dupla.

Estando esse eixo interno ao outro, uma limitação de diâmetro lhe é imposta, pois a distância entre o compressor frontal e a turbina traseira deve ser limitada se os comprimentos críticos do eixo tiverem que ser evitados.

Uma vez que o compressor e a turbina não são susceptíveis a encurtamentos apreciáveis, a necessária limitação de comprimento do eixo deve ser absorvida pelo desenvolvimento de um novo tipo de queimador. Os projetistas tinham que desenvolver um projeto, que daria a performance desejada numa distância relativa muito menor do que tinha sido previamente designada para esse propósito.

As câmaras de combustão tipo caneca anular são montadas radialmente em volta do eixo do motor, sendo o eixo nesse caso a carcaça do eixo do rotor. A figura 1-48 mostra as vantagens dessa montagem.

As câmaras de combustão estão enclausuradas em um anel de contenção removível de aço, o qual cobre toda a seção do queimador. Essa característica torna os queimadores prontamente disponíveis para qualquer manutenção requerida.

Os queimadores estão interligados por tubos de chama saliente, os quais facilitam o processo de partida do motor (como mencionado anteriormente na familiarização da câmara de combustão tipo caneca). Esses tubos de chama funcionam de forma idêntica aos anteriores discutidos, porém eles diferem em detalhes de fabricação.

A figura 1-48 também mostra que cada câmara de combustão contém uma camisa central perfurada em forma de bala. O tamanho e forma dos furos são projetados para admitir a quantidade correta de ar à velocidade apropriada e no ângulo requerido.

O fundo das câmaras de combustão dispõe de dois orifícios para instalação das velas. Nota-se também, na figura 1-48, como as câmaras de combustão são sustentadas na extremidade posterior por braçadeiras de dutos, as quais prendem esses dutos ao conjunto de atomizadores da turbina.

Voltando a figura 1-48, notamos como a face anterior de cada câmara apresenta seis aberturas alinhadas com seis atomizadores de combustível dos grupos correspondentes. Esses atomizadores são do tipo orifício duplo, requerendo o uso de um divisor de fluxo (válvula de pressurização), conforme mencionado na discussão sobre a câmara de combustão do tipo caneca. Ao redor de cada atomizador estão aletas de turbilhonamento para imprimir um redemoinho ao combustível pulverizado, o que resulta em melhor atomização desse combustível, melhor queima e maior eficiência.

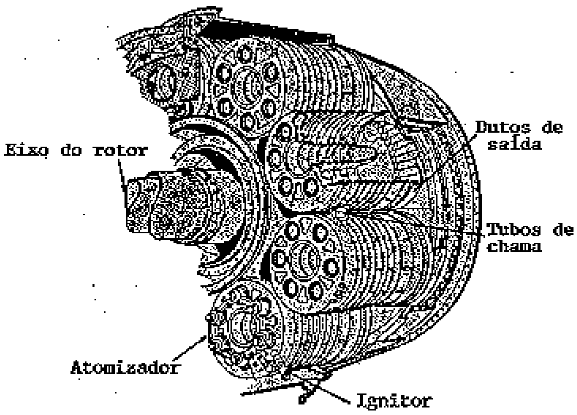


Figura 1-48 Montagem e componentes da câmara de combustão tipo caneca anular.

As aletas de turbilhonamento desempenham duas importantes funções imperativas para a propagação adequada da chama:

(1) alta velocidade de chama: melhor mistura de ar e combustível, assegurando queima espontânea.

(2) baixa velocidade do ar, axialmente: o turbilhonamento evita que a chama se propague muito rápido.

As aletas de turbilhonamento ajudam em muito a propagação da chama, uma vez que é desejado um alto grau de turbulência na combustão precoce e nos estágios de refrigeração. A mistura mecânica é também estabelecida para outros fins, tais como colocação de uma tela bruta na saída do difusor, como no caso da maioria dos motores de fluxo axial.

As câmaras de combustão caneca anular também devem ter as válvulas dreno requeridas, localizadas em dois ou mais dos fundos das câmaras, assegurando a drenagem apropriada e a eliminação do combustível residual para a partida seguinte.

O fluxo de ar, através dos orifícios e venezianas das câmaras caneca anular, é quase idêntico ao fluxo através dos outros tipos de queimadores. Um sistema especial de deflectores é utilizado para provocar uma turbulência no fluxo de ar. A figura 1-49 mostra o fluxo de ar de combustão, ar de refrigeração do metal e ar diluente ou gás de refrigeração. Prestamos particular atenção para a direção do fluxo de ar indicado pelas setas.

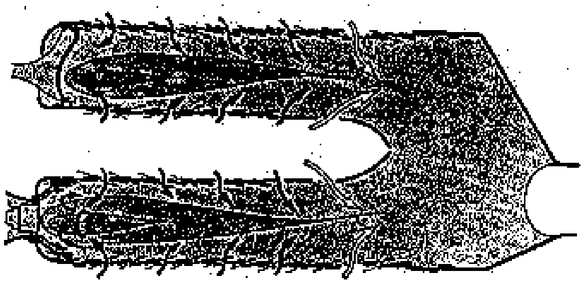


Figura 1-49 Fluxo de ar através de uma câmara anular.

SEÇÃO DA TURBINA

A turbina transforma uma quantidade de energia cinética dos gases de escapamento em energia mecânica, para acionar o compressor e acessórios. Essa é a única finalidade da turbina e, essa função, absorve aproximadamente 60 a 80% da energia total da pressão dos gases de escapamento. A quantidade exata de energia absorvida na turbina é determinada pela carga que é impelida por ela, isto é, do tamanho e do tipo do compressor, da quantidade de acessórios e pela hélice e suas engrenagens de redução, se o motor for turboélice.

A seção da turbina de um motor turbojato está localizada na parte traseira ou à jusante da seção da câmara de combustão. Especificamente, ela está na saída da câmara de combustão.

O conjunto da turbina consiste de dois elementos básicos: o estator e o rotor, como a unidade do compressor. Esses dois elementos são mostrados nas figura 1-50 e 1-51, respectivamente.

O estator é conhecido por uma variedade de nomes, como: aletas guias dos bocais da turbina e aletas guias da turbina. As aletas guias dos bocais da turbina estão localizados após a câmara de combustão, e imediatamente à frente da roda da turbina.

A função das aletas guias da turbina é dupla. Primeiro, depois que a câmara de combustão introduz a energia calorífica na massa de ar e o distribui igualmente para os bocais ejetores da turbina, o trabalho dos bocais ejetores é preparar o fluxo da massa de ar para acionamento do rotor da turbina. As aletas estacionárias ou aletas guias da turbina, são contornadas e colocadas num ângulo tal que formam uma quantidade de pequenos bocais ejetores descarregando o gás a velocidades extremamente elevadas; assim, os bocais ejetores convertem uma porção variável de calor e energia sob forma de pressão para energia sob forma de velocidade, a qual pode então ser convertida em energia mecânica através das palhetas do rotor.

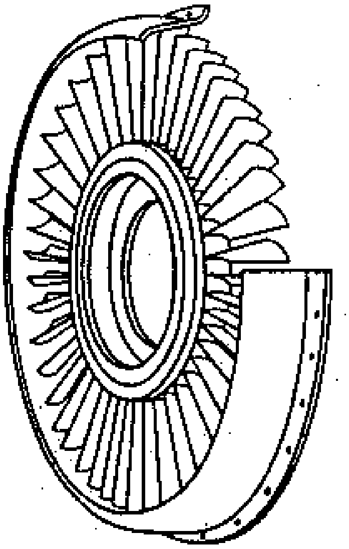


Figura 1-50 Elemento estator do conjunto da turbina.

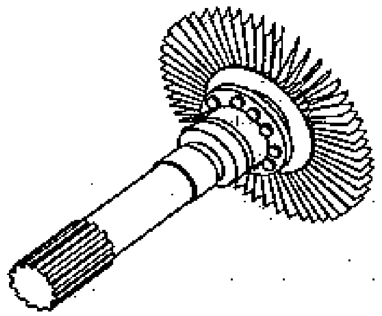
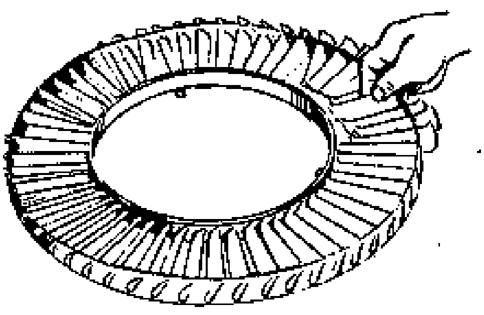


Figura 1-51 Elemento rotor do conjunto da turbina.

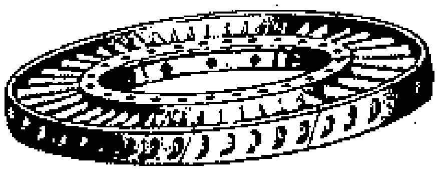
A segunda finalidade dos bocais ejetores da turbina é defletir os gases para um ângulo específico na direção de rotação da roda da turbina. Uma vez que o fluxo de gás dos bocais ejetores tem que penetrar no curso das aletas da turbina enquanto ela ainda está girando, é essencial dirigir o gás na direção de rotação da turbina.

O conjunto de bocais ejetores da turbina consiste de um anel de contenção interno e outro externo, entre os quais são fixadas as aletas.

O número de aletas empregadas varia com os diferentes tipos e tamanhos dos motores. A figura 1-52 ilustra ejetores de turbina típicos com aletas livres e soldadas.



A - Aletas ejetoras da turbina do tipo livres.



B - Aletas ejetoras da turbina do tipo soldadas

Figura 1-52 Conjuntos típicos de aletas ejetoras da turbina.

As lâminas ou aletas dos ejetores da turbina podem ser montadas entre os anéis de contenção interno e externo numa variedade de formas. Embora os elementos reais possam variar levemente em sua configuração e características de construção, existe uma característica peculiar para todos os bocais ejetores de turbina; isto é, as aletas têm que ser construídas para permitir a expansão térmica.

Por outro lado, pode haver severas distorções ou empenamento dos componentes de metal devido às rápidas mudanças de temperatura.

A expansão térmica dos bocais da turbina é consumada por diversos métodos. Um método necessita que as aletas sejam montadas livremente nos anéis de contenção interno e externo. (ver figura 1-52 A).

Cada aleta assenta em uma fenda contornada nos anéis de contenção, as quais estão em conformidade com a forma de aerofólio das aletas. Essas fendas são ligeiramente maiores que as aletas para proporcionar uma folga. Para proteção adicional, os anéis de contenção estão envolvidos por um anel protetor interno e um externo, os quais dão um aumento de resistência e rigidez. Esses anéis de proteção também facilitam a remoção de cada aleta; de outra forma, elas se soltariam na medida em que os anéis de contenção fossem removidos.

Outro método de construção para permitir a expansão térmica é fixar as aletas nos anéis de contenção interno e externo; contudo nesse método, as aletas são soldadas ou rebitadas na posição (ver figura 1-52 B). Alguns recursos devem ser providos para permitir a expansão; por tanto ou anel de contenção interno ou o externo é partido em segmentos. Esses cortes, dividindo os segmentos, irão permitir expansão suficiente para evitar esforço e empenamento das aletas.

O rotor da seção da turbina consiste essencialmente de um eixo e uma roda. (ver figura 1-51).

A roda da turbina é uma unidade balanceada dinamicamente, consistindo de lâminas presas a um disco rotativo. O disco, por sua vez, está preso ao eixo principal de transmissão de potência do motor. O jato de gases, deixando as aletas dos bocais da turbina agem sobre as lâminas da roda da turbina, causando à rotação do conjunto uma taxa de velocidade bastante elevada. A elevada velocidade de rotação impõe severas cargas centrífugas sobre a roda da turbina e, ao mesmo tempo, as elevadas temperaturas resultam em uma diminuição da resistência do material. Consequentemente, a rotação e a temperatura devem ser controladas para manter a operação da turbina dentro dos limites de segurança.

Referimo-nos ao disco da turbina, como se ela estivesse sem as palhetas. Quando as aletas da turbina são instaladas, então o disco torna-se a roda desta. O disco atua como um componente de ancoragem para as lâminas. Uma vez que o disco é aparafusado ou soldado ao eixo, as lâminas podem transmitir ao rotor a energia extraída dos gases de escapamento.

A extremidade do disco é exposta aos gases quentes, que passam através das lâminas, e absorve quantidade de calor considerável desses gases. Além disso, a extremidade também absorve calor das lâminas da turbina por condução. Portanto, as temperaturas das extremidades dos discos são normalmente altas e bem acima das temperaturas das partes mais internas do disco. Como resultado desses gradientes de temperatura, tensões térmicas são adicionadas às tensões de rotação.

Existem diversas maneiras de aliviar, ao menos parcialmente, as tensões acima mencionadas. Uma delas é sangrar o ar de refrigeração atrás da face do disco.

Outro método de aliviar a tensão térmica do disco é a casual instalação das aletas. Uma série de ranhuras ou entalhes, de acordo com o projeto da raiz da lâmina, são abertos na extremidade do disco. Essas ranhuras prendem as aletas da turbina ao disco, e, ao mesmo tempo, provê um espaço através dos entalhes para a expansão térmica dos discos. Existe folga suficiente entre a raiz das aletas e os entalhes para permitir o movimento das aletas quando o disco está frio. Durante a operação do motor, a expansão do disco diminui a folga. Isso faz com que a raiz da aleta fique justa na borda do disco.

O eixo da turbina, ilustrado na figura 1-51, é geralmente fabricado de liga de aço. A liga deve ser capaz de absorver os altos torques que são exercidos, quando é dada partida num compressor de fluxo axial. Os métodos de fixar o eixo ao disco da turbina são variáveis. Em um método, o eixo é soldado ao disco, o qual tem uma parte mais grossa ou protuberância existente para a fixação. Um outro método é através de parafusos, esse requer que o eixo tenha um cubo o que coincida com a superfície usinada na face do disco. Os parafusos são então inseridos através de orifícios no cubo do eixo, e fixados em orifícios com rosca interna nos discos. Dos dois métodos, o último é o mais comum.

O eixo da turbina deve ter alguns meios para ligação ao cubo do rotor do compressor. Isso é geralmente feito por um rasgo de chaveta na parte dianteira do eixo. A chaveta encaixa no entalhe entre o compressor e o eixo da turbina. Se não for utilizado esse método, a extremidade estriada do eixo da turbina pode ser presa ao encaixe ranhurado no cubo do rotor do compressor. Esse arranjo estriado é utilizado quase exclusivamente nos motores de compressor centrífugo, enquanto os motores de compressor axial podem usar qualquer um dos métodos descritos. Existem diversos meios de fixar palhetas, alguns similares à fixação das aletas do compressor.

O método mais satisfatório usado é o formato pinheiro, mostrado na figura 1-53.

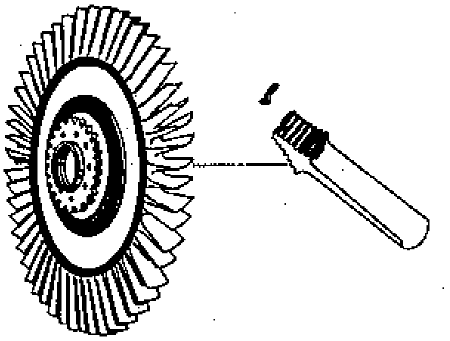


Figura 1-53 Palheta da turbina com formato de pinheiro e o método de freno para retenção.

As palhetas são presas às suas respectivas ranhuras por uma variedade de métodos; alguns dos mais comuns são martelagem, soldagem, frenagem e rebitagem. A figura 1-54 mostra uma roda de turbina típica, usando rebitagem para retenção das palhetas.

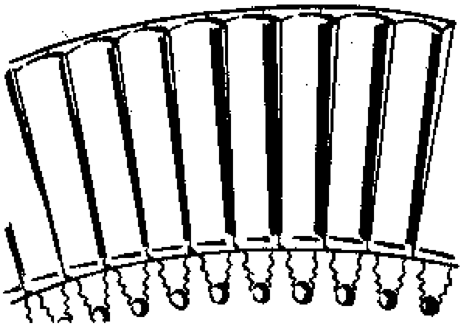


Figura 1-54 Método de rebitagem para retenção da palheta da turbina.

O método de martelagem para retenção das palhetas é utilizado frequentemente em várias formas. Uma das mais comuns aplicações da martelagem requer que se faça um pequeno entalhe na raiz da palheta tipo pinheiro, antes da sua instalação.

Após a aleta ter sido inserida no disco, o entalhe é preenchido pelo metal do disco, o qual "flui" por um sinal de punção feito no disco, adjacente ao entalhe. A ferramenta empregada para esse serviço é idêntica a um punção de centro.

Outro método de retenção de palheta é construir sua raiz, de forma que a aleta contenha todos os elementos necessários à sua retenção. Esse método, ilustrado na figura 1-55, mostra que a raiz da aleta tem um batente em sua extremidade, de forma que a aleta possa ser inserida e removida apenas em uma direção, enquanto a extremidade oposta é uma espiga. Essa espiga é dobrada para fixar a aleta no disco.

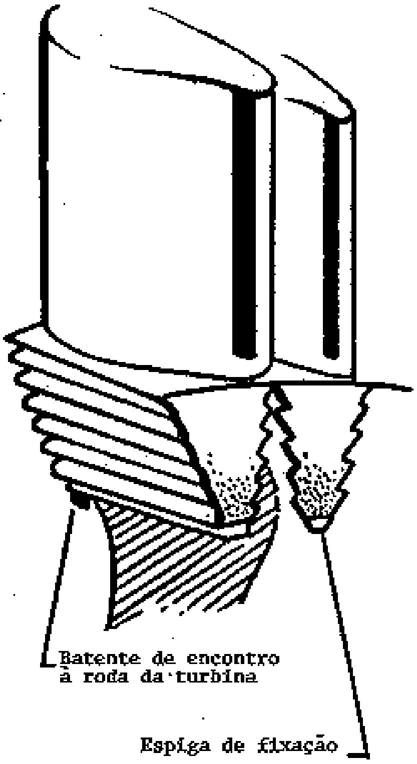


Figura 1-55 Método de batente espiga para retenção das palhetas da turbina.

As palhetas da turbina podem ser forjadas ou fundidas, dependendo da composição da liga. A maioria das aletas são fundidas com precisão e usinadas para a forma desejada.

A maioria das palhetas são abertas no seu perímetro externo; contudo, um segundo tipo denominado turbina reforçada é algumas vezes utilizado. As palhetas de turbinas reforçadas, de fato formam uma cinta no perímetro externo da roda da turbina. Isso mediante a eficiência e características de vibração, e permite menor peso dos estágios; por outro lado, limita a velocidade da turbina e requer mais lâminas (ver figura 1-56). Na fabricação do rotor da turbina, ocasionalmente é necessário a utilização de turbinas de mais de um estágio. Uma roda de turbina simples frequentemente não é capaz de absorver potência suficiente dos gases de escapamento para acionar os componentes que dependem da turbina para obter a potência de rotação, e assim, fazem-se necessários estágios de turbina adicionais.

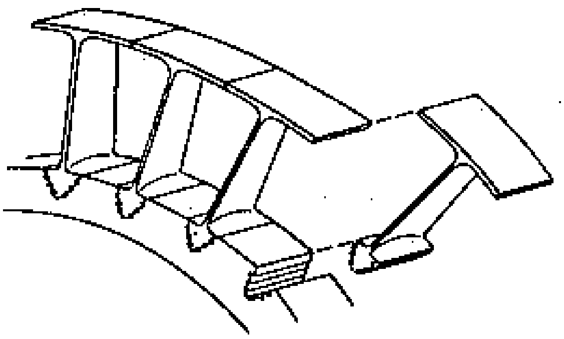


Figura 1-56 Palhetas de turbina do tipo reforçadas.

Um estágio de turbina consiste de uma fileira de aletas estacionárias, seguida de uma fileira de lâminas rotativas. Em alguns modelos de motores turboélice, tanto quanto cinco estágios de turbina, têm sido utilizados com sucesso. Deve ser lembrado que independentemente do número de rodas necessárias para o acionamento dos componentes do motor, existe sempre um bocal ejetor da turbina precedendo cada roda.

Conforme descrito na discussão sobre estágios da turbina, o uso ocasional de mais de uma roda de turbina justifica-se nos casos de pesadas cargas rotacionais. Deve ser assinalado que as mesmas cargas que necessitam turbinas de múltiplos estágios, freqüentemente fazem com que se torne vantajosa a incorporação de compressores com múltiplos rotores.

Nas turbinas de rotor com estágio simples (figura 1-57), a potência é desenvolvida por um rotor, e todas as peças acionadas pelo motor são acionadas por essa roda simples. Essa montagem é usada em motores onde predomina a necessidade de baixo peso e compacticidade.

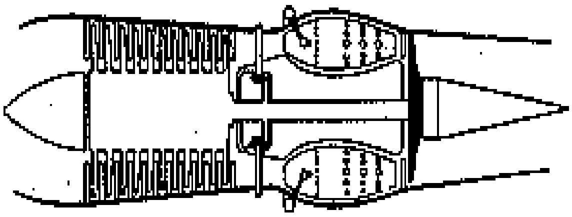


Figura 1-57 Rotor da turbina de estágio simples.

Na turbina com múltiplos rotores a potência é desenvolvida por dois ou mais. É possível cada rotor de turbina acionar uma peça separada do motor. Por exemplo, uma turbina de rotor triplo pode ser montada de forma que a primeira turbina acione a metade traseira do compressor e acessórios, a segunda turbina acione a metade frontal do compressor e a terceira turbina forneça potência para uma hélice. (ver a figura 1-58).

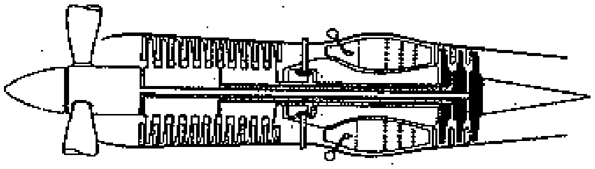


Figura 1-58 Rotor da turbina de múltiplo estágio.(Triplo).

A montagem do rotor para uma turbina com rotor duplo, como os requeridos para um compressor carretel bipartido, é similar à montagem da figura 1-58. A diferença é que onde é usada a terceira turbina para uma hélice, na figura 1-58, seria unida com a segunda turbina para formar uma turbina de dois estágios para acionamento do compressor dianteiro. Essa montagem é mostrada na figura 1-59.

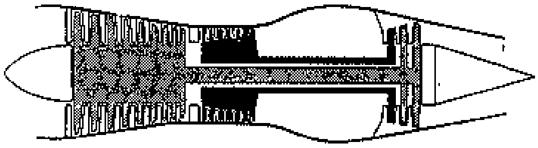


Figura 1-59 Turbina de duplo rotor para compressor carretel bipartido.

O elemento restante a ser discutido, concernente à familiarização com a turbina é a carcaça da turbina ou invólucro. Esta encerra a roda da turbina e o conjunto de aletas orientadoras e ao mesmo tempo apoia direta ou indiretamente os elementos estatores da seção da turbina.

A carcaça sempre dispõe de flanges nas partes dianteira e traseira para fixação, por parafusos ao invólucro da câmara de combustão e ao conjunto do cone de escapamento, respectivamente. Uma carcaça de turbina está ilustrada na figura 1-60.

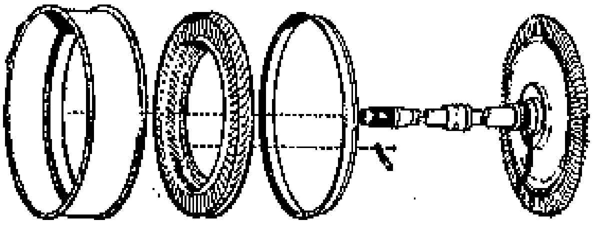


Figura 1-60 Conjunto de carcaça de turbina.

SEÇÃO DE ESCAPAMENTO

A seção de escapamento de um motor turbo jato é constituída de diversos componentes, cada um tendo suas funções individuais. Embora os componentes tenham propósitos individuais, eles também têm uma função comum: eles têm que dirigir o fluxo de gases quentes para trás, de maneira a evitar turbulência e ao mesmo tempo conceder uma alta velocidade final ou de saída para os gases.

Na execução de cada função, cada componente afeta o fluxo de gases de diferentes formas, como descrito nos parágrafos seguintes.

A seção de escapamento está localizada atrás da seção da turbina, e termina quando os gases são ejetados na parte traseira, na forma de um jato de alta velocidade. Já incluídos como componentes da seção de escapamento, o cone, o tubo de saída (se requerido), bocal ou jato de escape.

Cada componente é discutido individualmente.

O cone de escapamento coleta os gases descarregados da palheta da turbina e, gradualmente, converte esses gases num jato sólido. Durante esse processo, a velocidade dos gases é ligeiramente diminuída, e sua pressão aumentada. Isso se deve à passagem divergente entre o duto externo e o cone interno, ou seja, a área anular entre as duas unidades aumenta para trás.

O conjunto do cone de escapamento consiste de um revestimento externo ou duto, um cone interno, três ou quatro longarinas radiais ocas ou aletas, e a quantidade necessária de tirantes para ajudar as longarinas a suportar o cone interno do duto.

O revestimento externo, ou duto, é geralmente fabricado de aço inoxidável, e é preso ao flange traseiro da carcaça da turbina. Esse elemento coleta os gases de escape e distribui esses gases, ou diretamente, ou via tubo de saída, para o bocal de descarga, dependendo naturalmente de ser ou não requerido o tubo de saída. Em alguns tipos de instalação de motores não é requerido o tubo de saída.

Por exemplo, quando o motor é instalado em nacele, é requerido apenas um tubo de saída curto, caso em que o duto de escapamento e o bocal de descarga serão suficientes.

O duto deve ser construído de forma a incluir características, como um predeterminado número de saliências dos pares térmicos do tubo de escape, e deve haver também orifícios para inserir os tirantes de sustentação. Em alguns casos, não são utilizados tirantes para sustentação do cone interno. Se for o caso, as longarians ocas proporcionam a base de sustentação do cone interno, sendo soldadas por pontos, posicionadas para a superfície interna do duto e cone interno, respectivamente. (ver figura 1-61).

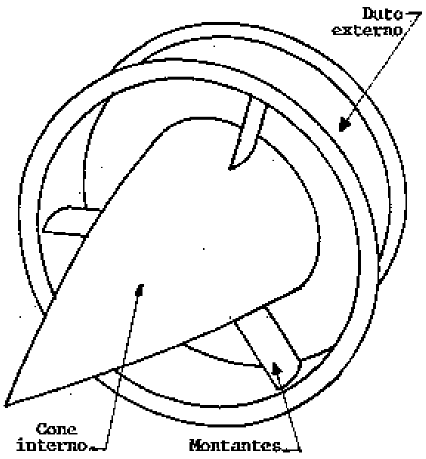


Figura 1-61 Coletor de escapamento com suporte soldados.

As longarinas radiais têm uma função duplicada. Elas não apenas fixam o cone interno ao duto de escapamento, como também desempenham a importante missão de alinhamento dos gases de escape, que, de outra forma, deixariam a turbina a um ângulo de aproximadamente 45º.

O cone interno de localização central é fixado junto à face traseira do disco da turbina, evitando a turbulência dos gases quando eles deixam a roda da turbina. O cone é suportado por longarinas radiais. Em algumas configurações um pequeno orifício está localizado na extremidade de saída do cone. Esse orifício permite que o ar de refrigeração circule da traseira do cone, onde a pressão de ar na roda da turbina é relativamente alta, para o interior do cone, e consequentemente, contra a face da roda da turbina. O fluxo de ar é positivo, já que a pressão de ar na roda da turbina é relativamente baixa devido sua rotação, garantindo, assim, a circulação do ar. Os gases utilizados para refrigeração da roda da turbina retornam ao trajeto de escoamento principal, passando através da folga entre o disco da turbina e o cone interno.

O conjunto do cone de escapamento completa o motor básico. Os componentes restantes (bocal de descarga e bocal ejetor)são geralmente considerados componentes da fuselagem. O bocal de descarga é utilizado primeiramente para fazer com que os gases escapem da fuselagem. A utilização do bocal de escape impõe uma penalidade à eficiência de operação do motor, na forma de perdas de calor e atrito. Essas perdas materialmente afetam a velocidade final dos gases de escapamento e consequentemente, o empuxo.

O bocal de escape termina em um bocal ejetor que está à frente da extremidade da fuselagem. A maioria das instalações utiliza um escapamento dirigido simples, em oposição às saídas de escapamento duplas, para obter as vantagens de baixo peso, simplicidade e perdas mínimas no duto (ver a figura 1-62).

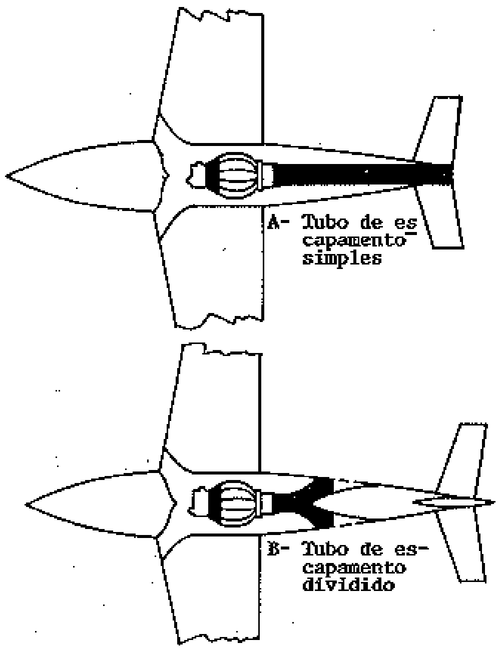

A- Tubo de escapamento simples
B- Tubo de escapamento dividido

Figura 1-62 Tipos de tubos de escapamento.

O bocal de descarga é geralmente fabricado com características semiflexíveis. Mais uma vez, a necessidade dessas características depende do seu comprimento.

Nos bocais de escape extremamente compridos, uma montagem de foles é incorporada à sua construção, permitindo movimentos tanto na instalação quanto na manutenção, além da expansão térmica. Isso elimina as tensões e deformações que, de outra forma, estariam presentes.

A irradiação de calor do cone e bocal de escapamento pode danificar os componentes da estrutura em volta dessa unidade. Por essa razão, alguns processos de isolamento devem ser idealizados. Existem diversos métodos disponíveis para proteção da estrutura da fuselagem, sendo os dois mais comuns, a manta de isolamento e as proteções de isolamento.

As mantas de isolamento, ilustradas nas figura 1-63 e 1-64, consistem de diversas camadas de lâminas de alumínio, cada uma separada por uma camada de lã de vidro ou algum outro material adequado. Embora essas mantas protejam a fuselagem da irradiação de calor, elas são utilizadas, inicialmente, para reduzir perdas de calor do sistema de escapamento. A redução de perdas de calor melhora o desempenho do motor. Uma manta de isolamento típica, e as temperaturas na seção de escapamento, são mostradas na figura 1-64. Essa manta contém fibra de vidro como material de baixa condutância e lâminas de alumínio como blindagem de irradiação. A manta deve ser convenientemente coberta para evitar que seja impregnada com óleo.

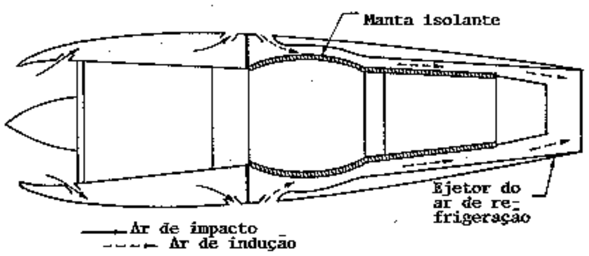

Manta isolante
Ejetor do ar de refrigeração
Ar de impacto
Ar de indução

Figura 1-63 Sistema de escapamento com manta isolante.

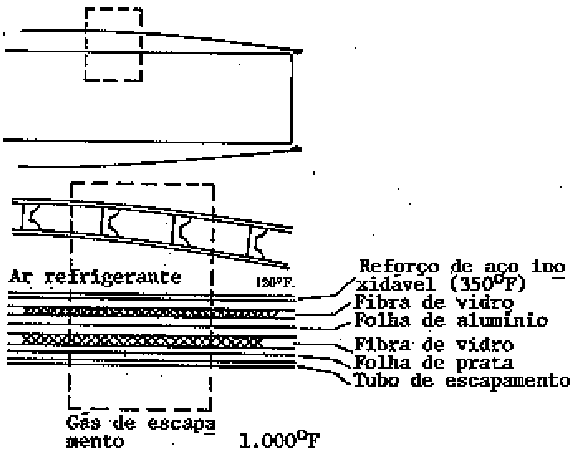

Ar refrigerante
120°F.
Reforço de aço inoxidável (350°F)
Fibra de vidro
Folha de alumínio
Fibra de vidro
Folha de prata
Tubo de escapamento
Gás de escapamento
1.000°F

Figura 1-64 Manta isolante com as temperaturas encontradas nas diferentes localizações.

A proteção do calor consiste de um invólucro de aço inoxidável contornando todo o sistema de escapamento (ver figura 1-65).

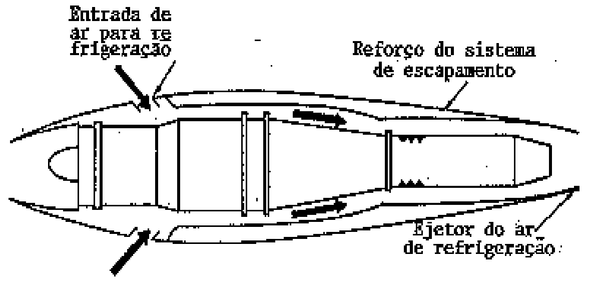

Entrada de ar para refrigeração
Reforço do sistema de escapamento
Ejetor do ar de refrigeração

Figura 1-65 Reforço do sistema de escapamento.

O escapamento imprime aos gases um importante reforço final da velocidade. O injetor, como o turbo de saída, não está incluído como parte do motor básico, mas sim como componente da fuselagem.

Ele, também, está preso à parte traseira do tubo de saída como requerido, ou ao flange traseiro do duto de escapamento, se o tubo de saída não for necessário.

Existem dois tipos de projetos de bocal ejetor: convergente, para velocidades subsônicas dos gases; e convergente-divergente, para velocidades supersônicas dos gases. Tudo é discutido com maiores detalhes no capítulo 2 "Sistemas de indução e escapamento".

A abertura do ejetor pode ser de área fixa ou de área variável. O de área fixa é o mais simples dos dois. Uma vez que não existem peças móveis, nenhum ajuste nas áreas dos ejetores deve ser feito mecanicamente.

Ajustes na área dos ejetores são algumas vezes necessários, porque o tamanho do orifício de saída afeta diretamente a temperatura de operação do motor. Quando necessário, um ejetor de área fixa pode ser ajustado de diversas formas.

Um método de mudar essa área, é a utilização de compensadores, os quais são instalados dentro do ejetor e presos por parafusos.

Os compensadores são de tamanhos e curvaturas variáveis.

Os diferentes tamanhos de compensadores permitem a variação na área do ejetor, variando os incrementos.

Assim, através da experiência, um mecânico pode fazer o motor funcionar à maxima velocidade com uma combinação de compensadores, verificar a temperatura e substituir outra combinação para completar uma temperatura deficiente ou corrigir uma temperatura em excesso.

SUBCONJUNTOS MAIORES

Os conjuntos incluídos na discussão que se segue são parte integral, ou uma combinação dos componentes, os quais contêm as seções principais do motor turbojato.

Difusor

O difusor é a seção divergente do motor. Tem a importante função de trocar a alta velocidade do ar de descarga do compressor para pressão estática. Isso prepara o ar para entrar nos queimadores à baixa velocidade,de forma que irá queimar sem que apague.

Adaptadores de ar

Os adaptadores de ar do compressor centrífugo estão ilustrados na figura 1-37 juntamente com o difusor. O propósito dos dutos de saída de ar é distribuir o ar do difusor para as câmaras de combustão individuais, tipo caneca. Em alguns casos, os injetores de combustível ou plugs de ignição também estão montados no duto de escape.

Rotor do motor

O rotor do motor é uma combinação dos rotores do compressor e da turbina em um eixo comum, o eixo comum liga os eixos da turbina e do compressor por um método conveniente. O rotor está apoiado por mancais, os quais estão apoiados em convenientes caixas de mancais

Mancais principais

Os mancais principais têm a função crítica de suportar o rotor principal.

O número necessário de mancais para suportar o motor adequadamente, e para a maioria das peças, será decidido pelo comprimento e peso do rotor.

O comprimento e peso são afetados diretamente pelo tipo de compressor usado no motor. Naturalmente, um compressor axial bipartido irá requerer maior apoio que um compressor centrífugo.

Provavelmente o número mínimo de mancais requeridos seria três, enquanto alguns dos modelos mais modernos de compressor axial bi-partido requerem seis ou mais.

Os rotores de turbina a gás são geralmente suportados, ou por mancais de esferas, ou de roletes. Mancais hidrodinâmicos ou tipo deslizante estão recebendo alguma atenção quanto ao uso em turbinas, onde a velocidade de operação do rotor aproxima-se de 45.000RPM e onde são previstas excessivas cargas nos mancais durante o vôo (ver figura 1-66). Em geral, os mancais antifricção de esferas ou roletes são preferidos, uma vez que eles:

(1) oferecem pouca resistência à rotação;
(2) facilitam a precisão de alinhamento dos elementos rotativos;
(3) são relativamente baratos;
(4) são facilmente substituídos;
(5) resistem as sobrecargas momentâneas;
(6) são de fácil refrigeração, lubrificação e manutenção;
(7) acomodam tanto cargas radiais quanto axiais;
(8) são relativamente resistentes a temperaturas elevadas.

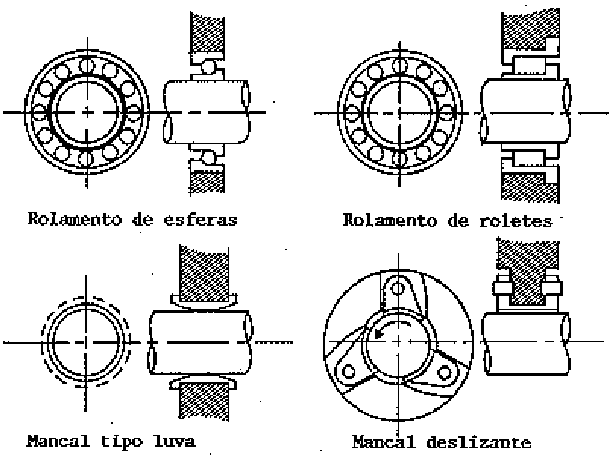


Figura 1-66 Tipos de mancais principais usados para suportar o rotor de turbina a gás.

Suas principais desvantagens são a vulnerabilidade a materiais estranhos e a tendência a falhas sem aviso antecipado.

Geralmente os mancais de esferas são posicionados no eixo do compressor ou no da turbina, de forma que possam absorver quaisquer cargas (trações) axiais ou radiais. Devido os mancais de roletes apresentarem uma superfície trabalhante maior, eles são melhor equipados para suportar cargas radiais que cargas de tração. Portanto, eles são utilizados primariamente para esse propósito.

Um conjunto típico de mancais de esferas ou de roletes inclui um alojamento de sustentação, o qual deve ser fortemente construído e apoiado, de forma a suportar as cargas radial e axial do veloz movimento do rotor.

O alojamento do mancal geralmente contém selos para evitar vazamentos de óleo, do seu caminho ou fluxo normal. Ele também distribui o óleo para os mancais para sua lubrificação, geralmente através de pulverizadores.

O selo de óleo pode ser o labirinto ou do tipo fio helicoidal. Esses selos também podem ser pressurizados para minimizar o vazamento de óleo ao longo do eixo. O selo labirinto é geralmente pressurizado, porém o selo helicoidal depende apenas do rosqueamento reverso para impedir o vazamento. Esses dois tipos de selos são similares, diferindo apenas no tamanho do fio, e no fato de que o selo labirinto é pressurizado.

Outro tipo de selo de óleo utilizado em alguns dos motores mais recentes é o selo de carbono. Esses selos são geralmente carregados por mola e são similares quanto ao material e aplicação às escovas de carvão utilizadas em motores elétricos. Os selos de carbono apoiam-se numa face provida para criar uma cavidade selada para o mancal; com isso, evitando o vazamento de óleo ao longo do eixo no fluxo de ar do compressor ou seção da turbina.

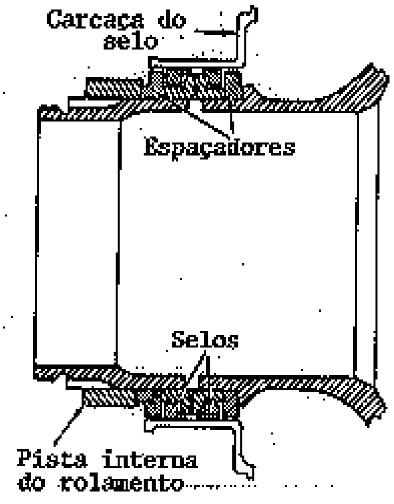


Figura 1-67 Selo de carbono para óleo.

O mancal é geralmente provido de uma face de assentamento usinada no eixo apropriado. Ele é, geralmente, travado na posição por uma arruela de aço ou outro dispositivo de trava adequado.

O eixo do rotor também provê um revestimento ajustado para o selo de óleo no alojamento do mancal.

Esses revestimentos usinados são chamados estrias e se encaixam no selo de óleo, embora sem tocá-lo realmente. Se ocorrer roçamento, resultará em desgaste e vazamento.

MOTOR TURBOÉLICE

O motor turboélice é a combinação de uma turbina a gás e uma hélice. Motores turboélice são basicamente similares aos turbojatos, já que ambos têm um compressor, câmara de combustão, turbina e um pulverizador, todos operando da mesma forma em ambos os motores.

Contudo, a diferença é que a turbina no motor turboélice geralmente tem mais estágios que a do motor turbojato. Além disso, para operar o compressor e acessórios, a turbina turbopropulsora transmite potência aumentada para a frente através de um eixo e um trem de engrenagem para acionar a hélice. A força maior é gerada pelos gases de escapamento passando através dos estágios adicionais da turbina.

Fazemos referência a figura 1-58, a qual mostra uma turbina multirotor com eixos coaxiais para acionamento independente do compressor e da hélice.

Embora existam três turbinas utilizadas nessa ilustração, nada mais que cinco estágios de turbina têm sido usados para acionar os dois elementos rotores, hélice e os acessórios.

Os gases de escapamento também contribuem para a potência entregue pelo motor através da reação, embora a quantidade de energia disponível para o empuxo seja consideravelmente reduzida.

Uma vez que os componentes básicos de um turbojato ou turboélice diferem apenas ligeiramente quanto às características de projeto, seria simples aplicar os conhecimentos obtidos do turbojato ao turboélice.

O motor turboélice típico pode ser separado em conjuntos, como se segue:

(1) o conjunto da seção de potência, o qual contém os componentes maiores usuais dos motores de turbina a gás (compressor, câmara de combustão, turbina e seção de escapamento).

(2) o conjunto da caixa de engrenagens ou engrenagens de redução, o qual contém aquelas seções peculiares à configuração do turboélice.

(3) o conjunto do torquímetro, o qual transmite o torque do motor para a caixa de engrenagens da seção de redução.

(4) o conjunto acionador de acessórios.

Esses conjuntos estão ilustrados na figura 1-68.

O motor turboélice pode ser usado com diferentes configurações. .

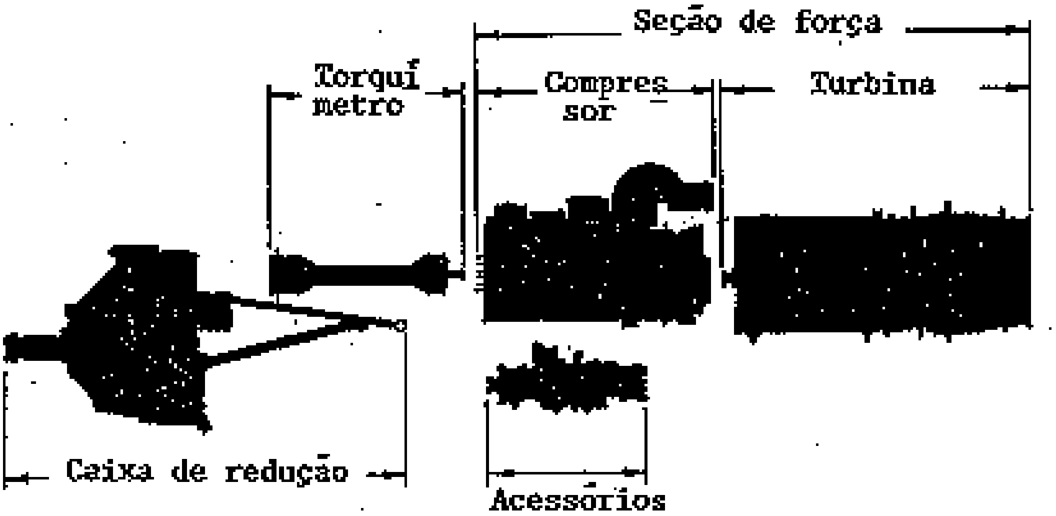


Figura 1-68 Conjuntos de componentes principais de um motor turboélice.

Ele é frequentemente utilizado em aeronaves de transporte, mas pode ser adaptado para utilização em aeronaves monomotoras

MOTORES A TURBINA

Um motor de turbina a gás, que entrega potência através de um eixo para acionar alguma coisa além da hélice é chamado de motor à turbina. Motores à turbina são similares aos motores turboélices.

A potência de decolagem pode ser acoplada diretamente à turbina do motor, ou o eixo pode se acionado por uma turbina livre, localizada no fluxo de escapamento.

A turbina livre gira de forma independente. Esse princípio é utilizado extensivamente na produção corrente de motores à turbina. O motor à turbina é muito utilizado em helicópteros.

MOTORES TURBOFAN

O motor turbofan (fig. 1-69) é, a princípio, o mesmo que o turboélice, exceto que a hélice é substituída por uma ventoinha axial do duto. A ventoinha pode ser parte das palhetas do primeiro estágio do compressor ou pode ser montada como um conjunto separado de palhetas. As palhetas podem ser montadas à frente do compressor ou atrás da roda da turbina.

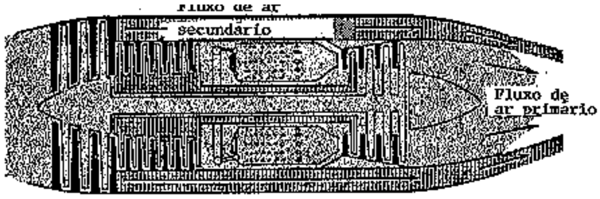


Figura 1-69 Motor turbofan com ventoinha à frente.

O princípio geral do motor turbofan é converter o máximo de energia do combustível em pressão. Com o máximo de energia convertida em pressão, um maior produto pressão vezes área pode ser obtido. Um das grandes vantagens é que o turbofan produz esse empuxo adicional sem aumento do fluxo de combustível. O resultado final é economia de combustível com consequente aumento no alcance.

Devido ao fato da energia do combustível ser transformada em pressão no motor turbofan, outro estágio deve ser acionado na turbina (para prover a potência para adicionamento na ventoinha), e assim, aumentar a expansão através da turbina. Isso significa que haverá menos energia perdida e menos pressão atrás da turbina. Também os pulverizadores devem ter maior área. O resultado final é que o motor principal não desenvolve tanto empuxo quanto o motor turbojato direto. A ventoinha então compensa a diminuição no empuxo do motor principal. Dependendo do projeto da ventoinha, ela produzirá algo em torno de 50% de empuxo total dos motores turbofan.

Em um motor de 18.000 libras de empuxo, cerca de 9000 libras serão desenvolvidas pela ventoinha, e as 9000 libras remanescentes pelo motor principal. O mesmo motor turbojato básico sem uma ventoinha desenvolverá cerca de 12.000 libras de empuxo.

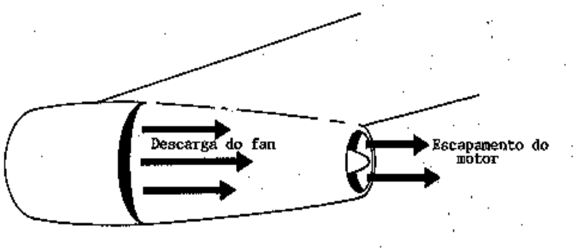


Figura 1-70 Instalação de motor turbofan com ventoinha à frente.

Dois diferentes projetos de conduto são utilizados com motores turbofan. O ar que deixa a ventoinha pode ser conduzido por cima da borda (figura 1-70) ou externamente à carcaça do motor básico para ser descarregado através dos pulverizadores. O ar da ventoinha é misturado com os gases de escapamento antes de ser descarregado ou vai diretamente para a atmosfera, sem que antes seja misturado.

O turbofan, algumas vezes chamado de jatofan está se tornando o motor de turbina a gás mais usado. O turbofan é um compromisso entre a operação eficiente, uma alta capacidade de empuxo de um turboélice e a alta velocidade e capacidade de grande altitude de um turbojato.

PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO DO MOTOR A TURBINA

O princípio usado por um motor turbojato quando ele provê força para mover um avião, baseia-se na segunda lei de Newton. Essa lei mostra que uma força é requerida para acelerar uma massa; portanto, se um motor acelerar uma massa de ar, ele aplicará uma força à aeronave. Os motores a hélice e turbojatos têm uma relação muito próxima. A hélice gera empuxo dando uma aceleração relativamente pequena a uma grande quantidade de ar. O motor turbojato alcança o empuxo, imprimindo maior aceleração a uma menor quantidade de ar.

A massa de ar é acelerada dentro do motor pelo uso de um ciclo de fluxo contínuo. O ar ambiente entra pelos difusores onde é sujeito a trocas de temperatura, pressão e velocidade; causado pelo efeito do impacto. O compressor então, aumenta a pressão e a temperatura do ar, mecanicamente.

O ar continua à pressão constante para a seção dos queimadores, onde a sua temperatura é aumentada pela queima do combustível. A energia é tomada dos gases quentes pela expansão através de uma turbina que aciona um compressor, e, expandindo-se através de um tubo, projetado para descarregar os gases de escapamento à alta velocidade para produzir empuxo.

O jato de alta velocidade de um motor turbojato pode ser considerado uma bobina contínua, imprimindo força contra a aeronave na qual está instalado, dessa forma produzindo empuxo. A fórmula para empuxo pode ser derivada da segunda lei de Newton, a qual estabelece que a força é proporcional ao produto da massa pela aceleração. Essa lei é expressa na fórmula:

F = M x A

Onde:

F = força em Newtons
M = massa em quilograma
A= aceleração em metro por segundo ao quadro

Na fórmula acima, "massa" é similar a "peso", porém é realmente uma quantidade diferente.

Massa se refere a uma quantidade de matéria, enquanto peso se refere à atração da gravidade sobre aquela quantidade de matéria. Ao nível do mar, sob condições padrão, um quilo de massa terá o peso de um quilo.

Para calcular a aceleração de uma dada massa, a constante gravitacional é usada como unidade de comparação. A força da gravidade é 9,8 m/s^2. Isso significa que um objeto de um quilo, em queda livre, terá uma razão de aceleração de 9,8 metros por segundo, a cada segundo que a gravidade agir sobre ela.

Uma vez que a massa do objeto é de um quilo, o qual é também a força real imprimida a ela pela gravidade, podemos assumir que a força de um Newton irá acelerar um objeto de um quilograma à razão de 9,8 metros por segundo ao quadrado.

Também uma força de 10 Newtons irá acelerar uma massa de 10 quilogramas à razão de 9,8 metros por segundo quadrado. Isso, considerando que não existe atrito ou outra resistência a ser vencida. Está agora evidente que a razão de uma força (em Newtons) está para a massa (em quilograma) como a aceleração em metros por segundo ao quadrado está para 9,8. Usando "m" para representar a massa em quilograma, a fórmula pode ser expressa assim: $\frac{F}{M} = \frac{A}{g}$

ou,

$$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{M\,.A}}{\mathrm{g}}$$

onde:

F = força

M = massa

A = aceleração

g = gravidade

Em qualquer fórmula envolvendo trabalho, o fator tempo tem que ser considerado. É conveniente ter sempre fatores em unidades equivalentes, ou seja, segundo, minuto ou hora. No cálculo de empuxo, o termo "quilograma de ar por segundo" é conveniente, uma vez que o fator tempo é o mesmo que o tempo na força de gravidade, isto é, segundo.

EMPUXO

Utilizando a fórmula já mencionada, calculamos a força necessária para acelerar a massa de 50 quilogramas e 100 metros por segundo ao quadrado, como segue:

$$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{50\ KG \times 100\ M / S^2}}{9{,}8}$$

$$F = \frac{50 \times 100}{9{,}8}$$

F = 510 N.

Isso ilustra que, se a velocidade de 50 quilogramas de massa por segundo for aumentada de 100 Newtons por segundo ao quadrado o empuxo resultante será de 510 N.

Uma vez que o motor turbojato acelera uma massa de ar, a fórmula seguinte pode ser usada para determinar o empuxo:

$$F = \frac{Ms\,(\mathrm{V}_2 - V_1)}{g}$$

Onde:

F = força em Newtons

Ms = fluxo de massa em quilograma por segundo

V_1 = velocidade de entrada

V_2 = velocidade do jato (escapamento)

$V_2 - V_1$ = troca de velocidade; diferença entre velocidade de entrada e velocidade do jato de ar.

g = aceleração da gravidade ou 9,8 m/s²

Como exemplo, usar a fórmula para troca de velocidade de 100 quilogramas de fluxo de massa de ar por segundo de 600 m/s para 800 m/s; a fórmula pode ser aplicada assim:

$$F = \frac{100\ (800 - 600)}{9{,}8}$$

$F = 2040\ N$

Como mostrado pela fórmula, se o fluxo de massa de ar por segundo e a diferença de velocidade do ar da admissão para o escapamento são conhecidos, é fácil calcular a força necessária para produzir a mudança de velocidade. Dessa forma, o empuxo do motor tem que ser igual à força requerida para acelerar a massa de ar através do motor. Então, usando o símbolo "E" para empuxo, a fórmula fica:

$$E = \frac{Ms\,(\mathrm{V}_2 - V_1)}{g}$$

É fácil ver nessa fórmula que o empuxo de um motor de turbina a gás pode ser aumentado de duas formas: primeiro, aumentando o fluxo da massa de ar através do motor e, segundo, aumentando a velocidade do jato de ar.

Se a velocidade do motor turbojato permanecer constante com respeito à aeronave o empuxo diminuirá se a velocidade da aeronave aumentar, porque o valor de V_1 aumentará. Isso não apresenta um problema sério, contudo, conforme a velocidade da aeronave aumenta, maior quantidade de ar entra no motor e a velocidade do jato aumenta. O empuxo líquido resultante é quase constante com a velocidade do ar aumentada.

Ciclo de Brayton, é o nome dado ao ciclo termodinâmico de um motor de turbina a gás destinado a produzir empuxo. Isso é um ciclo de eventos, o volume variável e a pressão constante, e é comumente chamado de ciclo a pressão constante. Um termo mais recente é ciclo de combustão contínua.

Os quatro eventos contínuos e constantes são admissão, compressão, expansão (inclui potência) e escapamento. Esses ciclos serão discutidos à medida em que eles se referem a motores de turbina a gás.

No ciclo de admissão, o ar entra à pressão ambiente e a um volume constante. Ele deixa a admissão a uma pressão aumentada e com volume diminuído. Na seção de compressão,o ar é recebido da admissão a uma pressão aumentada ligeiramente acima da pressão ambiente, e com uma pequena diminuição de volume. O ar entra no compressor onde é comprimido, ele deixa o compressor com um grande aumento de pressão e redução de volume. Isso é causado pela ação mecânica do compressor. O passo seguinte, a expansão, acontece na câmara de combustão pela queima do combustível, o qual expande o ar pelo calor. A pressão permanece relativamente constante, porém ocorre um aumento notável do volume. Os gases em expansão se movem para trás através do conjunto da turbina e, são convertidos pela turbina, de energia dinâmica para energia mecânica.

A seção de escapamento, a qual é um duto convergente, converte o volume em expansão e a pressão reduzida dos gases para uma alta velocidade final.

A força criada dentro do motor para manter esse ciclo contínuo tem uma reação igual e oposta (empuxo) para movimentar a aeronave para frente.

O princípio de Bernoulli (sempre que um fluxo de um fluido qualquer tiver sua velocidade aumentada em um dado ponto, a pressão desse fluxo nesse ponto é menor que no resto do fluxo) é aplicado ao motor a jato através dos projetos de seus dutos de ar. Os dois tipos de dutos são convergente e divergente.

O duto convergente aumenta a velocidade e diminui a pressão. O duto divergente diminui a velocidade e aumenta a pressão. O princípio de convergência é geralmente utilizado para o tubo e bocal de descarga. O princípio de divergência é utilizado no compressor, onde a velocidade do ar é diminuída e o ar pressurizado.

DESEMPENHO DO MOTOR DE TURBINA A GÁS

A eficiência térmica é o fator principal no desempenho de uma turbina a gás. É a razão entre o trabalho líquido produzido pelo motor e a energia química suprida na forma de combustível.

Os três fatores mais importantes que afetam a eficiência térmica são: a temperatura da entrada da turbina, a razão de compressão; e as eficiências componentes do compressor e da turbina.

Outros fatores que afetam a eficiência térmica são a temperatura da entrada do compressor e eficiência dos queimadores.

A figuras 1-71 mostra o efeito que a alteração da razão de compressão tem sobre a eficiência térmica, quando a temperatura na entrada do compressor e a eficiência no componente do compressor e na turbina permanecem constantes.

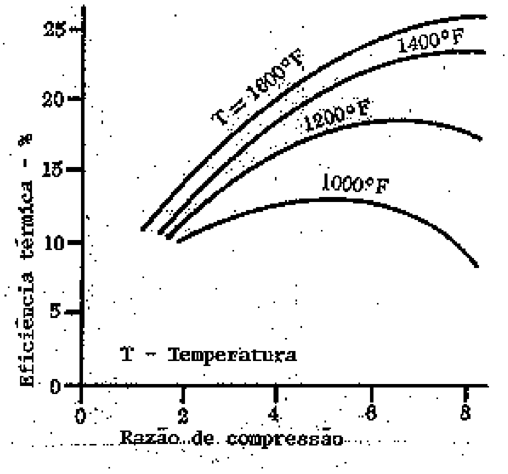


Figura 1-71 O efeito da razão de compressão na eficiência térmica.

O efeito, que a eficiência dos componentes do compressor e da turbina, têm sobre a eficiência térmica quando as temperaturas das entradas da turbina e do compressor permanecem constante, é mostrada na figura 1-72. Em operação real a temperatura do tubo de escapamento do motor, à turbina varia diretamente com a temperatura da entrada da turbina a uma razão de compressão constante.

R.P.M. é uma medida direta de razão de compressão; portanto, a RPM constante a eficiência térmica máxima, pode ser obtida mantendo a temperatura do tubo de escapamento o mais alto possível. Uma vez que a vida do motor é altamente reduzida a uma elevada temperatura de entrada da turbina, o operador não deve exceder as temperaturas de tubo de escapamento especificados para operação contínua. A figura 1-73 ilustra o efeito da temperatura da entrada da turbina sobre a vida das palhetas da turbina.

Na discussão anterior foi assumido que a condição do ar na entrada para o compressor permanece constante. Uma vez que o motor turbojato é uma aplicação prática de um motor a turbina. Torna-se necessário analisar o efeito da variação das condições de entrada sobre a potência produzida. As três principais variáveis que afetam as condições de entrada são a velocidade da aeronave, a altitude da aeronave e a temperatura ambiente. Para simplificar a análise, a combinação dessas três variáveis pode ser representada por uma simples variável, denominada "densidade de estagnação".

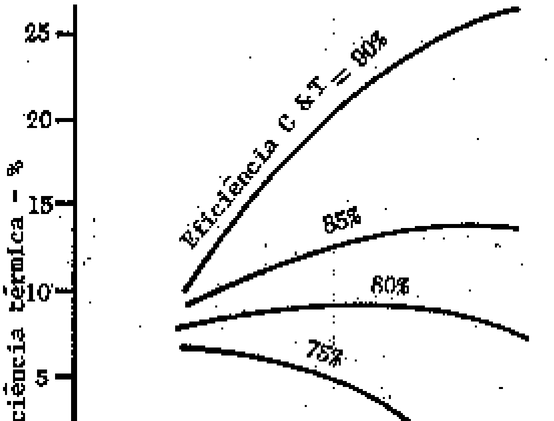


Figura 1-72 Eficiência do compressor e turbina (C & T) "versus" eficiência térmica.

A potência produzida por um motor a turbina é proporcional à densidade de estagnação na entrada.

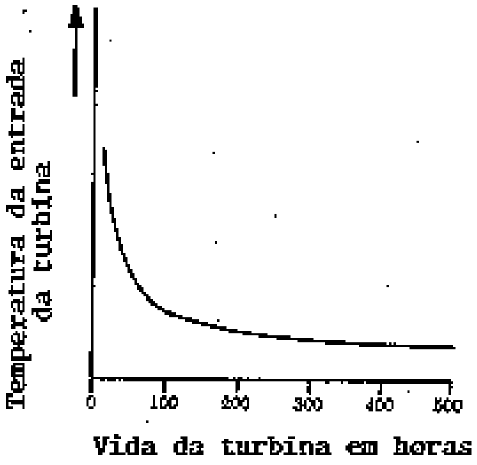


Figura 1-73 Efeitos da TIT na vida da turbina.

As três ilustrações a seguir mostram como se altera a densidade através da variação de altitude, velocidade da aeronave e temperatura do ar exterior, afetando o nível de potência do motor.

A figura 1-74 mostra que o empuxo melhora rapidamente com a redução da temperatura do ar exterior à altitude, RPM e velocidade da aeronave constantes. Esse aumento ocorre, em parte, porque a energia requerida por quilograma de fluxo de ar para acionar o compressor, varia diretamente com a temperatura, deixando, dessa forma, mais energia para desenvolver empuxo. Além disso, o empuxo liberado irá aumentar, uma vez que o ar em temperaturas reduzidas tem uma densidade aumentada. O aumento na densidade causa o aumento do fluxo de massa através do motor.

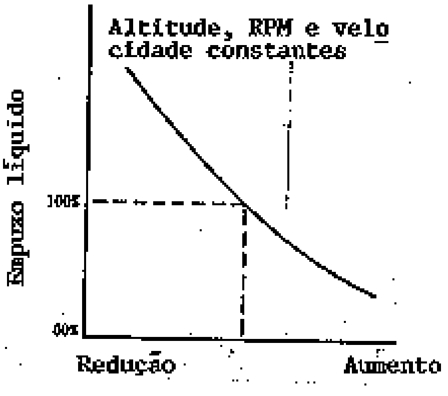


Figura 1-74 Efeitos da O.A.T. na saída do empuxo.

O efeito da altitude sobre o empuxo, como mostrado na figura 1-75, pode também ser discutido como um efeito de densidade e temperatura. Nesse caso, um aumento de altitude causa uma redução da pressão e da temperatura.

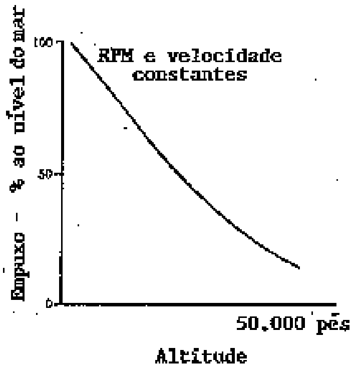


Figura 1-75 Efeitos da altitude na saída do empuxo.

Uma vez que o gradiente de temperatura é menor que o gradiente de pressão, conforme se aumenta a altitude a densidade é reduzida. Embora a temperatura reduzida aumente o empuxo, o efeito da redução de densidade compensa o efeito das temperaturas mais baixas. O resultado líquido do aumento da altitude é uma redução do empuxo liberado.

O efeito da velocidade da aeronave sobre o empuxo de um motor turbojato é mostrado na figura 1-76. Para explicar o efeito da velocidade da aeronave, é necessário primeiro entender o efeito da velocidade da aeronave sobre os fatores que se combinam para produzir o empuxo liberado. Esses fatores são, o empuxo específico e fluxo de ar do motor.

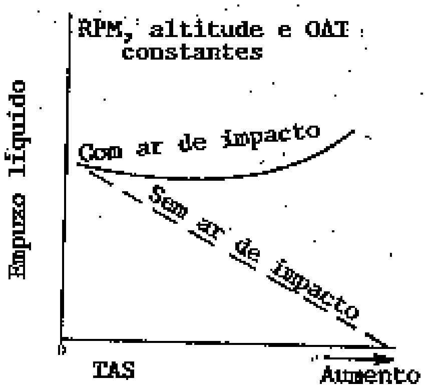


Figura 1-76 Efeitos da velocidade no empuxo líquido.

Empuxo específico são os quilogramas de empuxo liberado, desenvolvido por quilograma de fluxo de ar por segundo. Ele é o restante do empuxo específico bruto, menos a resistência aerodinâmica específica. Na medida em que a velocidade da aeronave aumenta, a resistência aerodinâmica aumenta rapidamente. A velocidade dos gases de escapamento permanece relativamente constante; desse modo, o efeito do aumento na velocidade da aeronave resulta na redução do empuxo específico, como mostrado na figura 1-76. À baixa velocidade, a redução do empuxo específico é mais rápida que o aumento do fluxo de ar, causando uma redução do empuxo líquido. À alta velocidade, na medida em que a velocidade do ar aumenta, o aumento do fluxo de ar é mais rápido que a redução do empuxo específico e causa o aumento do empuxo líquido até que a velocidade sônica seja alcançada. O efeito da combinação do empuxo líquido é ilustrado na figura 1-77.

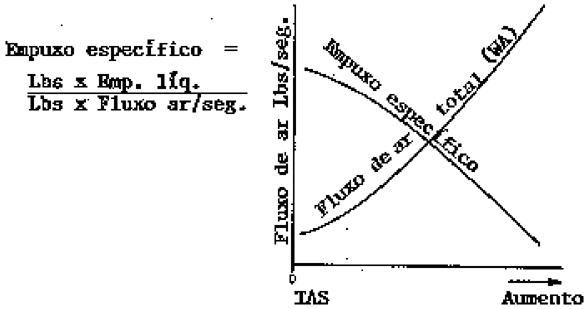


Figura 1-77 Efeitos da velocidade no empuxo específico e fluxo de ar total do motor.

Recuperação de impacto

Um aumento na pressão na entrada do motor, acima da pressão atmosférica, como resultado da velocidade da aeronave, é denominado impacto. Uma vez que qualquer efeito do impacto causará um aumento na pressão de entrada do compressor, além da pressão atmosférica, a pressão resultante causará um aumento na massa de fluxo de ar e, na velocidade, ambos tendendo a aumentar o empuxo.

Embora o efeito do impacto aumente o empuxo do motor, o empuxo produzido diminui para uma dada posição das manetes, à medida que a aeronave ganha velocidade. Portanto, duas tendências opostas ocorrem quando a velocidade de uma aeronave é aumentada. O que realmente acontece é o resultado líquido desses dois efeitos diferentes.

Um empuxo liberado do motor, temporariamente diminui, à medida em que a velocidade da aeronave aumenta a partir da estática, porém, rapidamente com a aproximação da alta velocidade, o empuxo liberado começa a aumentar outra vez.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE ADMISSÃO E DE ESCAPAMENTO

SISTEMA DE ADMISSÃO DOS MOTORES CONVENCIONAIS (ALTERNATIVOS)

O sistema de admissão de um motor convencional de aeronave consiste em: um carburador; uma tomada de ar (ou duto que conduz o ar ao carburador); e uma tubulação de admissão. Essas unidades formam um longo canal curvo, que conduz o ar e a mistura ar/combustível aos cilindros.

Esses 3 componentes, que compõem um sistema de admissão típico, são geralmente suplementados por um sistema indicador e por uma unidade de controle de temperatura, apresentados na forma de uma válvula de ar alternativa e de uma fonte de aquecimento do carburador. Adicionalmente pode haver um sistema para compressão da mistura ar/combustível.

Muitos motores instalados em aeronaves leves não usam qualquer tipo de compressor ou superalimentador, porém os sistemas de admissão para motores convencionais podem ter uma classificação genérica de motores superalimentados, ou não.

Sistemas de admissão de motores não superalimentados

O motor não superalimentado é comumente utilizado em aeronaves leves. O sistema de admissão desses motores pode ser equipado com um carburador ou com sistema de injeção de combustível.

Se for usado um carburador, esse poderá ser do tipo bóia ou do tipo pressão. Utilizando a injeção de combustível, esta normalmente será de fluxo constante (por gravidade) ou de alimentação por pressão (pulsed system).

A Figura 2-1 mostra o diagrama de um sistema de admissão em um motor não superalimentado, equipado com um carburador.

Nesse sistema de admissão, o ar frio para o carburador é admitido pelo bordo de ataque da carenagem do nariz, abaixo do cone da hélice, e é conduzido através de um filtro de ar até os dutos de alimentação do carburador. Há no carburador uma válvula, que permite buscar o ar de uma fonte de aquecimento, impedindo a formação de gelo.

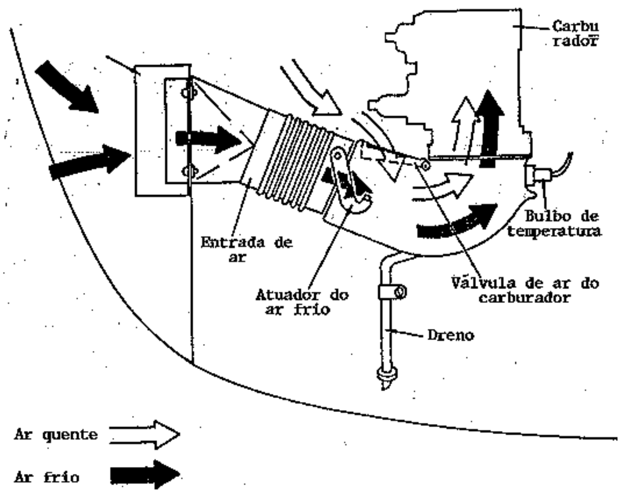


Figura 2-1 Sistemas de admissão, não superalimentado, usando um carburador.

A válvula de ar frio admite o ar pela tomada externa para a operação normal, e é controlada da cabine de comando. A válvula de ar quente admite o ar do compartimento do motor para a operação em condições, onde há formação de gelo e carga de mola para a posição “fechada”.

Quando a porta do ar frio é fechada, a seção do motor abre uma válvula de ar quente, que tem carga de mola. Caso haja retorno de chama, enquanto a válvula de ar quente estiver aberta, a tensão da mola fecha a válvula para impedir que as chamas saiam do compartimento do motor.

O filtro de ar do carburador está instalado na tomada de ar em frente ao duto; sua finalidade é impedir que a poeira, ou outros materiais estranhos entrem no motor através do carburador. O filtro de ar consiste em uma armação de liga de alumínio e numa tela de trama bem fechada, para proporcionar o máximo de área de filtragem do fluxo de ar.

Os dutos de ar do carburador consistem em dois dutos, um que é fixo e rebatido à carenagem do nariz; e outro, flexível entre o fixo e a válvula de ar do carburador.

Os dutos de ar do carburador permitem a passagem de ar externo, ou seja, de ar frio para dentro do carburador.

O ar entra no sistema através de uma tomada de ar de impacto. A abertura dessa tomada de ar está localizada na corrente de ar pressurizada pela hélice; de modo a forçá-lo para dentro do sistema de admissão, dando-lhe um efeito de ar de impacto.

O ar passa através dos dutos para o carburador; este mede o combustível em proporção ao ar admitido; e mistura o ar com a quantidade correta de combustível. Da cabine de vôo pode-se controlar o carburador na regulagem do fluxo de ar.

O sistema de indicação de temperatura de ar mostra a temperatura do ar medida na entrada do carburador. Se o sensor (bulbo) estiver ao lado do motor e próximo ao carburador, o sistema medirá a temperatura da mistura ar/combustível.

Unidades adicionais do sistema de admissão

As unidades do sistema de admissão típico, como o anteriormente descrito, atendem às necessidades do motor no que se refere à sua capacidade de produzir força.

Existem duas unidades adicionais que não acrescentam nada que auxilie o motor a fazer o seu trabalho, mas que são vitais para que haja uma operação eficiente: uma unidade é o pré-aquecedor; e a outra é o degelo com fluido.

A formação de gelo no sistema de admissão pode ser impedida ou eliminada pelo aumento da temperatura do ar que passa através do sistema. Isso é conseguido, utilizando-se de um pré-aquecedor localizado no início da linha, próximo à entrada do sistema de admissão e à frente, portanto, das perigosas zonas de formação de gelo

O calor é usualmente obtido através da abertura de uma válvula de controle, que permite ao ar quente circular no compartimento do motor, atingindo o sistema de admissão.

Quando há perigo de formação de gelo no sistema de admissão, deve-se mover o dispositivo de controle na cabine de vôo para a posição "hot", até que seja obtida uma temperatura de ar no carburador, capaz de proporcionar a proteção necessária.

Obstrução da borboleta por gelo, – ou qualquer formação de gelo que restrinja a passagem do fluxo de ar, ou reduza a pressão nos dutos – pode ser removida pelo uso de calor em todo carburador.

Se o calor obtido no compartimento do motor for suficiente e a sua aplicação for rápida, o gelo será eliminado em questão de poucos minutos. Caso a temperatura no compartimento do motor não seja alta o suficiente para combater o gelo, a capacidade de pré-aquecimento pode ser aumentada fechando-se os flapes de capota e elevando a potência do motor. Isto, entretanto, pode mostrar-se ineficiente se a formação de gelo tiver progredido demais, quando, então, a perda de potência tornará impossível gerar calor suficiente para a remoção do gelo.

O uso inadequado do aquecimento do carburador pode ser tão perigoso quanto uma grande formação de gelo nos sistema de admissão. O aumento da temperatura do ar faz com que este se expanda e perca a densidade. Esta ação faz com que se reduza o peso da carga entregue ao cilindro, levando a uma sensível perda de potência devido à eficiência volumétrica diminuída. Além disso, a alta temperatura do ar de entrada pode causar detonação e falha do motor, especialmente durante a decolagem e em operação com alta potência. Portanto, durante todas as fases de operação do motor, a temperatura do carburador deve ser capaz de proporcionar o máximo de proteção contra a formação de gelo e detonação.

Quando não há perigo de formação de gelo, o controle de calor é normalmente mantido na posição "*cold*". Será melhor deixar o controle nessa posição, se houver partículas de neve seca ou de gelo no ar. O uso do calor poderá derreter o gelo, e a umidade resultante poderá concentrar-se e congelar nas paredes do sistema de admissão.

Para impedir que haja danos às válvulas do aquecedor no caso de retorno de chama, os aquecedores do carburador não deverão ser utilizados durante a partida do motor.

Do mesmo modo, durante a operação no solo deve-se utilizar o calor do carburador apenas na quantidade suficiente que permita uma operação suave do motor. O medidor de temperatura do ar de entrada do carburador deve ser monitorado, para que se tenha certeza de que não foi excedido o valor máximo especificado pelo fabricante do motor.

Em algumas aeronaves, o sistema básico de degelo é suplementado por um sistema de degelo fluido. Esse sistema auxiliar consiste em um tanque, uma bomba, bicos de vaporização adequados instalados no sistema de admissão e de uma unidade de controle na cabine de vôo. Tal estrutura destina-se a eliminar o gelo, sempre que o calor do compartimento do motor não for alto o suficiente para prevenir sua remoção.

O uso de álcool como agente descongelante tende a enriquecer a mistura de combustível, – e em regime de alta potência esse leve enriquecimento é desejável; por outro lado, em regime de baixa potência, o uso do álcool poderá superenriquecer a mistura. Por esta razão, a aplicação de álcool deverá ser feita com muito cuidado.

FORMAÇÃO DE GELO NO SISTEMA DE ADMISSÃO

Uma breve explicação à respeito da formação e dos pontos onde ocorre a formação de gelo no sistema de admissão tem utilidade para o mecânico (figura 2-2); muito embora, normalmente ele não esteja concentrado em operações que ocorram quando a aeronave está em vôo.

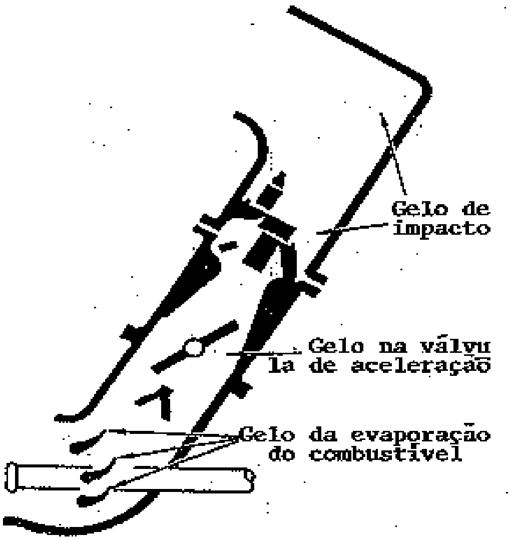

Gelo de impacto
Gelo na válvula de aceleração
Gelo da evaporação do combustível

Figura 2-2 Tipos de gelo no sistema de admissão.

O mecânico deve saber alguma coisa sobre a formação de gelo no sistema de admissão, principalmente, por causa do seu reflexo no desempenho do motor.

Mesmo quando a inspeção mostra que tudo está funcionando corretamente, o gelo no sistema de admissão pode levar um motor a falhar e perder potência no ar, ainda que o motor trabalhe perfeitamente no solo. Muitos problemas com motores, comumente atribuídos a outros motivos são, na verdade, causados pela formação de gelo no sistema de admissão.

A formação de gelo no sistema de admissão é um problema operacional perigoso, porque é capaz de cortar o fluxo da carga de ar/combustível ou variar a razão de proporção entre ar e combustível.

O gelo pode se formar no sistema de admissão enquanto a aeronave está voando em nuvens, neblina, chuva, granizo, neve ou até mesmo em céu claro em que o ar tenha uma alta taxa de umidade.

A formação de gelo no sistema de admissão é geralmente classificada em três tipos: gelo de impacto; gelo da evaporação de combustível; e gelo na válvula de aceleração.

Para que se entenda porque a operação com potência reduzida leva à formação de gelo, é preciso que se examine a área de produção de forças durante a operação.

Quando a borboleta é colocada em uma posição parcialmente fechada causa, na verdade, uma limitação da quantidade de ar disponível para o motor. O ângulo de planeio, que permite que uma hélice de passo fixo gire em catavento, faz com que o motor consuma maior quantidade de ar que o seu normal, agravando, desta forma, a falta de ar atrás da borboleta.

Sob tais circunstâncias, a borboleta parcialmente fechada imprime ao ar, que passa por ela uma velocidade muito maior que a normalmente verificada naquele ponto, produzindo assim, uma área de pressão extremamente baixa. A área de baixa pressão diminui a temperatura do ar em torno das válvulas de aceleração, pela mesma lei física que eleva a temperatura do ar quando este é comprimido.

Se a temperatura do ar cair abaixo do ponto de congelamento e houver presença de umidade, o gelo se formará nas pás da borboleta e nas unidades próximas, do mesmo modo que o gelo de impacto se forma em unidades expostas a temperaturas abaixo do ponto de congelamento.

O gelo na borboleta de aceleração pode ser minimizado em motores equipados com hélices de passo variável, por meio do uso de uma pressão efetiva média ao freio (BMEP-*brake mean effective pressure*) maior que a normal, aplicada à baixa potência.

A BMEP alta reduz a tendência de formação de gelo, porque uma grande abertura da borboleta, com uma baixa rpm do motor, remove parcialmente a obstrução que reduz a temperatura, oferecida pela operação com potência reduzida.

Filtragem no sistema de admissão

Enquanto a poeira é meramente um incômodo para a maioria das pessoas, para o motor de uma aeronave torna-se uma fonte de sérios problemas. A poeira consiste em partículas de material sólido e abrasivo, que pode ser carregado para dentro dos cilindros do motor pelo mesmo ar que é succionado. Pode formar-se acúmulo de poeira também nos elementos medidores de combustível do carburador, alterando a proporção adequada entre o fluxo de ar/combustível, em todos os regimes de potência.

A poeira pode atuar nas paredes do cilindro, desgastando as superfícies e os anéis do pistão. Com isso, acaba por contaminar o óleo que é passado pelo motor, provocando o desgaste dos rolamentos e engrenagens. Em casos extremos, a poeira pode bloquear uma passagem de óleo, causando danos por falta de lubrificação (*starvation*).

Uma quantidade de poeira já foi encontrada em vôo, e sendo o suficiente para prejudicar a visibilidade do piloto. Em algumas partes do mundo a poeira pode ser carregada para altitudes extremamente elevadas. Uma operação continuada sob tais condições, sem contar com a proteção para o motor, resultará em um desgaste excessivo, ocasionando um grande consumo de óleo.

Quando for necessária a operação em atmosfera onde tiver poeira, o motor pode ser protegido por uma tomada de ar alternativa para o sistema de admissão, a qual inclui um filtro para poeira.

Esse tipo de filtro de ar consiste normalmente em um elemento filtrante, de uma porta e de um atuador, operados eletricamente. No momento em que o sistema de filtragem está em funcionamento, o ar é conduzido ao motor através de um painel com aletas que não está voltado diretamente para a corrente de ar. Por causa da localização da entrada de ar, uma quantidade considerável de poeira é removida na medida em que o ar é forçado a mudar o seu curso, entrando no duto.

Uma vez que as partículas de poeira são sólidas, têm a tendência de continuar a trajetória em linha reta. As partículas de poeira, que porventura são levadas para dentro das aletas são facilmente removidas pelo filtro.

Em vôo, estando os filtros em funcionamento, há que se considerar todas as possíveis condições em que possa ocorrer a formação de gelo, seja pelo seu acúmulo em superfícies, ou por congelamento do filtro, que venha a ser encharcado por água de chuva.

Algumas instalações apresentam o filtro equipado com uma porta movida por carga de mola, que automaticamente passa à posição aberta quando o filtro fica excessivamente bloqueado. Isto impede que o fluxo de ar seja interrompido quando ocorrer o bloqueio do filtro por formação de gelo ou acúmulo de sujeira. Outros sistemas utilizam uma proteção contra gelo instalada na entrada do ar filtrado.

Essa proteção contra gelo consiste em uma tela grossa, áspera, localizada a uma pequena distância do ar filtrado. Nessa posição, a tela do filtro fica instalada diretamente na trajetória do ar que está sendo aspirado, forçando-o a passar através, ou em torno da tela.

Quando se forma gelo na tela, o ar, que perdeu suas partículas pesadas de umidade, passará contornando a tela congelada, entrando no filtro. A eficiência de qualquer sistema de filtro depende de sua manutenção e serviços adequados. A remoção e limpeza periódica do filtro são essenciais para que se proporcione ao motor uma proteção satisfatória.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ADMISSÃO

Durante todas as inspeções periódicas de rotina do motor, o sistema de admissão deve ser checado para constatar a existência ou não de rachaduras e vazamentos. Deve ser verificada a segurança da instalação de suportes em todas as unidades do sistema.

O sistema deve ser mantido limpo, uma vez que fibras de tecidos ou pedaços de papel podem vir a restringir o fluxo de ar, se entrarem nas tomadas de ar ou dutos.

Parafusos e porcas frouxos podem também causar sérios danos se passarem para dentro do motor.

Em sistemas equipados com filtro de ar do carburador, deve haver uma inspeção regular do filtro.

Se estiver sujo, ou sem a película de óleo adequada, o filtro deve ser removido e limpo; depois de seco, ele é geralmente imerso em uma mistura de óleo e composto antiferrugem.

O fluido em excesso é então drenado antes de proceder a reinstalação do filtro.

Pesquisa de panes no sistema de admissão

O quadro seguinte fornece uma orientação geral referente às panes mais comuns no sistema de admissão-

CAUSA PROVÁVEL	PROCEDIMENTO DE PESQUISA	CORREÇÃO
1. Falha na partida do motor		
(a) Sistema de admissão obstruído. (b) Vazamento de ar.	(a) Inspecionar a tomada e dutos de ar. (b) Inspecionar o suporte do carburador e dutos de entrada de ar.	(a) Remover as obstruções. (b) Fixar/apertar o carburador, e reparar ou substituir o duto de entrada de ar.
2. Mal funcionamento do motor		
(a) Dutos de ar soltos. (b) Vazamento nos dutos coletores de ar. (c) Válvulas do motor prendendo. (d) Hastes de comando das válvula tortas ou desgastadas.	(a) Inspecionar a tomada de ar e dutos do ar. (b) Inspecionar o suporte do carburador e dutos de entrada do ar. (c) Remover a tampa dos balancins o eixo de manivelas, e checar a ação da válvula. (d) Inspecionar as hastes.	(a) Remover as obstruções. (b) Fixar/apertar o carburador, e reparar ou substituir o duto de entrada de ar. (c) Lubrificar e solte as válvulas que estejam presas. (d) Substituir as hastes gastas ou danificadas.
3. Baixa potência		
(a) Bloqueio no duto coletor de ar. (b) Porta quebrada, na válvula de ar para o carburador. (c) Filtro de ar sujo.	(a) Examinar o duto coletor. (b) Inspecionar a válvula de ar. (c) Inspecionar o filtro de ar.	(a) Remover obstruções. (b) Substituir a válvula de ar. (c) Limpar o filtro.
4. Motor com marcha lenta irregular		
(a) Vedação da tomada de ar reduzida. (b) Tubo de tomada de ar perfurado. (c) Folga no suporte do carburador.	(a) Verificar se há desgaste ou deslocamento do vedador. (b) Inspecionar os tubos de tomada de ar. (c) Inspecionar os parafusos de fixação.	(a) Substituir a vedação. (b) Substituir os tubos de tomada de ar defeituosos. (c) Apertar os parafusos de fixação.

Sistemas de admissão superalimentados

As superalimentações utilizadas no sistema de admissão dos motores convencionais são normalmente classificadas em superalimentação externa ou interna (motores turboalimentados).

Os superalimentadores internos comprimem a mistura ar/combustível, após esta ter deixado o carburador; já nos motores turboalimentados o ar é comprimido, antes de ser misturado ao combustível dosado pelo carburador.

Cada aumento na pressão do ar ou na pressão da mistura ar/combustível em um sistema de admissão significa um estágio.

Os superalimentadores podem ser classificados Como sendo de estágio único, de dois estágios, ou de múltiplos estágios, dependendo do número de vezes em que ocorrer compressão. Os super-alimentadores também podem operar em diferentes velocidades. Dessa forma, podem também ser denominados superalimentadores de velocidade única, de duas velocidades, ou de velocidade variável.

A combinação dos métodos de classificação produz a nomenclatura, normalmente empregada para que se descreva os sistemas de superalimentação.

Assim, a partir de um sistema de velocidade única, que opera a uma razão fixa de velocidade, é possível progredir para um sistema de estágio único com duas velocidades engatadas selecionadas mecanicamente, ou de um superalimentador de estágio único com engate de velocidade hidráulico.

Muito embora os sistemas de dupla velocidade ou os de velocidade múltipla permitam uma variação da pressão de saída, o sistema ainda permanece classificado como de estágio único de compressão, se este apresentar apenas um estágio de turbina, uma vez que isto implica num aumento ou decréscimo de compressão obtido por vez.

TURBOALIMENTADORES ACIONADOS INTERNAMENTE

Os turboalimentadores são quase que, exclusivamente, utilizados por motores aspirados de alta potência. Excetuando-se a construção e a disposição dos vários tipos de superalimentadores, os sistemas de admissão com turboalimentadores são quase idênticos.

O motivo para esta similaridade está no fato de todos os motores de aeronaves modernas requererem o mesmo controle de temperatura do ar, para que possam produzir uma boa combustão nos cilindros do motor.

Por exemplo, a temperatura da carga de ar deve estar suficientemente aquecida para assegurar uma completa vaporização do combustível, e assim sua distribuição uniforme; contudo não deve estar tão quente que venha a reduzir a eficiência volumétrica ou causar detonação do combustível.

Na presença desses requisitos, todos os sistemas de admissão que utilizem turboalimentadores devem incluir dispositivos sensores de temperatura e pressão; e as unidades necessárias para aquecer ou resfriar o ar.

Sistemas turboalimentados de estágio único

O sistema de admissão simples, mostrado na Figura 2-3, é utilizado para explicar a localização das unidades e a passagem do ar e da mistura ar/combustível. O ar entra no sistema através da tomada de ar de impacto. A abertura dessa tomada de ar está localizada para que o ar seja forçado a entrar no sistema de admissão, produzindo um efeito de ar de impacto.

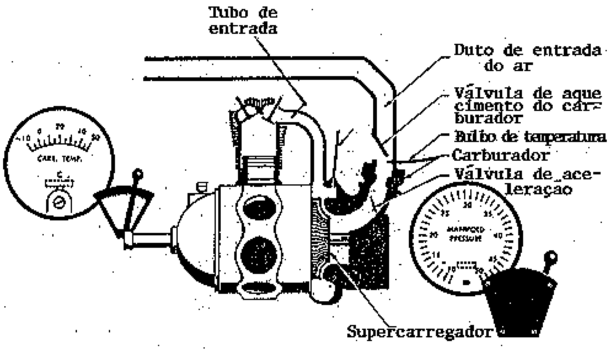


Figura 2-3 Sistemas simples de admissão.

O ar passa através de dutos para o carburador, que mede o combustível em proporção ao ar, misturando-o com uma quantidade correta de combustível. O carburador pode ser controlado da cabine de comando, para que regule o fluxo de ar. Desta forma, pode ser controlada a potência de saída produzida pelo motor.

O medidor de pressão da admissão avalia a pressão da mistura ar/combustível antes que esta entre nos cilindros, passando uma indicação do desempenho que pode ser esperado do motor.

O indicador da temperatura do ar do motor mede tanto a temperatura de ar de entrada quanto a temperatura da mistura de ar/combustível.

Tanto a indicação da temperatura do ar de entrada quanto a da mistura servem como parâmetro, para que a temperatura da carga de ar admitido seja mantida dentro dos limites de segurança.

Se na entrada do carburador, a temperatura do ar admitido estiver a 100ºF, ocorrerá uma queda de temperatura de aproximadamente 50ºF devido à vaporização parcial do combustível que sai pelo pulverizador do carburador. Quando acontece a vaporização parcial, a temperatura do ar cai devido à absorção do calor pelo combustível vaporizado.

A vaporização final acontece no momento em que a mistura ar/combustível entra nos cilindros, onde encontra uma temperatura mais alta.

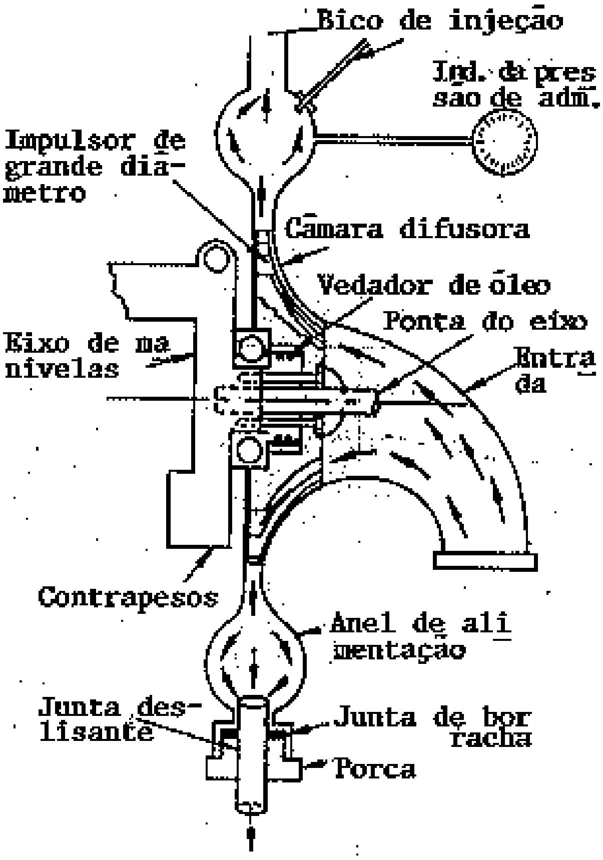

Bico de injeção
Ind. da pres
são de adm.
Impulsor de
grande diâ-
metro
Câmara difusora
Vedador de óleo
Ponta do eixo
Eixo de ma
nivelas
Entra
da
Contrapesos
Anel de ali
mentação
Junta des-
lisante
Junta de bor
racha
Porca

Figura 2-4 Impulsor de distribuição usando um motor radial.

O combustível, agora pulverizado na corrente de ar que flui dentro do sistema de admissão, está em forma globular (gotículas).

O problema a ser resolvido, então, é o de separar e distribuir uniformemente o combustível remanescente, em forma globular, aos vários cilindros.

Em motores equipados com um grande número de cilindros, a distribuição uniforme da mistura torna-se um problema ainda maior, especialmente em altas velocidades do motor, quando deve haver um aproveitamento total da grande capacidade de ar.

Um método de melhorar a distribuição de combustível é mostrado na Figura 2-4. Trata-se de um dispositivo conhecido por impulsor de admissão.

O impulsor é acoplado diretamente à haste posterior do eixo de manivelas, preso por parafusos ou pinos.

Uma vez instalado na ponta do eixo de manivelas, e operando a mesma velocidade do eixo, o impulsor não tem o papel de materialmente aumentar a pressão da mistura que flui aos cilindros, porém o combustível remanescente, ainda em forma globular, será dividido em partículas menores ao chocar-se com o impulsor, passando a entrar em contato com uma maior porção do ar admitido.

Isso, consequentemente, criará uma mistura mais homogênea com uma melhor distribuição aos vários cilindros, especialmente quando houver aceleração do motor, ou em situações em que prevalecerem as baixas temperaturas.

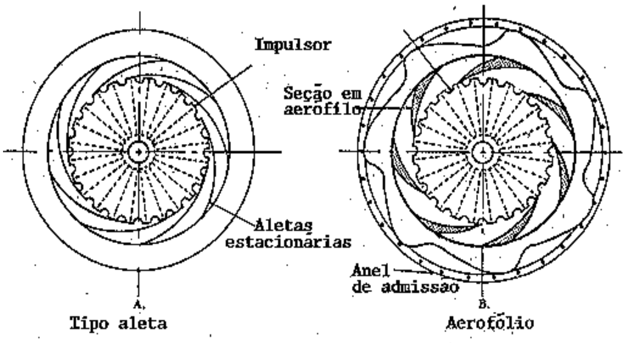

Impulsor
Seção em
aerofilo
Aletas
estacionárias
Anel
de admissão
A.
Tipo aleta
B.
Aerofólio

Figura 2-5 Difusor superalimentado (tipos seção aleta e aerofólio).

Quando houver necessidade de uma pressão maior na mistura ar/combustível, que se encontra no sistema de admissão, para que os cilindros fiquem melhor carregados, o difusor (ou *blower section*) contará com um impulsor de alta velocidade.
Diferente do impulsor de distribuição, que é conectado diretamente ao eixo de manivelas, o superalimentador (ou *blower impeller*) é acionado por um conjunto de acionamento que se origina no eixo de manivelas.

O difusor tipo Venturi apresenta superfícies lisas, às vezes com secções onde existem maiores ou menores restrições (afunilamento) que produzem o formato geral de um tubo de Venturi, entre as extremidades do impulsor e a secção anular da tubulação.

Esse tipo de difusor tem sido mais amplamente utilizado em motores de média potência, ou nos superalimentados; ou ainda naqueles que tenham que trabalhar com menores volumes de misturas e, onde a turbulência da mistura entre as extremidades e a câmara da tubulação, não seja crítica.

Em motores de grande volume, variando de 450 hp para mais, nos quais o volume da mistura tenha que ser trabalhado em velocidades mais altas e a turbulência é o fator mais importante, são mais utilizados os difusores do tipo aleta ou aerofólio.

A secção de aletas ou de aerofólio torna o fluxo de ar mais reto dentro da câmara difusora, para que se imprima aos gases um fluxo mais eficiente.

As tubulações de admissão em modelos de motores mais antigos, estendiam-se em linha reta desde o anel de alimentação até o ponto de entrada no cilindro.

Em projetos mais recentes, os tubos de admissão estendem-se do anel em uma tangente, apresentando uma curvatura enquanto segue em direção ao ponto de entrada do cilindro, a qual também recebeu um formato aerodinâmico, tornando mais eficiente o fluxo de gases que entram. Isto reduz a turbulência ao mínimo.

Este tem sido um dos métodos importantes de conseguir aumento da capacidade de admissão de ar ou de volume de ar, que um determinado tipo de motor possa requerer. Os aumentos na eficiência do superalimentador têm sido um dos principais fatores que contribuem para o aumento da potência produzida pelos motores modernos.

A razão de torque do conjunto de engrenagens do impulsor varia aproximadamente 6:1 até 12:1.

A velocidade do impulsor instalado em um motor, tendo 10:1 de razão de torque do conjunto e engrenagens e operando a 2.600 rpm, seria de 26.000 rpm.

Isto requer que a unidade impulsora seja uma peça cuidadosamente desenhada e construída, com alto grau de tolerância de forjamento e geralmente feita de liga de alumínio.

Por causa do alto grau de torque dos conjuntos de acionamento, criam-se forças de aceleração e desaceleração consideráveis quando a velocidade do motor é aumentada ou diminuída rapidamente; exigindo que o impulsor seja chavetado em seu eixo.

Além disso, é preciso que entre o eixo de manivelas e o impulsor seja incorporado ao conjunto de acionamento algum dispositivo antichoque ou com carga de mola.

Geralmente existe uma vedação de óleo (selo) em torno do eixo do impulsor, logo à frente da unidade impulsora. As funções da vedação do selo nessa unidade são as de minimizar a passagem de óleo lubrificante e de vapores, que possam vir da caixa do eixo de manivelas para dentro da câmara difusora quando o motor estiver em marcha lenta; e, também, de minimizar o vazamento da mistura ar/combustível quando a pressão exercida sobre a mistura for maior em regime de potência total (de acelerador aberto).

O espaçamento entre a seção do difusor e o impulsor será obtido pela variação do comprimento do selo de óleo, ou da espessura dos espaçadores, comumente chamados de calços. É preciso que haja pouco espaçamento para que seja dada a maior compressão possível à mistura como também para eliminar, tanto quanto for possível, o vazamento em torno das superfícies dianteira e posterior do impulsor.

Os conjuntos de eixo intermediário de acionamento podem ser montados sobre uma cabeça esférica antiatrito; ou sobre rolamentos ou buchas de atrito.

O eixo do impulsor e a engrenagem são geralmente forjados integralmente em aço de alto grau de tolerância. A extremidade do eixo, que se liga ao impulsor, é chavetada para proporcionar uma superfície de acionamento maior o possível.

O eixo intermediário, as engrenagens grandes e pequenas também formam uma única peça. Ambas as unidades são mantidas com limites dinâmicos ou equilíbrio de funcionamento bastante próximos, devido as altas velocidades e esforços envolvidos.

Sistemas superalimentadores de estágio único e duas velocidades

Alguns motores de aeronave são equipados com superalimentadores, acionados internamente, que são sistemas de estágio único e duas velocidades. Em tais sistemas, o impulsor pode ser acionado em duas velocidades diferentes por meio de embreagens.

Esta unidade é equipada com um dispositivo que permite acionar o impulsor diretamente do eixo de manivelas a uma razão de torque de 10:1, ação esta que é realizada ao mover-se o controle correspondente na cabine de vôo, desta forma aplicando pressão de óleo através da embreagem de alta velocidade, travando com isso todo o conjunto de embreagens intermediárias.

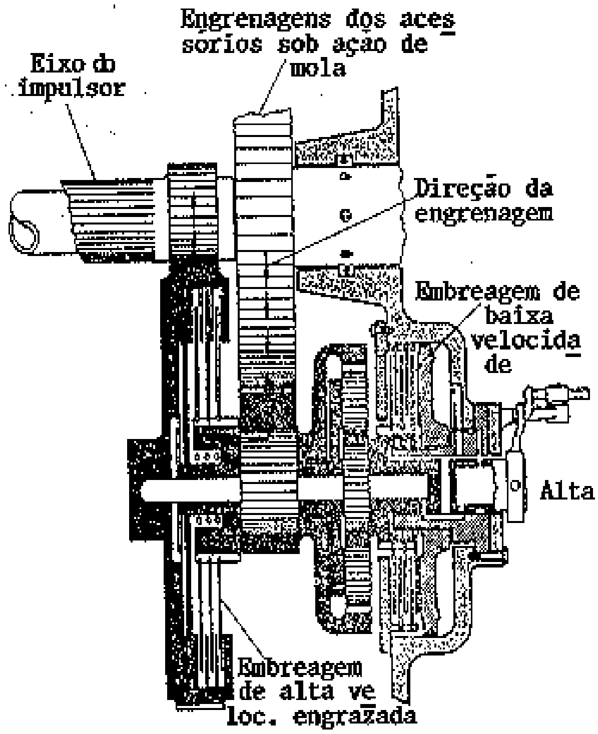

Engrenagens dos acessórios sob ação de mola
Eixo do impulsor
Direção da engrenagem
Embreagem de baixa velocidade
Alta
Embreagem de alta velocidade engrazada

Figura 2-6 Diagrama de superalimentador de duas velocidades, em alta razão.

Tal operação é conhecida pelo nome de “high blower”, sendo empregada acima de uma altitude especificada, entre 7.000 e 12.000 pés.

Abaixo desses níveis, o controle é posicionado para liberar a pressão da embreagem de alta velocidade e aplicá-la à de baixa velocidade

Isto trava o pinhão sol da engrenagem planetária pequena.

O impulsor é, então, acionado pelo conjunto de eixo e de aranha, onde os pinhões planetários giram por ação de uma grande alavanca em cotovelo. Neste caso, o impulsor é acionado a uma razão de 7:1 relativa a velocidade do eixo de manivela (ver figura 2-7).

Essa condição é chamada “*low blower*”, e é utilizada durante a decolagem e em todas as altitudes, abaixo daquelas em que se obtenha maior eficiência com “*high blower*”.

Combustível de maior graduação deve ser usado para suportar as pressões adicionais e, em alguns casos, temperaturas mais altas são criadas na câmara de combustão em consequência da alimentação de combustível mais completa sendo entregue ao cilindro.

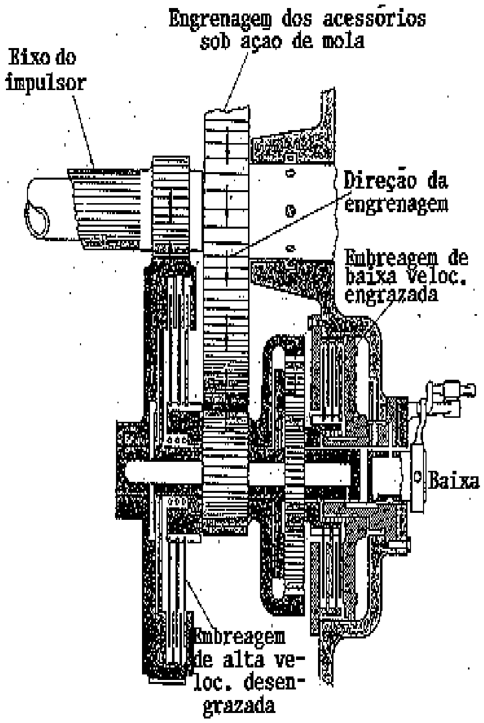

Engrenagem dos acessórios sob ação de mola
Eixo do impulsor
Direção da engrenagem
Embreagem de baixa veloc. engrazada
Baixa
Embreagem de alta veloc. desengrazada

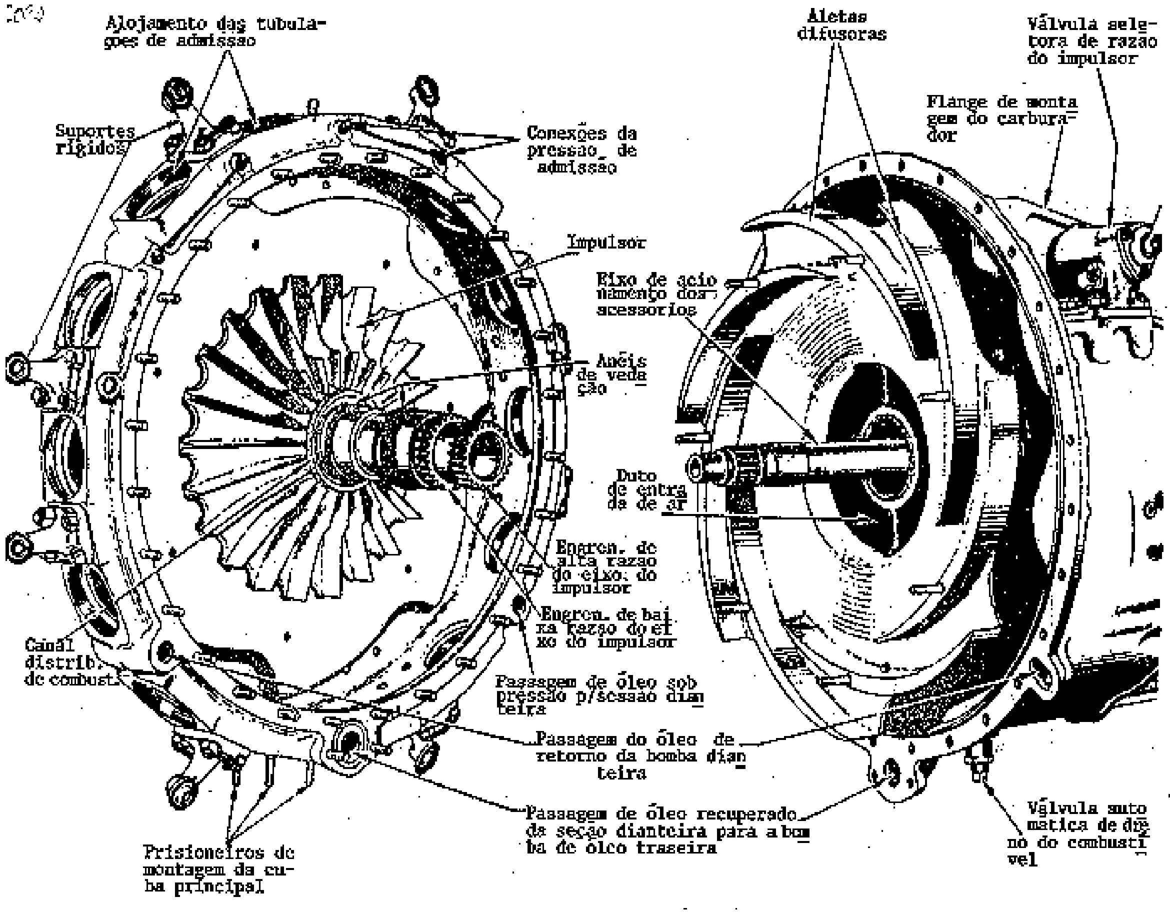
Figura 2-7 Diagrama de superalimentador, de duas velocidades, em baixa.

O acréscimo dessa unidade também complica a operação do grupo motopropulsor, porque este passa a requerer mais atenção e acrescenta mais variáveis que devem ser controladas. Um outro exemplo de sistema superalimentador de dois estágios e duas velocidades é mostrado na figura 2-8, onde as seções da ventoinha e da intermediária posterior estão abertas para mostrar sua construção interna.

Nesse exemplo, a carcaça da ventoinha serve de suporte para o motor na aeronave; sua circunferência externa apresente oito peças de apoio para os suportes de montagem do motor.

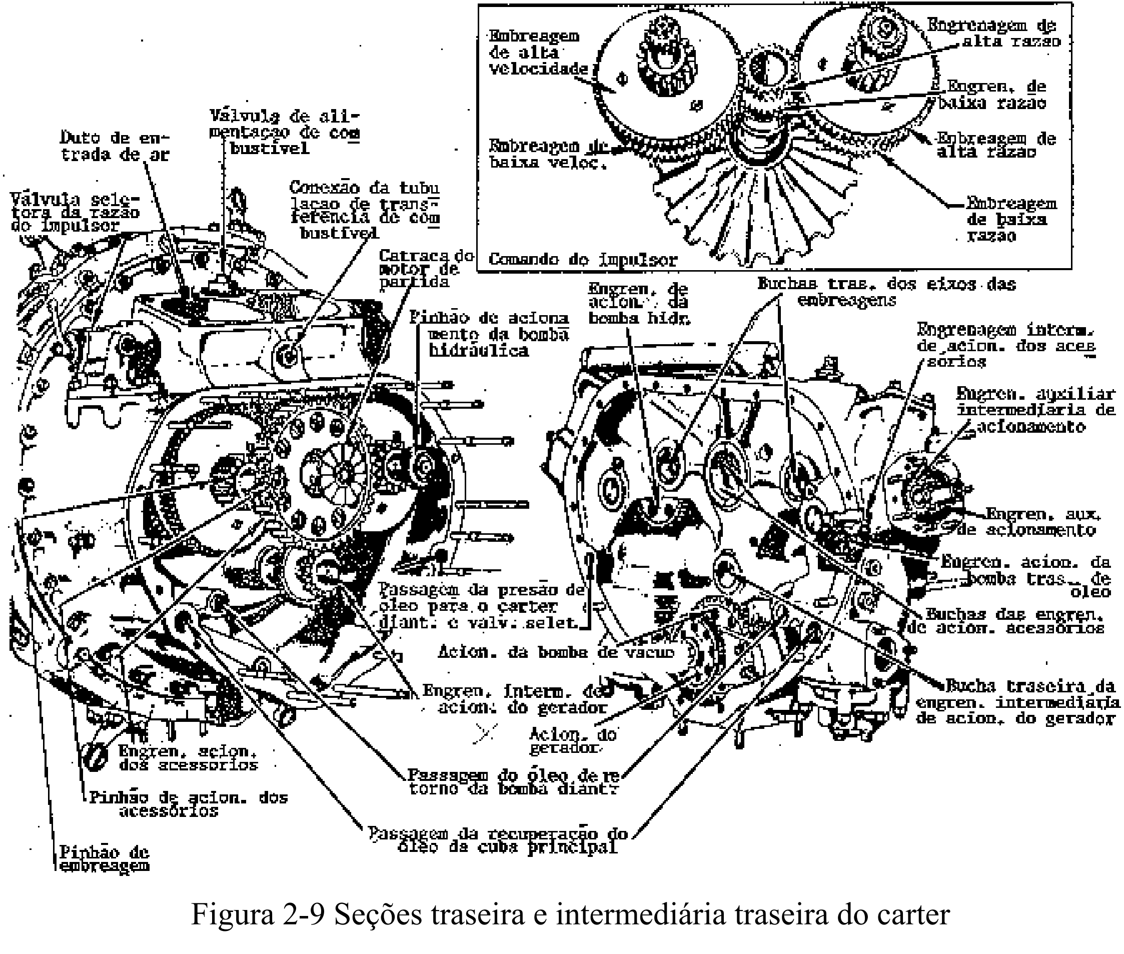
Uma camisa no centro da carcaça acomoda os anéis de vedação de óleo, que se encontram no suporte frontal de anéis do eixo do impulsor.A carcaça da ventoinha abriga o impulsor que é acionado por embreagens à razão de 7,15 ou 8,47 vezes a velocidade do eixo de manivelas. Um canal anular em torno da carcaça leva a mistura de ar e combustível do impulsor aos 14 pontos de saída da carcaça.

Conectado a cada uma dessas saídas, encontra-se um tubo de admissão, através do qual a mistura ar/combustível prossegue em direção à válvula de admissão do respectivo cilindro.



Alojamento das tubulações de admissão
Suportes rígidos
Conexões da pressão de admissão
Impulsor
Eixo de acionamento dos acessórios
Anéis de vedação
Duto de entrada de ar
Engren. de alta razão do eixo do impulsor
Engren. de baixa razão do eixo do impulsor
Canal distrib. de combust.
Passagem de óleo sob pressão p/seção dianteira
Passagem do óleo de retorno da bomba dianteira
Passagem de óleo recuperado da seção dianteira para a bomba de óleo traseira
Prisioneiros de montagem da cuba principal
Aletas difusoras
Válvula seletora de razão do impulsor
Flange de montagem do carburador
Válvula automática de dreno do combustível

Figura 2-8 Compressor e seções intermediárias e traseira.



Embreagem de alta velocidade
Engrenagem de alta razão
Engren. de baixa razão
Embreagem de baixa veloc.
Embreagem de alta razão
Embreagem de baixa razão
Comando do impulsor
Duto de entrada de ar
Válvula de alimentação de combustível
Válvula seletora da razão do impulsor
Conexão da tubulação de transferência de combustível
Catraca do motor de partida
Pinhão de acionamento da bomba hidráulica
Engren. de acion. da bomba hidr.
Buchas tras. dos eixos das embreagens
Engrenagem interm. de acion. dos acessórios
Engren. auxiliar intermediária de acionamento
Engren. aux. de acionamento
Engren. acion. da bomba tras. de óleo
Buchas das engren. de acion. acessórios
Bucha traseira da engren. intermediária de acion. do gerador
Passagem da presão de óleo para o carter diant. e valv. selet.
Acion. da bomba de vacuo
Engren. interm. de acion. do gerador
Acion. do gerador
Passagem do óleo de retorno da bomba diant.
Passagem da recuperação do óleo da cuba principal
Engren. acion. dos acessórios
Pinhão de acion. dos acessórios
Pinhão de embreagem

Figura 2-9 Seções traseira e intermediária traseira do carter

Carcaça intermediária traseira

A carcaça intermediária traseira abriga o conjunto de engrenagens de acionamento do impulsor, e oferece suporte a um difusor de aletas (ver figura 2-9). A válvula seletora de velocidade do impulsor fica instalada em um apoio na porção superior esquerda da carcaça. Do flange de montagem do carburador, no topo da carcaça, desce um duto largo que leva o ar admitido ao impulsor.

A tubulação de transferência de combustível do carburador está ligada a uma passagem na carcaça, atrás do flange de montagem do carburador.

Essa passagem leva à válvula de alimentação de combustível, esta entrega combustível ao injetor, o qual mistura esse combustível com o ar admitido.

O conjunto de invólucro e diafragma da válvula de alimentação de combustível fica instalado no lado dianteiro do flange do carburador. Uma bomba de aceleração é fixada a um apoio no lado direito da carcaça.

No ponto mais baixo do duto de ar do carburador, passagens usinadas descem até a válvula de dreno automático de combustível na parte inferior da carcaça, a qual drena qualquer quantidade de combustível que possa se acumular enquanto é dada a partida no motor.

A carcaça intermediária traseira guarda também as engrenagens de dupla velocidade e a válvula seletora de velocidade do impulsor. Tanto a embreagem de alta velocidade (8,47:1) como a de baixa (7,15:1) são montadas em cada um dos dois eixos, uma em cada lado do eixo impulsor.

Esses eixos são apoiados em suas pontas dianteiras por buchas, que estão na porção posterior da carcaça.

Os eixos são movidos pelas engrenagens de acionamento dos acessórios por meio de pinhões chavetados.

Os cones são chavetados aos eixos da embreagem e, quando engrazados, acionam as engrenagens da embreagem, as quais, por sua vez, movem as engrenagens dentadas sobre o eixo do impulsor.

A válvula seletora direciona óleo sob pressão para as câmaras de óleo, localizadas entre os cones e as engrenagens, tanto das duas embreagens de baixa como das duas de alta velocidade.

A pressão do óleo faz com que os cones engrazem os segmentos que, por sua vez, engrazam as engrenagens de qualquer dos pares de embreagens que tenham sido selecionadas para acionar o impulsor. O óleo, drenado das duplas de embreagens desengrazadas, é forçado a ir para trás através da válvula seletora, sendo descarregado na carcaça intermediária posterior.

Para que melhor se efetue a limpeza de sedimentos acumulados nas embreagens, há o equipamento com uma engrenagem transportadora; sendo que esta apresenta um dente a mais que a engrenagem de embreagem.

Um orifício de escoamento na própria engrenagem transportadora alinha-se, momentaneamente, com cada um dos orifícios de escoamento na engrenagem da embreagem correspondente. O óleo sob pressão dentro da embreagem engrazada é expulso, carregando consigo os sedimentos acumulados.

SUPERALIMENTADORES ACIONADOS EXTERNAMENTE

Os superalimentadores acionados externamente destinam-se a entregar ar comprimido à entrada do carburador ou da unidade de controle de ar/combustível de uma aeronave. Esses superalimentadores retiram sua força da energia dos gases de escapamento do motor, direcionados contra algum tipo de turbina. Por este motivo, são comumente chamados turbosuperalimentadores.

SISTEMA DE TURBOSUPERALIMENTADOR PARA GRANDES MOTORES CONVENCIONAIS

Em aeronaves que voam a grandes altitudes, o superalimentador interno é suplementado por um turbosuperalimentador externo, acionado por uma porção dos gases de escapamento do motor da aeronave.

Esse tipo de superalimentador é montado à frente do carburador, conforme mostra a figura 2-10, para que possa pressurizar o ar na entrada do carburador.

Se a pressão do ar, que está entrando no carburador, é mantida a uma densidade próxima a do nível do mar durante a subida da aeronave para altitude, não haverá nenhuma perda de potência como ocorre em aeronaves não equipadas com turbos. Entretanto, esse tipo de superalimentador impõe certas condições ao sistema de admissão, as quais não são necessárias em outras instalações de superalimentadores.

Na medida em que o ar se desloca através do turbo, sofre um aumento de temperatura causado pela compressão.

Se a massa de ar quente não for adequadamente resfriada antes de atingir o superalimentador interno, o segundo estágio de superalimentação produzirá na massa de ar uma temperatura final excessivamente elevada. O ar, nos sistemas de admissão equipados com turbos, é feito por um resfriador intermediário (figura 2-10), assim chamado porque resfria a massa de ar entre os estágios de compressão, ao invés de fazê-lo somente após o último estágio.

O ar quente flui através dos tubos desse resfriador intermediário, de um modo semelhante ao fluxo da água dentro do radiador de um automóvel.

Uma massa de ar fria externa, separada da massa de ar quente, é coletada e conduzida ao resfriador intermediário para que flua sobre os tubos, resfriando-os.

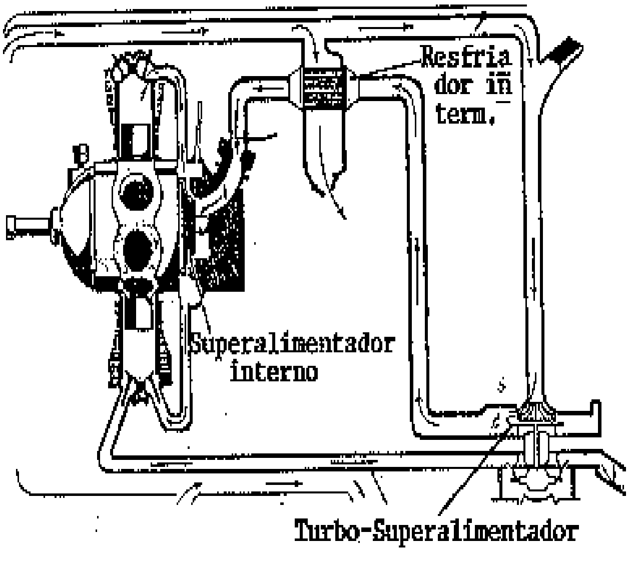


Figura 2-10 Sistemas de admissão com turbo-superalimentador.

Na medida em que a massa de ar de admissão flui através dos tubos, seu calor é removido até atingir um grau de resfriamento, que possa ser tolerado pelo motor sem que ocorra detonação do combustível.

O controle sobre a massa de ar de resfriamento é exercido pelas comportas do resfriador intermediário, que regulam a quantidade de ar que passa sobre, e em torno dos tubos cheios de ar quente.

Um turbosuperalimentador típico é composto de três partes principais:

(1) O conjunto do compressor;

(2) O conjunto de turbina de gás;

(3) A carcaça da bomba e dos rolamentos.

Essas seções são mostradas na figura 2-11. Além dos conjuntos principais, há uma placa defletora entre a caixa do compressor e a turbina dos gases de escapamento, a qual direciona o ar de resfriamento para a carcaça da bomba e dos rolamentos, protegendo o compressor do calor irradiado pela turbina.

Em instalações onde não há quantidade suficiente do ar de resfriamento, o defletor é substituído por uma carenagem que recebe seu ar diretamente do sistema de admissão.

O conjunto de compressão ("A" da figura 2-11) é formado por um impulsor, um difusor e uma carcaça.

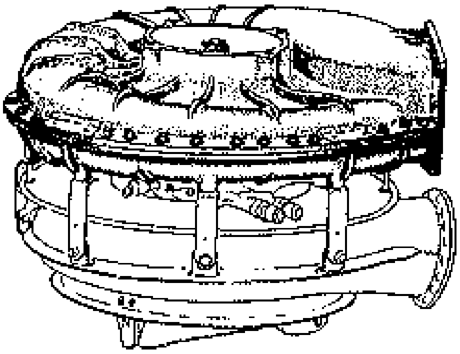
Para o sistema de admissão, o ar entra através de uma abertura circular situada no centro da carcaça do compressor, onde ele é coletado pelas pás do impulsor, e onde adquire velocidade à medida que se desloca para frente em direção do difusor.

As aletas do difusor direcionam o fluxo de ar, quando este deixa o impulsor e, também, converte a alta velocidade do ar em alta pressão.

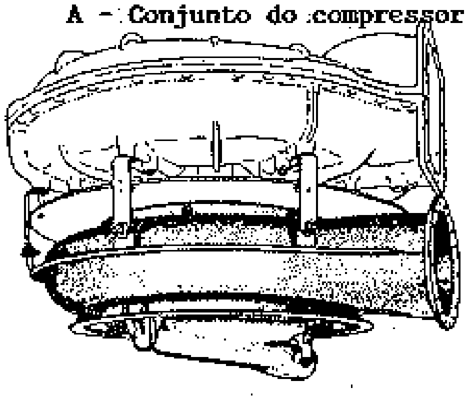
A força motriz do impulsor vem da conexão do impulsor com o eixo da roda da turbina dos gases de escapamento. A esse conjunto completo chama-se rotor.

O rotor gira sobre um rolamento de esfera no lado posterior da bomba e num rolamento de roletes, no final da turbina. Esse rolamento suporta a carga radial (centrífuga) do rotor, e os rolamentos de esfera apóiam o rotor da seção do impulsor e suportam toda a carga de empuxo (axial) e parte da carga radial.

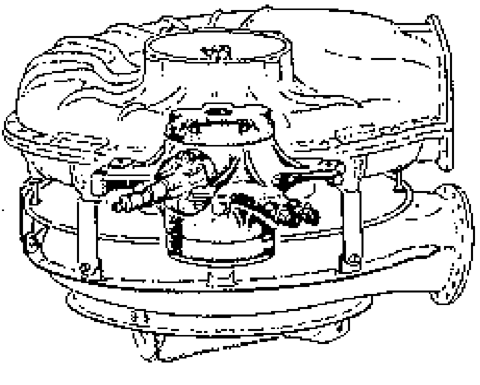
O conjunto de turbina dos gases de escapamento (“B” da figura 2-11) consiste em uma roda de turbina, uma caixa de pulverizadores, uma válvula borboleta de desvio e tampa de refrigeração. A roda da turbina, acionada por gases de escapamento, move o impulsor. A caixa de pulverizadores coleta e direciona os gases de escapamento para a roda da turbina; e a válvula borboleta de desvio regula a quantidade de gases de escapamento que são direcionados à turbina pela caixa de pulverizadores.



A - Conjunto do compressor



B - Conjunto da turbina a gás



C - Carcaça da bomba e dos rolamentos

Figura 2-11 Seções principais de um típico turbosuperalimentador.

A tampa de refrigeração controla o fluxo de ar para o resfriamento da turbina.

A válvula borboleta (figura 2-12) controla o volume dos gases de escapamento, que são direcionados à turbina e, desta forma, regulam a velocidade do rotor (turbina e impulsor).

Se a válvula borboleta estiver totalmente fechada, toda a massa de gases de escapamento será “empurrada para trás” e forçada a passar através da caixa de pulverizadores e roda da turbina. Se essa válvula estiver parcialmente fechada, uma quantidade correspondente de gases de escapamento será direcionada à turbina.

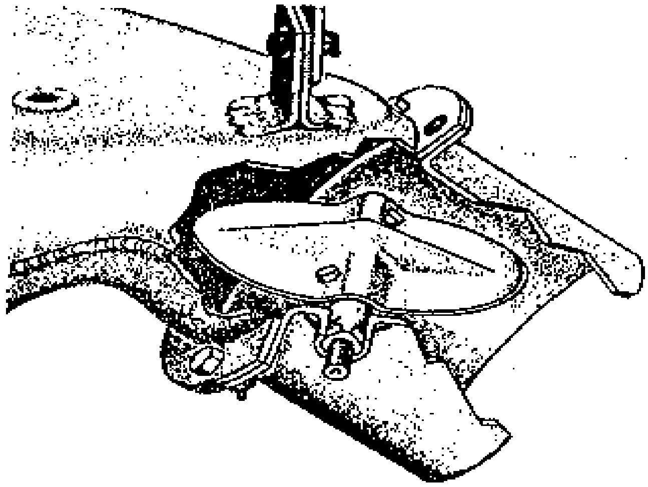


Figura 2-12 Conjunto válvula de desvio.

Os pulverizadores da caixa permitem que os gases se expandam e atinjam uma alta velocidade antes de entrarem em contato com a roda da turbina.

Então direcionados, os gases de escapamento chocam-se contra as cubas, que estão dispostas radialmente em torno da borda externa da turbina, fazendo com que o rotor (turbina e impulsor) gire.

Os gases são, então, expulsos para a atmosfera através de espaços entre as cubas.

Quando a válvula borboleta encontra-se totalmente aberta, quase todo o gás de escapamento passa para a atmosfera através do duto localizado no cone de cauda.

TURBOALIMENTADORES

Em aeronaves leves, um número crescente de motores está sendo equipado com sistemas de superalimentação, acionados externamente.

Esses superalimentadores recebem sua força da energia dos gases de escapamento e são, geralmente, denominados sistemas "turboalimentadores" ao invés de "turbosuperalimentadores". Em muitos motores de aeronaves pequenas, o sistema turboalimentador é projetado para operação apenas acima de uma determinada altitude, por exemplo, a 5.000 pés, se a força máxima disponível, sem o auxílio do superalimentador, for alcançada abaixo daquela altitude.

A localização dos sistemas de admissão e escapamento de ar, de um sistema turboalimentador típico, destinado a uma aeronave pequena é mostrada na figura 2-13.

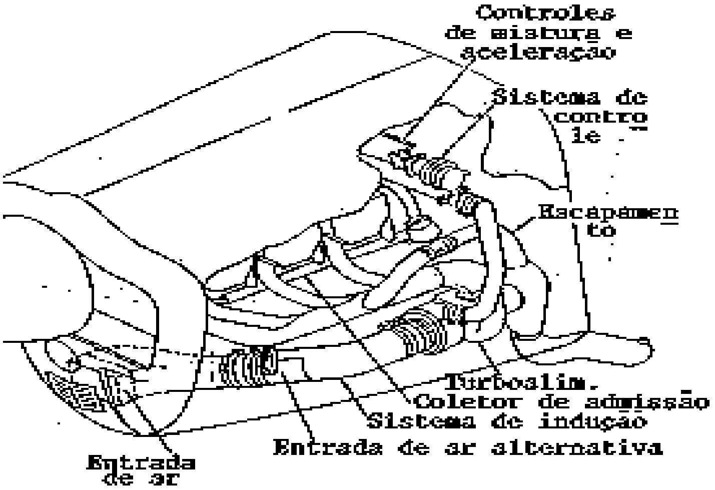

Controles de mistura e aceleração
Sistema de controle
Escapamento
Turboalim.
Coletor de admissão
Sistema de indução
Entrada de ar alternativa
Entrada de ar

Figura 2-13 Sistemas de admissão e escapamento de um motor com turboalimentador.

Sistema de admissão de ar

O sistema de admissão de ar mostrado na Figura 2-14 consiste em uma tomada de ar de impacto filtrado, localizada na lateral da nacele.

Uma porta de tomada de ar alternativa, localizada dentro da nacele, permite que a seção do compressor automaticamente admita ar por via alternativa (ar aquecido do compartimento do motor) caso haja obstrução do filtro de admissão.

A porta de ar alternativa pode ser operada manualmente na eventualidade de haver obstrução do filtro. Um turboalimentador acionado pelos gases de escapamento, montado separadamente, é incluído em cada sistema de admissão de ar.

O turboalimentador está automaticamente sob um controlador de pressão, para que seja mantida a pressão no duto, na marca aproximada de 34,5 in. Hg ao nível do mar em uma altitude crítica (tipicamente 16.000 pés), independentemente da temperatura. O turboalimentador é completamente automático, não requerendo do piloto qualquer ação até atingir a altitude crítica.

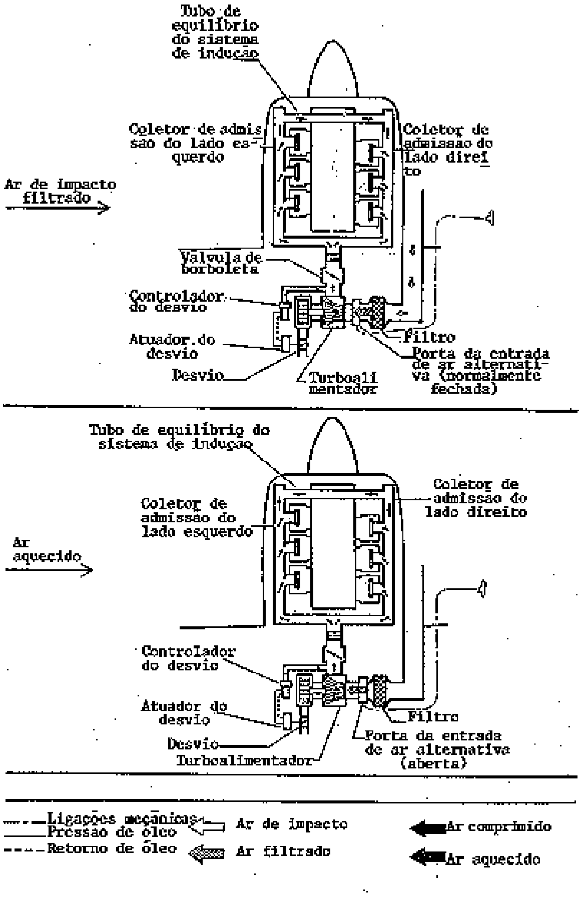

Tubo de equilíbrio do sistema de indução
Coletor de admissão do lado esquerdo
Coletor de admissão do lado direito
Ar de impacto filtrado
Válvula de borboleta
Controlador do desvio
Atuador do desvio
Desvio
Turboalimentador
Filtro
Porta da entrada de ar alternativa (normalmente fechada)
Tubo de equilíbrio do sistema de indução
Coletor de admissão do lado esquerdo
Coletor de admissão do lado direito
Ar aquecido
Controlador do desvio
Atuador do desvio
Desvio
Turboalimentador
Filtro
Porta da entrada de ar alternativa (aberta)
Ligações mecânicas
Pressão de óleo
Retorno de óleo
Ar de impacto
Ar filtrado
Ar comprimido
Ar aquecido

Figura 2-14 Esquema do sistema de admissão de ar.

Controladores e atuador da válvula de desvio

O atuador da válvula de desvio e os controladores utilizam óleo do motor como sua fonte de força (ver diagrama do sistema turboalimentador na figura 2-15). O turboalimentador é controlado pela válvula de aceleração e o respectivo atuador; e também por um controlador de pressão absoluta e de razão de mudança.

Um controlador de razão de pressão controla o atuador da válvula de desvio acima da altitude crítica de 16.000 pés. A válvula "Waste-gate" desvia os gases de escapamento do motor em torno da entrada da turbina de turboalimentação.

O atuador da válvula de desvio, que é fisicamente conectado à válvula por meios mecânicos, controla a posição da válvula borboleta de desvio..

O controlador de razão absoluta e o controlador de razão de mudança têm dupla função:

(1) O controlador de pressão absoluta controla a pressão máxima de descarga do compressor (34± 0,5 in. Hg na altitude crítica, aproximadamente 16.000 pés); e

(2) O controlador de razão de mudança controla a taxa em que deve ser aumentada a pressão de descarga do compressor do turboalimentador

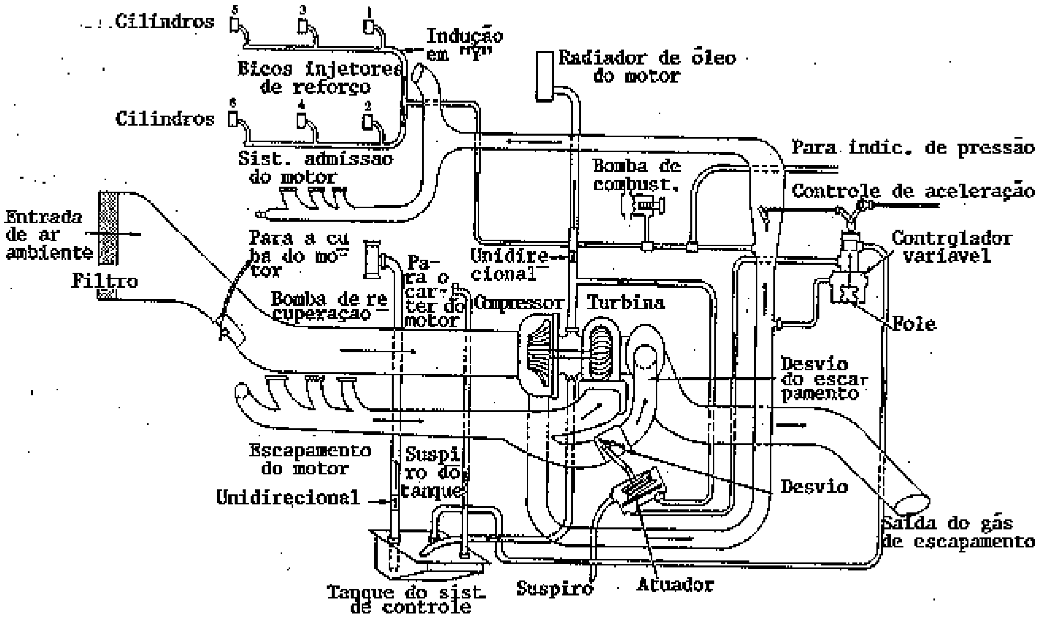

Cilindros
5
3
1
Indução em "Y"
Bicos injetores de reforço
Cilindros
6
4
2
Radiador de óleo do motor
Sist. admissão do motor
Para indic. de pressão
Bomba de combust.
Controle de aceleração
Entrada de ar ambiente
Filtro
Para a cuba do motor
Para o carter do motor
Unidirecional
Controlador variável
Bomba de recuperação
Compressor
Turbina
Fole
Desvio do escapamento
Escapamento do motor
Suspiro do tanque
Unidirecional
Desvio
Saída do gás de escapamento
Tanque do sist. de controle
Suspiro
Atuador

Figura 2-15 Esquema de um típico sistema turboalimentador.

SISTEMA TURBOALIMENTADOR REFORÇADO AO NÍVEL DO MAR

Alguns sistemas turboalimentadores são projetados para operar desde o nível do mar até sua altitude crítica. Esses motores, reforçados ao nível do mar, podem desenvolver mais potência que um motor sem turboalimentação.

A figura 2-16 é um esquema do sistema turboalimentador.

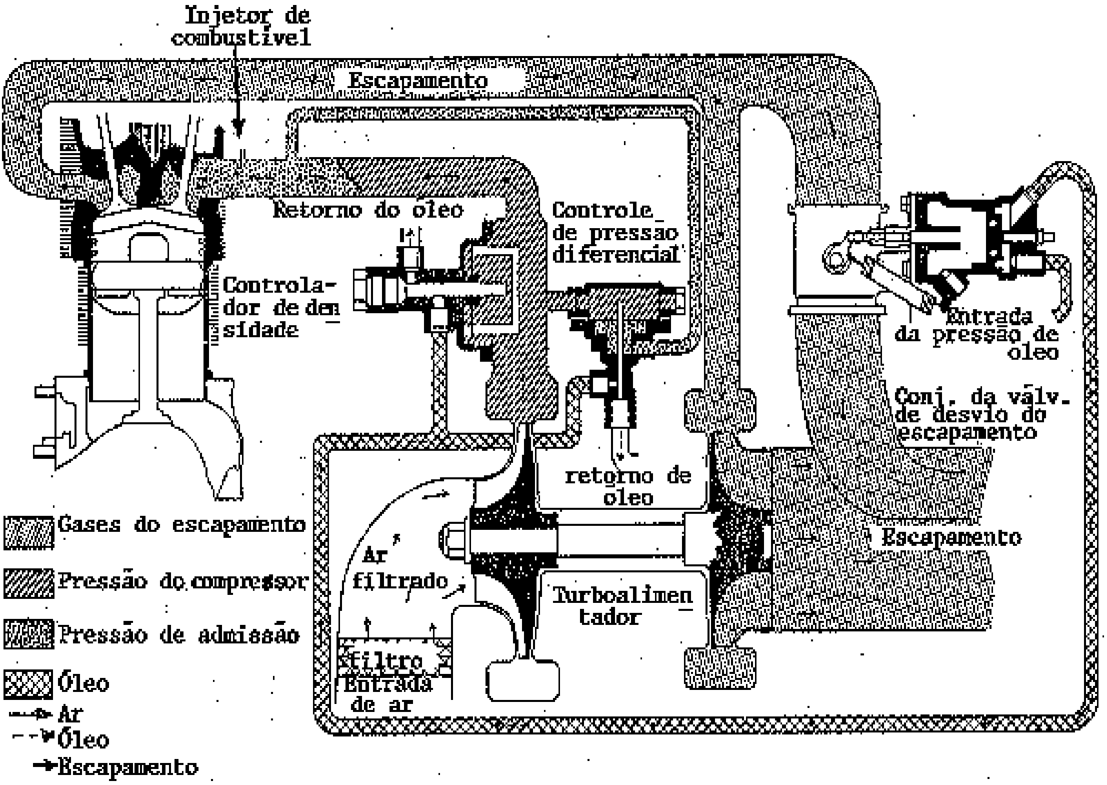

Injetor de combustível
Escapamento
Retorno do óleo
Controle de pressão diferencial
Controlador de densidade
Entrada da pressão de óleo
Conj. da válv. de desvio do escapamento
retorno de óleo
Gases do escapamento
Pressão do compressor
Pressão de admissão
Óleo
Ar
Óleo
Escapamento
Ar filtrado
Turboalimentador
Escapamento
Filtro
Entrada de ar

Figura 2-16 Controles do turboalimentador e sistema de desvio do escapamento.

Esse sistema é automaticamente regulado por três componentes: o conjunto de válvula de desvio de escapamento, o controlador de densidade e o controlador de pressão diferencial. Nota-se que alguns sistemas turboalimentadores não são equipados com tais recursos de controle automático; pois são semelhantes, em projeto e operação, ao sistema mostrado na figura 2-16, exceto pelo fato de terem a potência de saída do turboalimentador controlada manualmente. Uma potência de saída constante pode ser mantida regulando-se a posição da válvula de desvio do escapamento (waste gate), ou ainda na posição "totalmente aberta" ou "fechada" (Figura 2-16). Quando a válvula de desvio do escapamento está totalmente aberta, toda a massa de gases de escapamento é direcionada para se dissipar na atmosfera, não havendo ar sobre pressão para à entrada de ar do motor.

Do modo oposto, quando a válvula do escapamento está totalmente fechada, um volume máximo de gases de escapamento flui para a turbina do turboalimentador, proporcionando com isso uma superalimentação máxima.

Entre as duas posições extremas da válvula de escapamento, uma potência de saída constante pode ser conseguida abaixo da altitude máxima de operação projetada para o motor.

Existe uma altitude crítica para todo e qualquer ajuste de potência feito abaixo do teto máximo operacional, e, se a aeronave for levada a uma altitude superior à máxima operacional sem que tenha sido feita a correspondente modificação no ajuste de potência, a válvula de escapamento irá automaticamente para a posição "totalmente fechada", em um esforço de manter uma potência de saída constante.

Deste modo, a mesma válvula de escapamento estará quase totalmente aberta operando ao nível do mar, e continuará a mover-se para a posição "fechada" à medida que a aeronave subir, de modo a manter no duto o ajuste de pressão pré-selecionado. Quando a válvula de escapamento está totalmente fechada (deixando apenas uma pequena abertura para evitar aderência), a pressão na tubulação começará a cair caso a aeronave continue a subir.Se não for possível selecionar um ajuste de potência mais alto, a altitude crítica do turboalimentador terá sido atingida. Além dessa altitude, a potência de saída continuará a decrescer.

A posição da válvula de escapamento, que determina a potência de saída, é controlada pela pressão do óleo. A pressão de óleo do motor atua sobre um pistão, mecanicamente conectado ao conjunto de válvulas de escapamento.

Quando a pressão do óleo é aumentada no pistão, a válvula de escapamento é movida para a posição "fechada" e a potência de saída do motor aumenta. Ao contrário, quando a pressão do óleo diminui, a válvula de escapamento move-se para a posição "aberta" e a potência de saída do motor diminui.

A posição do pistão, conectada à válvula de escapamento, depende da sangria do óleo que controla a pressão do óleo do motor, aplicada sobre o topo do pistão.

O óleo é devolvido ao cárter do motor através de dois dispositivos de controle: o controlador de densidade e o controlador de pressão diferencial. Esses dois controladores, atuando independentemente, determinam quando o óleo deve ser sangrado e retornado ao cárter do motor, e assim estabelece a pressão do óleo sobre o pistão.

O controlador de densidade é destinado a limitar a pressão na tubulação, abaixo da altitude crítica do turboalimentador, e regula a sangria de óleo somente na posição "manete a plena".

Os foles sensores de pressão e temperatura do controlador de densidade reagem às mudanças de pressão e temperatura, entre a entrada do injetor de combustível e o compressor do turboalimentador.

Os foles, cheios com nitrogênio seco, mantêm uma densidade constante, permitindo que a pressão aumente à medida que há um aumento de temperatura.

O movimento dos foles reposiciona a válvula de sangria, causando uma alteração na quantidade de óleo sangrado, o que modifica a pressão do óleo sobre o topo do pistão da válvula de aceleração. Ver a figura 2-16.

O controlador de pressão diferencial funciona durante todos os posicionamentos da válvula de aceleração que sejam diferentes da posição "totalmente aberta", a qual é regulada pelo controlador de densidade. Um lado do diafragma no controlador de pressão diferencial sente a pressão do ar no fluxo anterior (*upstream*) à aceleração; o outro lado toma uma amostragem de pressão no lado da válvula de potência próximo ao cilindro (Figura 2-16).

Na posição da manete "totalmente aberta", quando o controlador de densidade regula a posição da válvula de aceleração, a pressão sobre o diafragma do controlador de pressão diferencial está em seu mínimo, e a mola do controlador mantém a válvula de sangria fechada.

Na posição "potência parcial" o diferencial de ar é aumentado, abrindo assim a válvula de sangria para levar óleo ao cárter do motor e reposicionar o pistão da válvula de aceleração.

Desse modo, ambos os controladores operam independentemente, para controlar a operação do turboalimentador em todas as posições de potência. Sem a função de ultrapassagem do controlador de pressão diferencial durante a operação de potência parcial, o controlador de densidade poderia posicionar a válvula de aceleração em potência máxima.

O controlador de pressão diferencial reduz a pressão na entrada do injetor e, continuamente, reposiciona a válvula durante todos os regimes de operação do motor.

O controlador de pressão diferencial reduz a condição de instabilidade conhecida por "contra reação" durante a operação de potência parcial.

"Contra-reação" é uma indicação de mudança de potência desregulada, que resulta em uma flutuação contínua de pressão na tubulação.

Essa condição pode ser ilustrada, considerando-se a operação de um sistema quando a válvula de aceleração encontra-se totalmente fechada. Durante esse período, o controlador de pressão diferencial não está modulando a posição da válvula de aceleração.

Qualquer alteração mínima de potência, causada por uma mudança de temperatura ou flutuação de rpm será aumentada, e resultará em uma modificação na pressão da tubulação, uma vez que uma pequena alteração fará com que se altere a quantidade dos gases de escapamento fluindo para a turbina. Qualquer alteração no fluxo de gases de escapamento fluindo para a turbina, ocasionará uma modificação na potência de saída, o que será refletido pelas indicações de pressão na tubulação.

A "contra-reação" é, desta forma, um ciclo indesejável de eventos de turboalimentação que leva a pressão da tubulação a flutuar na tentativa de alcançar um estado de equilíbrio.

Às vezes o fenômeno "contra-reação" é confundido com uma condição conhecida por ("overboost"), mas a "contra-reação" não é uma condição que comprometa a vida do motor.

Uma condição de "sobrecarga" é aquela em que a pressão da tubulação excede aos limites prescritos para um determinado motor e pode, por este motivo, causar sérios danos.

Assim, o controlador de pressão diferencial é necessário para que haja um funcionamento suave do turboalimentador de controle automático, uma vez que reduz a "contra-reação" pela redução do tempo requerido para trazer o sistema ao equilíbrio.

Um motor turboalimentado apresenta muito mais sensibilidade ao comando de potência do que um motor convencional. Um movimento rápido da manete de potência pode causar uma certa variação de pressão no duto em um motor turboalimentado. Essa condição, menos grave que a "contra-reação", é conhecida por sobrecarga.

Mesmo não sendo uma condição de perigo, ela pode ser um motivo de preocupação para o piloto, ou operador, que selecione um determinado ajuste de pressão no duto, verificando, poucos segundos depois, que essa pressão oscilou e necessita de novo ajuste.

Uma vez que os controles automáticos não possam responder com rapidez suficiente às mudanças bruscas nos ajustes de potência, de modo a eliminar a inércia das mudanças de velocidade do turboalimentador, a sobrecarga deve ser eliminada pelo operador.

Isto pode ser conseguido ao se modificar lentamente os ajustes de potência, sempre dando ao sistema alguns segundos para alcançar um equilíbrio.

PANE	CAUSA PROVÁVEL	REPARO
Aeronave não atinge a altitude crítica.	• Roda da turbina ou compressor danificado. • Vazamento no sistema de escapamento. • Rolamentos defeituosos no turboalimentador. • Comporta de escapamento não fecha totalmente. • Mal funcionamento do controlador.	• Substituir o turboalimentador. • Fazer o reparo dos vazamentos. • Substituir o turboalimentador. • Ver "comporta de escapamento" na coluna PANE. • Ver "controlador diferencial" na coluna PANE.
Vibrações do motor.	• Vibração de pressão na tubulação. • Mal funcionamento da comporta de escapamento. • Mal funcionamento do controlador.	• Verificar se o motor está operando na faixa adequada. • Ver "comporta de escapamento" na coluna PANE. • Ver "controlador diferencial" na coluna PANE.
Comporta de escapamento não fecha totalmente.	• Rolamentos da válvula de desvio da comporta estão emperrados. • Orifício de entrada de óleo bloqueado. • Mal funcionamento do controlador. • Articulação da comporta de escapamento está quebrada.	• Substituir a válvula de desvio. • Limpar o orifício. • Ver "controlador" na coluna PANE. • Substituir a articulação; e ajustar a comporta de escapamento para abrir e fechar adequadamente.
Comporta de escapamento não abre.	• Saída de óleo obstruída. • Articulação da comporta de escapamento quebrada. • Mal funcionamento do controlador.	• Limpar e reconectar a linha de retorno de óleo. • Substituir a articulação; e ajustar a abertura e fechamento da comporta. • Ver "controlador" na coluna PANE.
Mal funcionamento do controlador diferen-cial.	• Vazamento na vedação. • Diafragma danificado. • Válvula do controlador emperrada.	• Substituir o controlador. • Substituir o controlador. • Substituir o controlador.
Mal funcionamento do controlador de densidade.	• Vazamento na vedação. • Foles danificados. • Válvula emperrada.	• Substituir o controlador. • Substituir o controlador. • Substituir o controlador.

TABELA 1. Pesquisa de Panes em Sistema Turboalimentador

Esse procedimento aplica-se aos motores turboalimentados, independentemente do seu grau de sensibilidade aos ajustes de potência.

A tabela 1 inclui as panes mais comuns do sistema turboalimentador, acompanhadas de uma descrição de causas e reparos.

Esses procedimentos de pesquisa de panes são apenas apresentados como um guia, não devendo, portanto, serem substituídos pelas instruções e procedimentos de pesquisa de panes aplicáveis, fornecidas pelo fabricante.

SISTEMAS COMPOSTOS COM TURBO PARA MOTORES CONVENCIONAIS

O motor composto com turbo consiste em um motor convencional, no qual turbinas movimentadas por gases de escapamento encontram-se acopladas ao eixo de manivela.

Esse sistema de obtenção de força adicional é, às vezes, denominado sistema de recuperação de força da turbina (PRT-power recovery turbine)

Não é um sistema de superalimentação, e não está conectado de qualquer maneira ao sistema de admissão de ar da aeronave.O sistema PRT permite que o motor recupere força/potência utilizando os gases de escapamento que, de outra forma, estariam sendo direcionados para a atmosfera.

Dependendo do tipo de motor, a quantidade de HP recuperada varia com a quantidade de potência aplicada. Tratando-se de motores convencionais grandes, é uma situação típica do sistema apresentar uma recuperação de 130 HP de cada uma das três turbinas.

A figura 2-17 mostra uma turbina de recuperação de potência conectada por engrenagens ao eixo de manivela do motor.

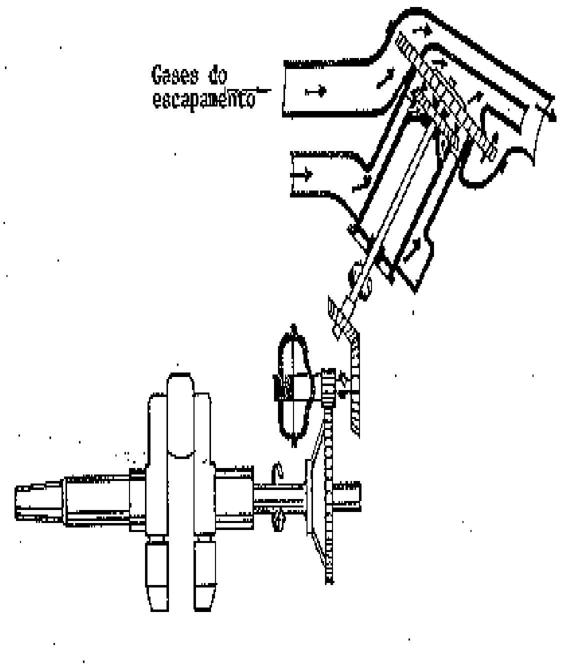


Figura 2-17 Transmissão da força da turbina para o eixo de manivelas

Tipicamente, existem três turbinas de recuperação de potência em cada motor, dispostas a intervalos de 120º. Elas são numeradas em sentido horário, vistas no sentido de trás do motor para frente. A turbina nº 1 está localizada na posição 3 horas, e a turbina nº 3 fica na posição 11 horas.

A posição da turbina, em relação ao sistema de escapamento dos vários cilindros em um motor de 18 cilindros, é mostrada no esquema da figura 2-18.

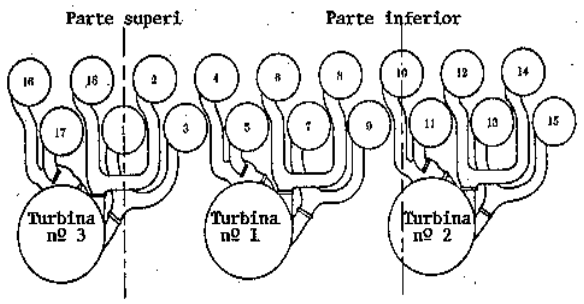


Figura 2-18 Diagrama esquemático de um sistema PRT.

O coletor de gases de escapamento direciona os gases na roda da turbina. O eixo da turbina transmite a força para o eixo de manivela do motor, através das engrenagens e de seu acoplamento.

O acoplamento impede que a vibração de torção seja passada ao eixo de manivelas.

Devido ao seu elevado peso e custo, a serem considerados, os sistemas de turbinas de recuperação de potência são utilizados exclusivamente em motores convencionais grandes.

SISTEMAS DE ADMISSÃO DO MOTOR TURBOJATO

Embora não se possa estabelecer um paralelo direto, o duto de admissão de ar de um motor a turbina, de algum modo, assemelha-se ao sistema de admissão de ar dos motores convencionais.

A admissão de um motor convencional e o duto de admissão de um motor a turbina proporcionam um suprimento de ar de alta energia, relativamente livre de distorção, e na quantidade requerida para o compressor. Um fluxo de ar contínuo e uniforme é necessário para evitar o estol do compressor e excessivas temperaturas internas do motor na turbina. A alta energia permite que o motor produza uma quantidade maior de empuxo. Normalmente, o duto de admissão de ar é considerado como uma parte integrante da estrutura do avião, e não uma parte do motor. No entanto, esse duto é tão importante para o desempenho do motor, que precisa ser levado em conta qualquer discussão sobre o motor como um todo.

Um motor a turbina consome 10 vezes mais ar por hora que o motor convencional de tamanho equivalente. A passagem de entrada de ar é correspondentemente maior.

Além do mais, é mais crítica que uma tomada de ar de motor aspirado, no que se refere ao desempenho do motor e da aeronave, especialmente em altas velocidades.

Deficiências do duto resultam do aumento de perdas sucessivas, através de outros componentes do motor.

O duto de admissão de ar apresenta duas funções: uma para o próprio motor e outra para a aeronave.

Em primeiro lugar, deve ser capaz de admitir o máximo possível de pressão da corrente de ar livre, e conduzir essa pressão à frente do motor com um mínimo de perda de pressão ou de diferencial. Isto é conhecido como recuperação de ar de impacto, ou ainda, como "recuperação total de pressão".

Em segundo lugar, o duto deve conduzir o ar uniformemente à entrada do compressor, com o mínimo possível de turbulência e variação de pressão. No que se refere à aeronave, o duto deve reduzir ao mínimo o seu efeito de arrasto.

Uma queda ou diferencial de pressão é causado pela fricção do ar ao longo das laterais do duto e pelas curvas no sistema.

O fluxo suave depende do nível de turbulência ser mantido a um mínimo quando o ar entra no duto.

O duto deve apresentar uma secção suficientemente reta que possibilite em seu interior um fluxo de ar uniforme.

A escolha da configuração de entrada do duto é determinada pela localização do motor na aeronave, e ainda, a velocidade do ar, altitude e atitude em que a aeronave é projetada para operar. Há dois tipos básicos de duto de admissão: o duto de entrada única e o de entrada dividida.

Qualquer que seja o tipo do duto, é essencial que a sua construção seja feita com muito cuidado; da mesma forma em que o reparo da entrada do duto requer bastante atenção e habilidade, pois é surpreendente como pequenas quantidades de distorção do fluxo de ar podem resultar em uma considerável perda de eficiência do motor, ou podem ainda resultar em por um estol do compressor aparentemente inexplicável.

Pontas de rebites que não estejam perfeitamente faceadas, ou um trabalho mal realizado na chapa de metal, podem comprometer totalmente o que, de outro modo, seria uma instalação de duto aceitável.

Duto de entrada única

O duto de entrada única é o mais simples e eficiente, devido a sua entrada ficar localizada diretamente à frente do motor e da aeronave, que podendo captar um fluxo de ar livre de turbulência.

A figura 2-19 ilustra a posição do duto de entrada única em um avião monomotor turbojato. Além disso, o duto pode ser construído em configuração reta ou apresentando apenas algumas discretas curvaturas. Na instalação feita em avião monomotor, em que o motor é montado na fuselagem, o duto é necessariamente longo. Se por um lado, pode haver uma pequena queda de pressão ocasionada pelo comprimento do duto, essa condição é superada pelas características que, por outro lado, permitem que haja no duto um fluxo de ar uniforme.

Em instalações de multimotores, é necessário que o duto seja curto, reto ou com um mínimo de curvatura. Embora o duto mais curto e sem curvaturas permita um mínimo de queda de pressão, o motor passa a ficar sujeito a sofrer os efeitos de turbulência na entrada da admissão de ar, particularmente em condições de baixa velocidade do ar ou acentuados ângulos de ataque.

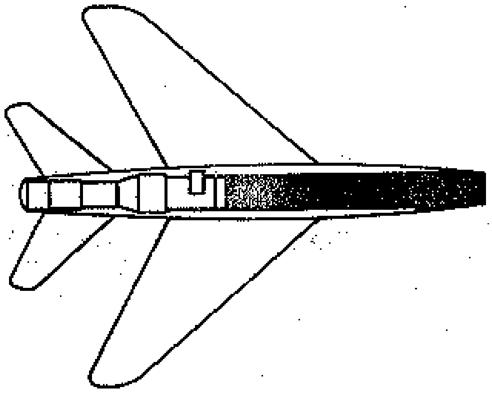


Figura 2-19 Aeronave com duto de entrada única.

Duto de entrada dividida

As exigências dos aviões monomotores de alta velocidade, nos quais o piloto senta-se na parte baixa da fuselagem e próximo ao nariz, são dificuldades impostas para a utilização do duto de entrada única.

Pode ser necessária, então, alguma forma de duto de admissão com entrada dividida, com tomadas de ar nos dois lados da fuselagem.

Esse duto dividido pode apresentar suas entradas nas raízes das asas, ou uma em cada lado da fuselagem, conforme mostra a Figura 2-20. Qualquer desses tipos de duto oferece mais problemas ao projetista da aeronave do que os dutos de entrada única; por causa da dificuldade em se conseguir uma área de admissão de ar suficiente, que não venha a ser proibida devido à quantidade de arrasto que possa produzir. Internamente, o problema é o mesmo encontrado pelo duto de entrada simples, ou seja: o de construir um duto que tenha um comprimento razoável e, ao mesmo tempo, com o mínimo possível de curvaturas.

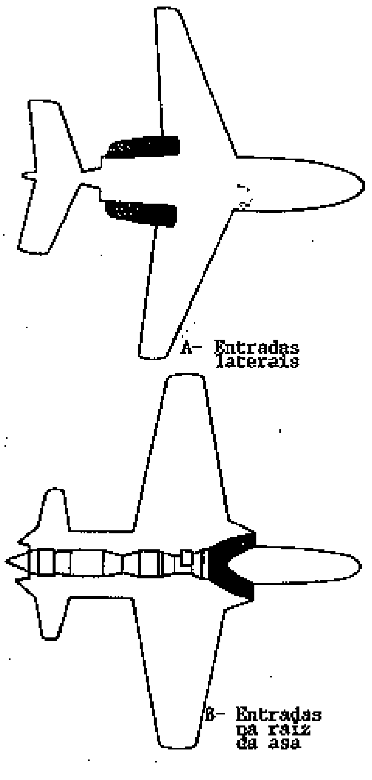


Figura 2-20 Dois tipos de dutos de entrada dividida.

A localização da entrada de ar na raiz da asa de uma aeronave, em que a asa esteja bastante deslocada para trás, oferece um problema de projeto porque, embora curto, o duto deve apresentar uma curvatura considerável que possa entregar adequada demanda de ar para o compressor.

Geralmente são utilizadas tomadas de ar nas laterais da fuselagem. Essas tomadas são localizadas tão à frente quanto for possível, para permitir que haja uma curvatura gradativa em direção à entrada do compressor, trazendo as características do fluxo de ar para condições próximas daquelas encontradas no duto de entrada simples.

Uma série de pequenas hastes são, às vezes, colocadas na entrada de ar lateral para ajudar no direcionamento do fluxo de ar admitido, que deve continuar em linha reta para evitar turbulência.

Duto de geometria variável

A função principal de um duto de admissão é fornecer a quantidade de ar adequada para o motor. Em um motor turbojato típico, a exigência de um fluxo de ar máximo são tais que o número “Mach” do fluxo de ar, diretamente acima da frente do motor fica em torno de 0,5 ou pouco menos.

Portanto, sob praticamente todas as condições de vôo exceto decolagem e pouso, a velocidade do fluxo de ar deve sofrer uma redução, antes que o mesmo ar esteja pronto para entrar no compressor. Para se conseguir isso, os dutos de admissão são projetados para funcionar como difusores e, assim, diminuir a velocidade do ar e aumentar a sua pressão estática.

Para as aeronaves multimotoras subsônicas, um duto de admissão normal tem o seu tamanho aumentado em direção à sua extremidade posterior, conforme ilustra a figura 2-21.

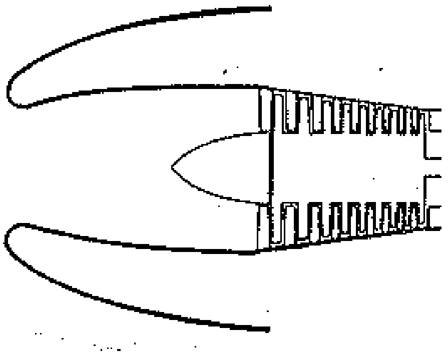


Figura 2-21 Entrada de ar subsônica divergente .

Um difusor supersônico tem sua área progressivamente diminuída no sentido da continuação do fluxo de ar. Desta forma, um duto de admissão supersônico seguirá a configuração geral até que a velocidade do ar admitido seja reduzida para Mach 1.0. A partir daí, a secção posterior do duto começará a ter sua área aumentada, uma vez que esta parte deva funcionar como um difusor subsônico. (Ver a figura 2-22).

Para aeronaves de velocidade muito alta, a área interna da configuração do duto será modificada por dispositivos mecânicos, dependendo do aumento ou diminuição de velocidade da aeronave. Um duto desse tipo é geralmente conhecido por duto de admissão de geometria variável.

Dois métodos são utilizados para a difusão do ar e diminuição da velocidade de seu fluxo em vôos supersônicos. Um método possível é o de variar, a área ou geometria do duto de admissão, pelo uso de restritores móveis dentro do duto. Existe ainda um outro sistema que funciona como um tipo de combinação de desvio variável de fluxo de ar que extrai do duto e à frente do motor, parte do ar admitido. Em alguns casos utiliza-se a combinação de ambos os sistemas.

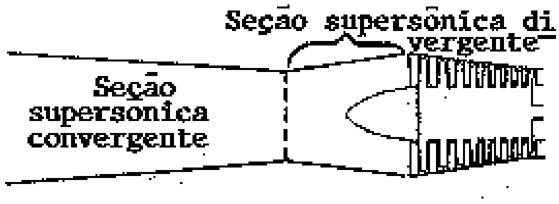


Figura 2-22 Entrada de ar supersônica.

O outro método é a utilização de uma onda de choque na corrente de ar. Uma onda de choque é uma área estreita de descontinuidade em um fluxo de ar ou gás, durante a qual a velocidade, a pressão, densidade e temperatura do ar ou gás são submetidas a uma modificação brusca.

Ondas de choque mais fortes produzem maiores alterações nas propriedades do ar ou do gás.

Uma onda de choque é deliberadamente colocada no fluxo supersônico do ar que está entrando no duto, por meio de algum tipo de restrição ou pequena obstrução que, automaticamente, projeta-se dentro do duto em vôos com um número "Mach" alto.

A onda de choque resulta na difusão do fluxo de ar, o qual, por sua vez, tem a sua velocidade reduzida.

Em pelo menos uma instalação de aeronave é utilizada a combinação dos dois métodos, o de choque e de geometria variável, para se conseguir a difusão do fluxo de ar. O mesmo dispositivo que modifica a área do duto também estabelece a onda de choque que, em seguida, irá reduzir a velocidade do ar que está sendo admitido para dentro do duto. A modificação na área do duto e a magnitude do choque são variadas automaticamente com a velocidade do ar na aeronave.

Com a entrada de geometria variável, o zumbido que às vezes ocorre na tomada de ar durante vôos com número Mach elevado, pode ser evitado alterando-se a o valor da variação da área de entrada, que será afetada durante a operação do sistema de geometria variável.

O zumbido resulta da instabilidade do ar que ocorre quando a onda de choque é alternadamente engolida e regurgitada na tomada de ar. Em condições severas, esse fenômeno pode causar violentas flutuações de pressão da tomada de ar, que pode resultar em danos a sua estrutura ou, possivelmente, ao próprio motor.

Um duto de geometria variável adequado irá eliminar o zumbido pelo aumento da estabilidade do fluxo de ar dentro do duto de admissão.

Entrada do compressor tipo boca de sino

Embora não se trate de um duto, no sentido real da palavra, a entrada tipo boca de sino é geralmente instalada em um motor que está sendo calibrado em bancada de teste, de modo a levar o ar externo estático às aletas guias do bocal do compressor.

Esse tipo de entrada de ar é facilmente instalado e removido, sendo projetado com o único objetivo de obter uma eficiência aerodinâmica bastante alta.

Essencialmente, esta entrada de ar é um funil em forma de sino com bordas cuidadosamente arredondadas que praticamente não oferecem resistência ao ar.(Ver figura 2-23).

A perda no duto é tão insignificante que é considerada zero. O motor pode, portanto, ser colocado em funcionamento sem as complicações resultantes das perdas comuns a um duto instalado na aeronave.

Os dados de desempenho do motor, tais como potência nominal e consumo específico de combustível (a uma determinada potência) são obtidos pelo uso de uma entrada de compressor tipo boca de sino.

Geralmente, as entradas de ar são fixadas com telas protetoras. Nesse caso, a eficiência perdida à medida que o ar atravessa a tela deve ser levada em conta quando é necessária uma verificação precisa de dados do motor.

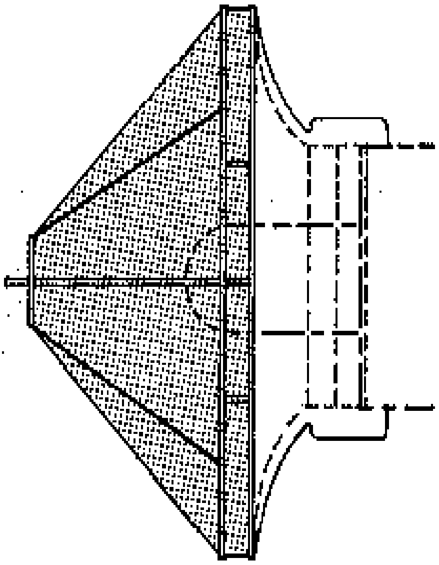


Figura 2-23 Entrada do compressor do tipo boca de sino.

ENTRADAS DE AR DO COMPRESSOR EM MOTORES TURBOÉLICE

A admissão de ar em um motor turboélice é mais problemática que em um motor turbojato, porque o eixo de acionamento da hélice, o cubo e a carenagem (cone) de proteção do cubo têm que ser levados em conta, além dos outros fatores de projeto que comumente fazem parte deste dispositivo.

Uma configuração de cone protetor do tubo e duto de admissão de ar (figura 2-24A) é geralmente considerada como o melhor projeto para um motor turboélice, no que se refere ao fluxo de ar e características aerodinâmicas.

Entretanto, o duto que tem um cone é mais pesado e oferece mais dificuldades para a manutenção e controle antigelo do que o cone convencional de fluxo aerodinâmico, freqüentemente utilizado.

A proteção do cubo da hélice com formato cônico, que é uma versão modificada do cone aerodinâmico é, às vezes, utilizado. Em qualquer dos casos, a disposição do *spinner* e do duto de admissão de ar é semelhante àquela ilustrada na figura 2-24B. Quando a seção do nariz de um motor turboélice é deslocada do eixo principal do motor, pode ser utilizada uma configuração semelhante à apresentada na figura 2-24C.

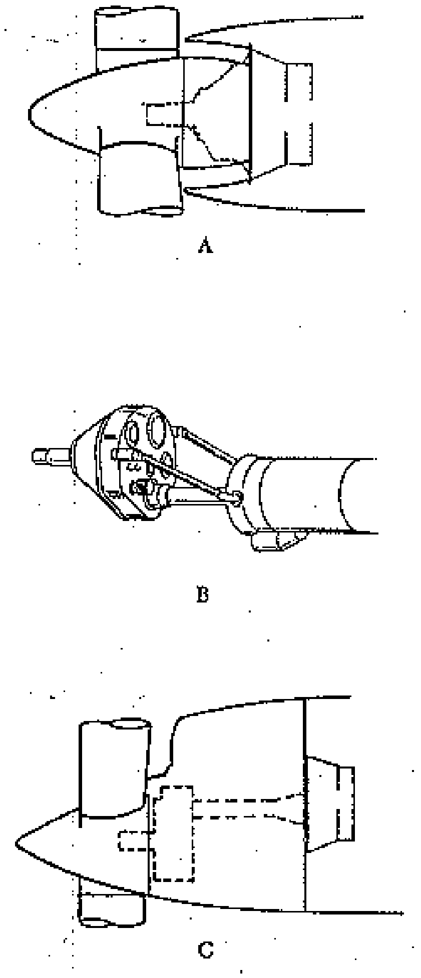


Figura 2-24 Entradas do compressor de turboélices.

Telas de entrada do compressor

É bastante conhecido o apetite que uma turbina de gás tem por parafusos, pequenos pinos, rebites, pequenas ferramentas de mão, pedaços de pano e coisas do gênero.

Para impedir que tais objetos sejam ingeridos pelo motor, coloca-se uma tela de entrada do compressor para proteger a área (diâmetro) de entrada de ar do motor.

As vantagens e desvantagens de uma tela desse tipo variam. Se o motor estiver muito susceptível a sofrer avarias internas, como seria o caso, por exemplo, de um motor que tenha um compressor axial com palhetas de alumínio, uma tela no duto de admissão de ar chega a ser quase uma necessidade.

As telas, no entanto, contribuem para que haja uma apreciável perda de pressão no duto de admissão, e ficam muito sujeitas à formação de gelo.

Panes que surgem devido à fadiga também são um problema. Uma tela defeituosa pode causar mais danos do que se não houvesse nenhuma instalada.

Existem casos, em que as telas no duto de admissão de ar são retráteis, podendo ser retiradas do fluxo de ar após a decolagem, ou sempre que prevaleçam condições de formação de gelo. Essas telas ficam sujeitas a apresentarem falhas mecânicas, e acrescentam a instalação como um todo, tanto peso quanto volume.

Em motores grandes que apresentam palhetas do compressor de titânio ou de aço, ou seja, peças que não se danificam facilmente, as desvantagens da tela do compressor superam as vantagens e, por esse motivo não são, em geral, utilizadas.

Seções do "fan" dos motores "*turbofan*"

Embora alguns motores "turbofan" apresentem a sua seção do fan ou palhetas, integral com a turbina e posterior à câmara de combustão, outras versões são comumente construídas com o fan na extremidade dianteira do compressor.

Em motores que têm compressor duplo, o fan é integral, com o compressor de baixa pressão e de baixa velocidade, o que permite que o carretel gire no topo da palheta para se obter melhor eficiência.

O fan dianteiro permite a utilização de um duto de admissão de ar convencional, resultando em baixa razão de perda do ar admitido e, também, reduz os danos ao motor por ingestão de objetos estranhos.

A maior parte de qualquer material que venha a ser sugado, será arremessada radialmente para fora, e passará através da descarga do fan ao invés de continuar a trajetória através da parte principal do motor.

O fan consiste em um ou mais estágios de palhetas rotativas e aletas estacionárias, todas bem maiores que os estágios dianteiros do compressor ao qual estão ligados.

O ar acelerado pelas pontas das palhetas do fan, forma uma cor-rente de ar secundária, que é conduzida de volta para a atmosfera, sem passar através da seção principal do motor. O ar que passa através do centro do fan forma o fluxo de ar primário que passa através do motor.(Ver figura 2-25).

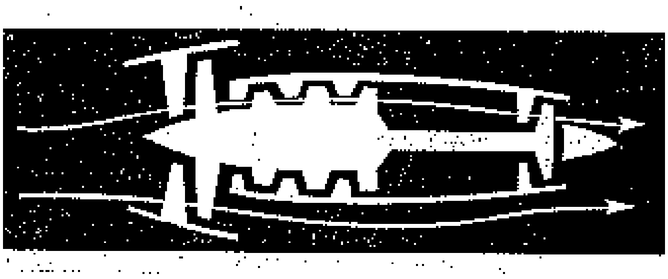


Figura 2-25 Fluxo de ar através de um motor de "fan" dianteiro.

O ar de escapamento do fan, que é conduzido para a atmosfera, pode ser descarregado de dois modos:

1. Para a atmosfera através de dutos curtos, logo atrás do fan, conforme mostra a figura 2-26, e no diagrama da configuração de duto bifurcado.

2. Conduzido até a parte posterior do motor, onde é então expulso para a atmosfera, próximo ao duto de escapamento de cauda do motor.

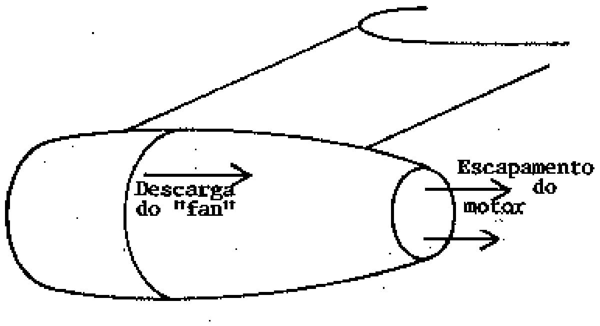


Figura 2-26 Instalação típica de um motor turbofan de "fan" dianteiro.

SISTEMAS DE ESCAPAMENTO DE MOTORES CONVENCIONAIS

O sistema de escapamento dos motores convencionais é fundamentalmente um sistema de limpeza, que coleta e envia para a atmosfera gases de alta temperatura e nocivos.

Sua exigência básica impõe que os gases sejam entregues à atmosfera em completa segurança para a estrutura da aeronave e, também, dos seus ocupantes.

O sistema de escapamento pode desempenhar várias funções úteis, sendo a primeira proporcionar proteção contra a ação potencialmente destrutiva dos gases de escapamento. Os sistemas de escapamento modernos, embora comparativamente leves, resistem adequadamente a altas temperaturas, corrosão e vibração; de forma a proporcionar uma operação livre de problemas e por períodos longos com um mínimo de manutenção.

Existem dois tipos básicos de sistemas de escapamento em uso nos motores de aeronaves: o sistema aberto e o sistema coletor. O sistema aberto é geralmente utilizado em motores não superalimentados, onde o nível de ruído não é alto demais.

O sistema coletor é utilizado na maioria dos grandes motores não superalimentados e em instalações em que esse sistema poderia melhorar o fluxo aerodinâmico da nacele, ou ainda oferecer uma manutenção mais fácil na área da nacele.

Nos motores turboalimentados, os gases de escapamento devem ser coletados para acionar a turbina do compressor do superalimentador.

Esses sistemas apresentam tubos de comunicação individuais para os gases de escapamento que são descarregados em um único coletor anular, que por sua vez tem apenas uma única saída.

Dessa saída, os gases de escapamento quentes são conduzidos por um duto até a caixa do turboalimentador para acionar a turbina.

Embora o sistema coletor eleve a pressão de retorno do sistema de escapamento, o ganho em potência decorrente do turboalimentador supera em muito a perda de potência, resultante do aumento da pressão de retorno.

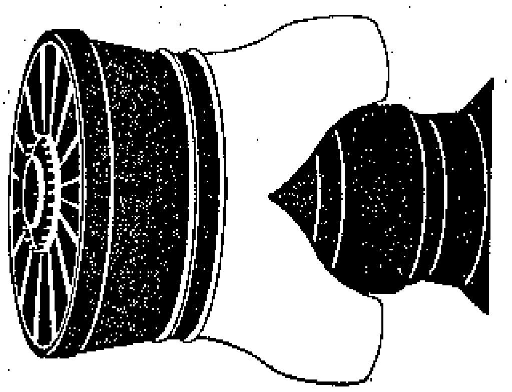


Figura 2-27 Configuração de um duto bifurcado.

O sistema aberto é relativamente simples, e a sua remoção e instalação consistem essencialmente em remover e instalar os parafusos e garras de fixação.

Na figura 2-28 é mostrada, em corte vertical, a localização dos componentes do sistema de escapamento de um motor de cilindros opostos instalado horizontalmente.

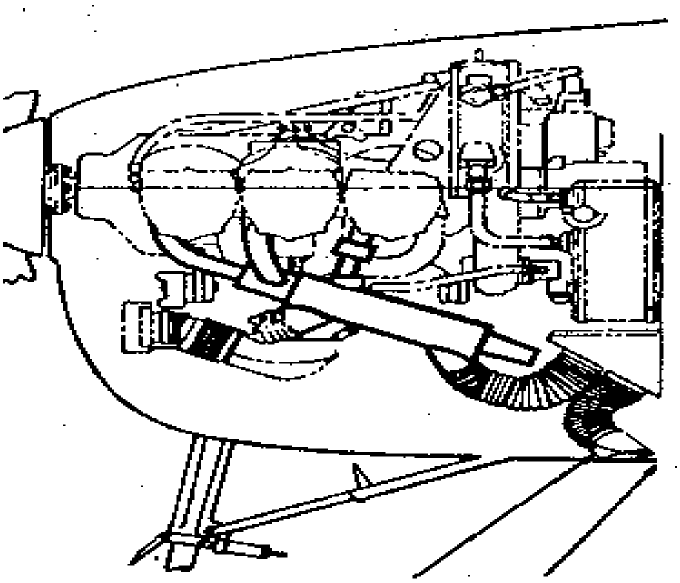


Figura 2-28 Sistema de escapamento de um motor de cilindros horizontalmente opostos.

O sistema de escapamento nesta instalação consiste em um tubo partindo de cada cilindro, de um tubo coletor dos gases de escapamento em cada lado do motor, um conjunto ejetor de gases de escapamento avançado para trás, e abaixo de cada lado da parede de fogo.

Os tubos são conectados aos cilindros por porcas de trava resistentes a altas temperaturas, e presas ao coletor de escapamento por anéis de fixação.

Uma proteção para a cabine, contra o ca lor dos gases de escapamento, está instalada em torno de cada tubo coletor. Ver a figura 2-29.

Os tubos coletores terminam nas aberturas do ejetor dos gases de escapamento, na parede de fogo, e têm sua abertura regulada para aos gases tenham uma velocidade apropriada, tal que induza um fluxo de ar através dos ejetores de escapamento.

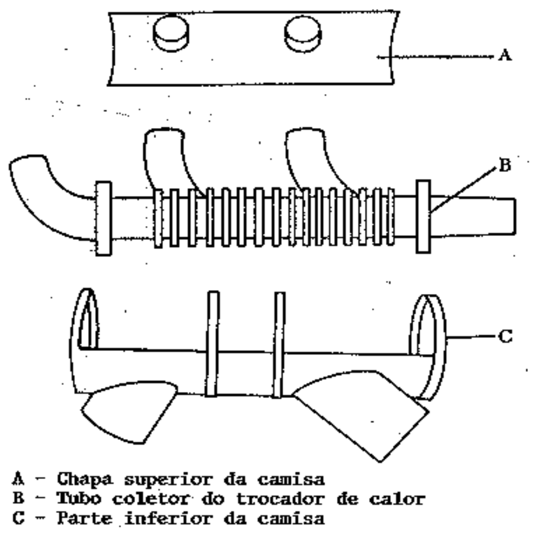

A
B
C
A - Chapa superior da camisa
B - Tubo coletor do trocador de calor
C - Parte inferior da camisa

Figura 2-29 Vista explodida do conjunto de reforço do aquecedor pelo escapamento.

Os ejetores de escapamento consistem em um conjunto de garganta e duto (*throat and duct*) que utilizam a ação bombeadora dos gases de escapamento, para induzir um fluxo de ar de resfriamento através de todas as partes do compartimento do motor.

Sistema de coletor anular de escapamento de motores radiais

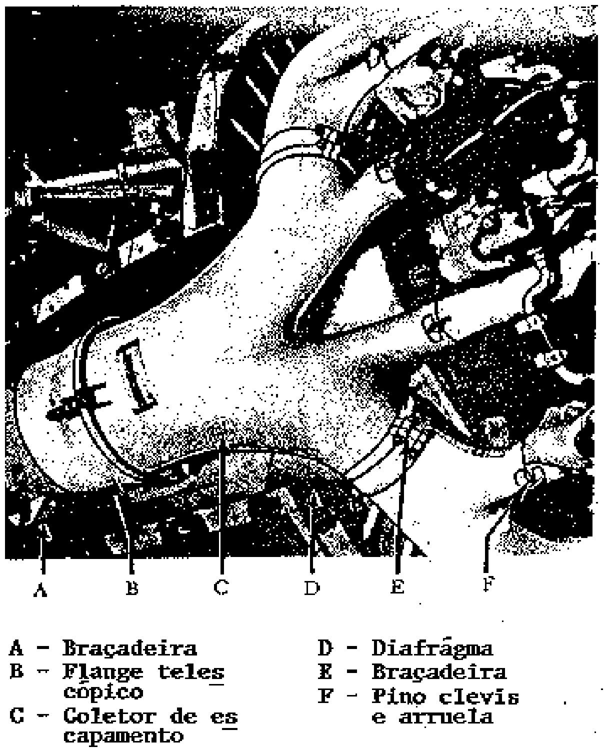

A
B
C
D
E
F
A - Braçadeira
B - Flange telescópico
C - Coletor de escapamento
D - Diafrágma
E - Braçadeira
F - Pino clevis e arruela

Figura 2-30 Anel coletor de escapamento instalado.

A figura 2-30 mostra o anel coletor de escapamento instalado em um motor radial de 14 cilindros. Esse anel é um conjunto de peças feitas de aço resistente à corrosão e manufaturado em sete seções, cada peça coleta o escapamento de dois cilindros.

As seções são graduadas por tamanho (figura 2-31). As pequenas ficam no lado interno e as maiores ficam no lado externo, na ponta onde o duto de cauda é conectado com o anel coletor.

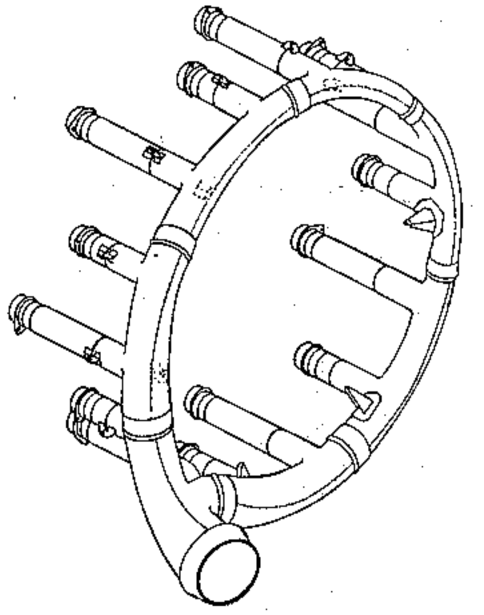


Figura 2-31 Anel coletor de escapamento.

Cada seção do anel coletor é presa por parafusos a uma garra *(bracket*) na seção do compressor do motor, e é parcialmente apoiada por uma luva de conexão entre as saídas do anel coletor e as saídas de escapamento do motor.

O duto de cauda de escapamento é ligado ao anel coletor por uma junção de expansão telescópica que apresenta folga suficiente para se efetuar a remoção dos segmentos desse anel, sem que o duto de cauda tenha que ser removido.O duto de cauda de escapamento é um conjunto de peças soldadas feitas de aço resistente à corrosão, que consiste em duto de cauda e, em algumas aeronaves, um trocador de calor tipo mufa.

Conjunto de tubulação de escapamento e intensificador

Alguns motores radiais são equipados com uma combinação de tubulação de escapamento e intensificador. Em um motor de 18 cilindros típicos, são utilizados dois conjuntos de escapamento e dois conjuntos de intensificadores.

Cada conjunto de tubulação coleta os gases de escapamento de nove cilindros, e descarrega esses gases na ponta dianteira do conjunto intensificador.

Os quatro tubos de cada conjunto de tubulação são conjuntos idênticos entre si, cada um recebendo gases de escapamento de dois cilindros (ver figura 2-32). A ordem de queima dos dois cilindros, que mandam gases de escapamento para cada tubo, é a mais separada possível. Os cilindros da linha dianteira ficam conectados aos tubos por extensões.

Esse tipo de tubulação de escapamento é manufaturado com aço resistente à corrosão, e apresenta apenas um acabamento simples de jato de areia ou de revestimento de cerâmica.

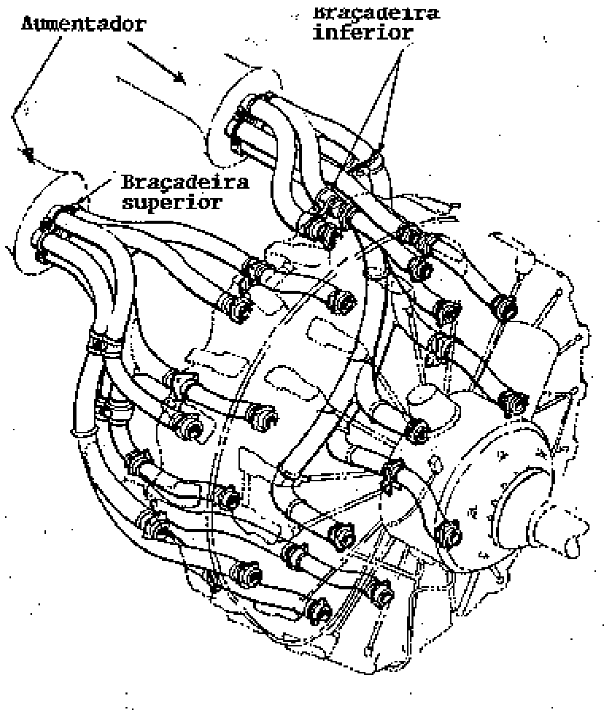


Figura 2-32 Instalação de um sistema de escapamento.

Os gases de escapamento são direcionados para dentro das bocas de sino dos intensificadores.

Os intensificadores são projetados para produzir um efeito de tubo de Venturi para formar um fluxo de ar aumentado sobre o motor, intensificando seu resfriamento. A aleta do intensificador fica localizada em cada duto de cauda. Quando a mesma está totalmente fechada, a secção transversal do duto de cauda fica reduzida em aproximadamente 45%.

As aletas do intensificador são operadas por um atuador elétrico, e indicadores adjacentes às chaves da aleta do intensificador, localizados na cabine de comando, mostram as suas posições.

As aletas podem ser movidas para a posição “fechada” com o intuito de diminuir a velocidade do fluxo através do intensificador, e com isso aumentar a temperatura do motor.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ESCAPAMENTO DO MOTOR CONVENCIONAL

Qualquer pane no sistema de escapamento deve ser encarada como um problema sério. Dependendo da localização e do tipo de pane, uma falha no sistema de escapamento pode resultar em envenenamento da tripulação e passageiros, por ingestão de monóxido de carbono, perda parcial ou completa da potência do motor, ou ainda fogo na aeronave.

As panes do sistema de escapamento geralmente atingem um índice máximo de ocorrência quando a aeronave atinge a marca de 100 a 200 horas de operação. Mais de 50% de todas as panes de sistema de escapamento ocorrem dentro das 400 horas.

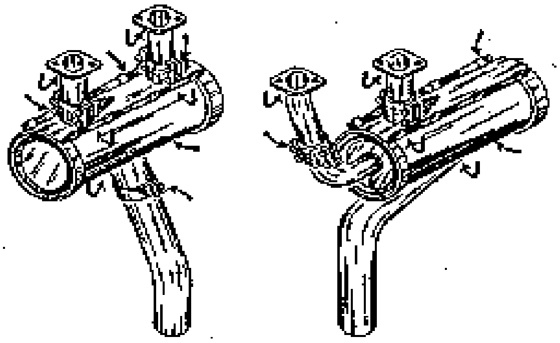
Inspeção do sistema de escapamento

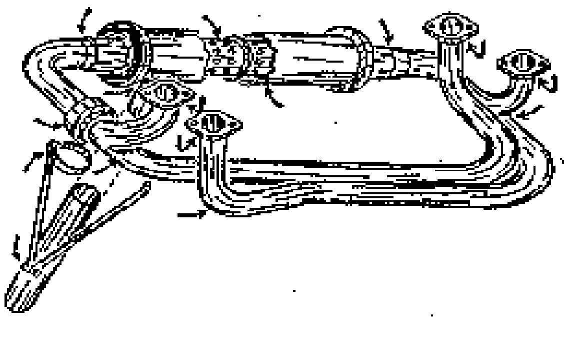
Enquanto o tipo e a localização dos componentes do sistema de escapamento variam bastante, conforme o tipo da aeronave, as exigências de inspeção para a maioria dos sistemas de escapamento de motores convencionais mantêm-se bastante semelhantes. Os parágrafos a seguir incluem uma apreciação dos itens de inspeção mais comuns para os sistemas de escapamento, e os procedimentos para todos os motores convencionais. A figura 2-33 mostra as áreas de inspeção primária de três tipos de sistemas de escapamento.

Antes de se falar sobre a remoção e instalação dos sistemas de escapamento básicos, é preciso salientarmos uma precaução que deve ser tomada ao fazer a manutenção de qualquer sistema de escapamento que venha a ser mencionado.

Nunca devem ser utilizadas no sistema de escapamento, ferramentas galvanizadas ou com revestimento de zinco, e as peças do sistema de escapamento nunca devem ser marcadas com lápis grafite (por causa do chumbo).

As marcas de chumbo, zinco ou galvanizadas podem ser absorvidas pelo metal do sistema de escapamento quando aquecido, criando com isso uma alteração distinta em sua estrutura molecular. Essa alteração amolece o metal na área em que foi feita a marca, causando rachaduras; e finalmente uma pane.


A - Sistema com separação


B - Sistema do tipo cruzado

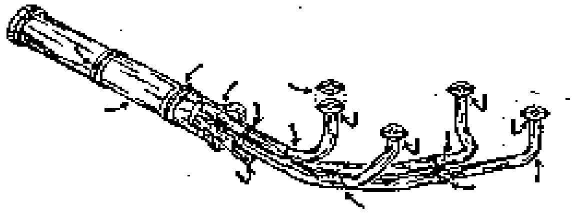

C - Sistema com aumentador (intensificador)

Figura 2-33 Áreas de inspeção primária.

Depois que um sistema de escapamento completo tiver sido instalado, a abertura de admissão de ar ou duto, as linhas de dreno de combustível, os flapes de refrigeração e todas as peças da carenagem do motor devem ser instaladas e fixadas. Depois que é realizada a inspeção de segurança desses itens, o motor é posto em funcionamento para permitir que os gases de escapamento sejam aquecidos até as marcas de temperaturas operacionais normais. O motor é desligado e sua carenagem removida para expor o sistema de escapamento.

Cada conexão fixada e de saída de escapamento deve ser inspecionada para se averiguar se há vazamento de gases.

Um vazamento desse tipo é indicado por linhas de cor cinza ou pretas, de fuligem, verificados na tubulação, na área do vazamento. Um vazamento de escapamento é geralmente resultante do alinhamento incorreto no encaixe das duas peças do sistema. Quando se identifica uma conexão de escape com vazamento, as garras de fixação devem ser afrouxadas e as unidades com vazamento devem ser reposicionadas para que haja um encaixe justo e correto.

Após serem reposicionadas, as porcas do sistema devem ser apertadas novamente, o bastante para eliminar qualquer folga sem exceder o torque especificado. Se o ajuste feito pelo torque especificado não chega a eliminar as folgas, deve-se substituir tanto os parafusos quanto as porcas, pois esses devem provavelmente ter sofrido alongamento. Após terem seu ajuste feito pelo torque especificado, todas as porcas devem ser frenadas.

Uma vez removida a carenagem do motor, podem ser feitas todas as operações de limpeza necessárias. Algumas unidades de escape são fabricadas recebendo apenas um jato de areia para o acabamento, outras poderão ter revestimento cerâmico. Os tubos com revestimento cerâmico devem ser limpos apenas com um desengordurante, e nunca devem ser limpos com jato de areia ou produtos alcalinos.

Durante a inspeção do sistema de escapamento, deve ser dada uma atenção especial a todas as superfícies externas para averiguar se há rachaduras, mossas ou partes faltando. O mesmo cuidado se aplica para soldas, garras de fixação, suportes, alças de fixação de suportes, braçadeiras, juntas, flanges, vedações e peças flexíveis.

Cada curva deve ser examinada, assim como as áreas adjacentes às soldas; e qualquer área que apresente mossa ou áreas mais baixas no sistema devem ser inspecionadas, para se verificar se algum ponto está sendo desgastado ou perfurado, devido à corrosão interna pelos produtos resultantes da combustão ou por acúmulo de umidade.

Um furador de gelo ou outro instrumento pontiagudo similar pode ser útil na inspeção dessas áreas.

Caso haja necessidade, o sistema deve ser desmontado para a inspeção dos difusores e defletores internos.

Se um componente do sistema de escapamento estiver em local inacessível para uma inspeção visual completa, ou escondido por partes não removíveis, ele deve ser removido e checado para a detecção de possíveis vazamentos.

Geralmente, a melhor forma de executar essa tarefa é bloquear as aberturas dos componentes, em seguida aplicar uma pressão interna adequada (aproximadamente 2 psi) e submergi-la em água.

Os vazamentos provocarão bolhas que poderão ser prontamente identificadas.

Os procedimentos requeridos para uma inspeção de instalação são também observados durante a maioria das inspeções regulares.

A inspeção diária consiste em checar o sistema de escapamento geralmente exposto, para verificar se existem rachaduras, escamação, vazamento excessivo e peças de fixação frouxas.

Pane de silenciador e de trocador de calor

Aproximadamente, metade de todas as panes de silenciador e de trocador de calor podem ser identificadas por rachaduras ou rupturas nas superfícies do trocador de calor, que é utilizado como fonte de calor para a cabine e para o carburador.

As panes na superfície do trocador de calor (geralmente na parede externa) permitem que os gases de escapamento saiam diretamente de dentro do sistema de aquecimento da cabine. Essas panes, na maioria dos casos, são causadas por rachaduras provenientes de fadiga por vibração ou temperatura nas áreas de concentração de esforço.

A pane nos pontos de solda, que ligam os pinos de transferência de calor, pode resultar em vazamento dos gases de escapamento.

Além do perigo oferecido pelo monóxido de carbono, a pane nas superfícies do trocador de calor pode permitir que os gases de escapamento sejam levados para dentro do sistema de admissão do motor, provocando um superaquecimento e perda de potência.

Panes no "*Stack*" e na tubulação de escapamento

As panes da tubulação de escapamento são geralmente resultantes de fadiga nos pontos que receberam solda ou fixação, como por exemplo conexões, flange, *"stack"* para tubulação, no duto de alimentação cruzada ou no silenciador.

Embora essas panes apresentem em primeiro lugar o perigo de fogo, apresentam também os problemas com monóxido de carbono.

Os gases de escapamento podem entrar na cabine através de vedações defeituosas ou inadequadas em aberturas na parede de fogo, de dispositivos na estrutura da asa, portas e aberturas na raiz da asa.

Panes no silenciador interno

As panes internas (defletores, difusores, etc.) podem causar perda de potência do motor parcial ou completa, uma vez que restringem o fluxo dos gases de escapamento. Ao contrário de outras panes, a erosão e carburação devidas às condições térmicas extremas, são as causas principais das panes internas.

Retorno de chama do motor e combustível não queimado, dentro do sistema de escapamento, são provavelmente fatores que contribuem para essas panes.

Além disso, áreas particularmente quentes como resultantes de um fluxo de gases de escapamento não uniforme, podem vir a causar queima, abaulamento ou ruptura da parede externa do silenciador.

Sistemas de escapamento com turboalimentador

Quando há um sistema turboalimentador (ou um turbosuperalimentador) o sistema de escapamento do motor opera sob uma condição de pressão e temperatura grandemente aumentada. Portanto, devem ser tomadas precauções extras no cuidado e manutenção do sistema de escapamento.

Durante a operação em altitude com alta pressão, o sistema de escapamento é mantido ao nível do mar ou próximo a esses valores. Devido à pressão diferencial, quaisquer vazamentos no sistema permitirão que os gases de escapamento saiam com a intensidade de um maçarico, podendo causar severos danos às estruturas adjacentes.

Uma causa comum de mal funcionamento desse tipo são os depósitos de coque (acúmulo de carbono) na unidade da comporta de escapamento, provocando um funcionamento errado do sistema.

Um acúmulo de depósito excessivo pode fazer com que a válvula da comporta de escapamento fique presa na posição "fechada", causando uma condição de sobrepressão (*overboost*).

O acúmulo de depósito de coque no próprio turbo pode causar uma perda gradativa de potência em vôo; e uma leitura de baixa pressão antes da decolagem. A experiência tem mostrado que a remoção dos depósitos de carbono, feita periodicamente, é necessária para que o máximo de eficiência seja mantido. Limpa-se, repara-se, usina-se e ajustam-se os componentes e controles do sistema, sempre de acordo com as indicações de procedimentos aplicáveis feitas pelo fabricante.

Sistema com intensificador de escapamento

Os sistemas de escapamento equipados com tubos intensificadores deveriam ser inspecionados periodicamente a intervalos regulares para manter seu perfeito alinhamento, segurança da instalação e de suas condições gerais. Mesmo onde os tubos intensificadores não contêm superfícies trocadoras de calor, a inspeção deve ser feita para detecção de rachaduras, assim como em todo o sistema de escapamento. Rachaduras em tubos intensificadores podem apresentar uma condição de fogo ou de perigo, devido ao monoxido de carbono que pode entrar nas áreas da nacele, asa e cabine.

Reparos no sistema de escapamento

É recomendação geral que partes do sistema de escapamento que vierem a receber reparos tais como suportes, silenciadores, cone de cauda, etc., sejam substituídos por peças novas ou recondicionadas. No sistema de escapamento, os reparos por solda são complicados pela dificuldade de se identificar com precisão o metal base, para que possam ser selecionados os materiais de reparo mais adequados. Alterações na composição e na estrutura de granulação do metal básico original vem a dificultar o reparo.

Entretanto, quando os reparos com solda são necessários, deve-se tomar o cuidado de manter os contornos originais; o alinhamento do sistema de escapamento não deve ser deformado ou afetado. Marcas de reparo ou gotas de solda que se projetem internamente não são aceitáveis, uma vez que podem se constituir em pontos de acúmulo de calor e, também, restringir o fluxo dos gases de escapamento.

Durante o reparo ou substituição de componentes do sistema de escapamento, sempre devem ser utilizadas as peças de fixação e ferramentas adequadas. Porcas de aço ou de baixa temperatura, e que se fecham por si mesmas (de auto-aperto), não devem ser substituídas por porcas de trava utilizadas pelo fabricante, feitas de latas e especiais para altas temperaturas.

Nunca se deve reutilizar vedações velhas. Quando torna-se necessário desmontar o sistema de escapamento, as vedações usadas devem ser substituídas por novas, e do mesmo tipo, fornecidas pelo fabricante.

DUTOS DE ESCAPAMENTO DO MOTOR A TURBINA

O termo "duto de escapamento" aplica-se a tubulação de escapamento do motor, ou duto do cone de cauda, o qual conecta a saída da turbina ao bocal de jato de escapamento de um motor que não apresenta pós-combustor. Embora o pós-combustor possa também ser considerado como um tipo de duto de escapamento, a pós-combustão em si é um outro assunto a ser posteriormente discutido neste capítulo.

Se os gases de escapamento de um motor pudessem ser descarregados diretamente ao ar externo, em uma direção axial exata em relação à saída da turbina, o duto de escapamento poderia não ser necessário. Isso, contudo, não é o que ocorre na prática; uma quantidade total de empuxo maior pode ser obtida do motor, desde que os gases sejam descarregados da aeronave a uma velocidade maior que a permissível na saída da turbina. Por este motivo é acrescentado um duto de escapamento que tanto coleta como direciona o fluxo de gás em linha reta, à medida que esse deixa a turbina, aumentando, desta forma, a velocidade dos gases antes que sejam descarregados no bocal de escapamento, localizado na parte posterior do duto. O aumento de velocidade dos gases aumenta também sua energia e, consequentemente, o empuxo resultante.

Um duto de escapamento do motor é geralmente chamado de duto do cone de cauda do motor, embora o duto seja, na verdade, essencialmente uma tubulação simples, cônica ou cilíndrica, feita de aço inoxidável. Seu conjunto inclui um cone de cauda do motor e estruturas dentro do cone. O cone de cauda e sua estrutura reforçam o duto, proporcionam um direcionamento axial ao fluxo dos gases de escapamento, dando também a esse mesmo fluxo mais uniformidade.

Imediatamente após a saída da turbina, e usualmente logo à frente do flange, onde o duto de escape é conectado, encontram-se os sensores de pressão de descarga da turbina. Uma ou mais sondas são inseridas no duto de escapamento para que possam fornecer uma amostragem adequada da pressão dos gases de escapamento.

Em motores grandes não se mede a temperatura interna na entrada da turbina (por dificuldades práticas que isso apresenta), e, portanto, o motor costuma receber instrumentos sensores que meçam a temperatura dos gases de escapamento na saída da turbina.

Bocal de escapamento convergente convencional

Dá-se o nome de bocal de escapamento (Figura 2-34) a abertura posterior do duto de escapamento da turbina de um motor. O bocal atua como um orifício cujo diâmetro determina densidade e velocidade dos gases de escapamento quando esses deixam o motor.

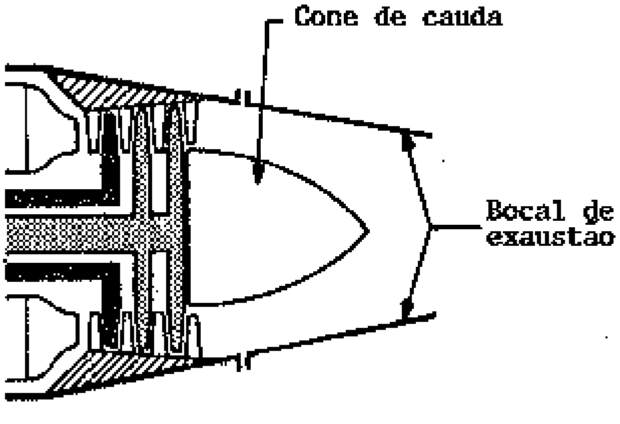


Figura 2-34 Áreas de escapamento convergente convencional.

Na maioria dos motores sem pós-queimador, a área do bocal de escapamento é bastante crítica. O ajuste nessa área modifica tanto o desempenho do motor como a temperatura dos gases de escapamento. Em alguns motores, o ajuste para que se obtenha a correta temperatura dos gases de escapamento é realizado com a alteração da área do bocal de escapamento.

Quando isso for necessário, pequenos compensadores que podem ser envergados, conforme o caso requeira, são colocados na abertura do bocal de escapamento; ou ainda; podem ser fixadas em torno do perímetro do bocal, pequenas peças chamadas "*mice*" que modificam sua área.

Bocal de escapamento convergente/ divergente

Sempre que a razão de pressão do motor for bastante alta para produzir velocidades de gases de escapamento, que possam exceder a Mach 1 no bocal de escapamento do motor, mais empuxo pode ser ganho com o uso de um bocal do tipo convergente/divergente (Figura 2-35). A vantagem desse bocal é maior com os números Mach altos por causa de uma razão de pressão mais alta resultante ao passar pelo bocal de escapamento.

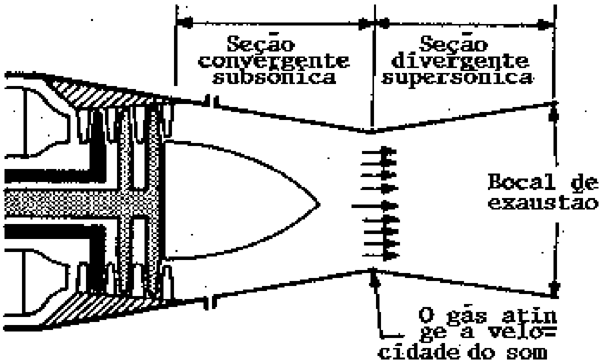

Seção convergente subsônica
Seção divergente supersônica
Bocal de exaustao
O gás atinge a velocidade do som

Figura 2-35 Duto de escapamento convergente - divergente.

Para garantir que o peso ou volume constante de gás fluirá por um determinado ponto após a velocidade sônica ter sido atingida, a porção posterior do duto de escapamento supersônico é aumentada para acomodar o peso ou volume adicionais de um gás que fluirá a razões supersônicas. Se isto não for feito, o bocal não operará eficientemente. Esta seção do duto de escapamento é conhecida como divergente.

Quando se utiliza um duto divergente em combinação com um duto de escapamento convencional, o conjunto é então chamado duto de escapamento convergente/divergente ou bocal "C-D"; em que a seção convergente é destinada a trabalhar o fluxo de gases, enquanto, esse se mantém subsônico, e entrega os gases à garganta do bocal no ponto em que atingem velocidade sônica.

A seção divergente trabalha os gases, aumentando-lhes mais a velocidade, no ponto em que deixam a garganta e tornam-se supersônicos.

SISTEMA DE ESCAPAMENTO DE TURBOÉLICE

Em um sistema de escapamento turboélice típico, os gases de escapamento são direcionados da seção da turbina do motor para a atmosfera, através de um conjunto do duto do cone de cauda.

Em uma instalação típica, o conjunto do cone de cauda é montado na nacele e fixado em sua extremidade dianteira, à parede de fogo. A seção dianteira do cone de cauda tem a forma afunilada; e circunda, sem, entretanto ter contato com a seção de escapamento da turbina.

Essa configuração forma um espaço anular que serve como ejetor de ar para a massa de ar que envolve a seção quente do motor. Assim que os gases de escapamento em alta velocidade entram no duto de cauda, é produzido um efeito de baixa pressão que faz com que o ar em torno da seção quente do motor flua através do espaço anular para dentro do duto de cauda.

Um duto de cauda deste tipo é geralmente fabricado em duas seções (ver Figura 2-36); tanto a dianteira de forma afunilada quanto a traseira são feitas de aço resistente à corrosão, e uma braçadeira resistente a altas temperaturas e à corrosão mantém as duas partes unidas em uma junção a prova de gás.

O flange de montagem soldado à extremidade dianteira da seção do duto de cauda encaixa-se ao lado da parede de fogo, que está mais próxima do motor, e é fixada a esta por parafusos.

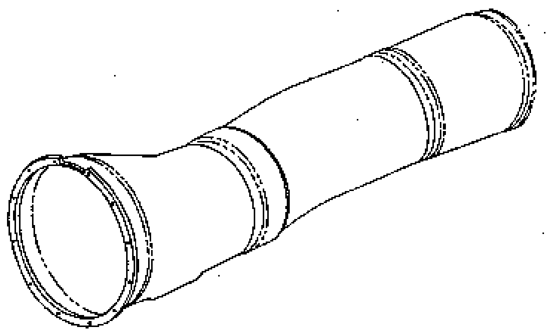


Figura 2-36 Tubos de escapamento de turboélice, de duas seções.

Uma seção integral de foles permite a expansão entre a parede de fogo e dois dispositivos fixos com rolamentos, os quais podem ser ajustados para deslocar o duto de cauda em um plano vertical.

A seção posterior do duto de cauda é presa a estrutura da aeronave por dois braços de suporte, um em cada lado. Os braços de suporte são fixados à superfície superior da asa, de tal modo, que seja permitido o movimento à frente e para trás, compensando a expansão.

O conjunto do duto de cauda é envolto em uma manta isolante, que visa proteger a área circundante do alto calor produzido pelos gases de escapamento. Algumas mantas podem ser feitas de aço inoxidável laminado em seu exterior e de fibra de vidro no interior.

REVERSORES DE EMPUXO

O difícil problema de parar a aeronave após o pouso aumenta muito com as velocidades do ar e pesos brutos cada vez maiores, fato comum entre as aeronaves modernas, que têm suas áreas de asa aumentadas assim como suas velocidades de pouso. Em muitos casos, não se pode mais confiar inteiramente apenas na freagem das rodas como recurso para reduzir a velocidade da aeronave dentro de uma distância razoável, imediatamente após o toque. A hélice de passo reverso conseguiu resolver a questão para os motores convencionais e para as aeronaves impulsionadas por motores turboélice. As aeronaves comerciais turbojato, entretanto, precisam contar com a reversão do empuxo produzido pelos motores.

Um reversor de empuxo do motor (ver figura 2-37) não apenas proporciona uma força de frenagem de velocidade no solo, mas também quando for aplicável, é um recurso desejável para uso em vôo antecedendo ao pouso. Algumas formas de reduzir a velocidade do ar e aumentar a razão de descida, tal como um freio, são quase uma necessidade para as aeronaves turbojato que então utilizam o freio aerodinâmico ou um reversor de empuxo que possa ser operado enquanto o avião está no ar.

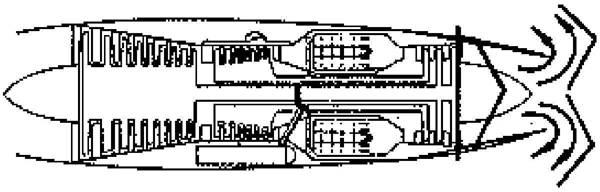


Figura 2-37 Operação do reversor de empuxo.

Muitas variedades de reversor de empuxo já foram propostas, e um grande número delas já foi testado, alcançando um considerável grau de sucesso. O tipo mais eficiente de reversor de empuxo pode ser classificado em duas categorias: do tipo de bloqueio mecânico e bloqueio aerodinâmico. O bloqueio mecânico é realizado pela colocação de uma obstrução removível no fluxo dos gases de escapamento, geralmente bem afastado da parte posterior do bocal. Os gases de escapamento do motor são bloqueados e desviados a um ângulo conveniente voltado para a direção reversa por meio de um cone invertido.

No reversor de empuxo do tipo de bloqueio aerodinâmico, finos aerofólios ou obstruções são colocados no fluxo do gás, tanto ao longo do comprimento do duto de escapamento, como imediatamente atrás do bocal.

Em uma adaptação de reversor aerodinâmico, aletas dentro do duto criam um turbilhonamento dos gases para que sigam em movimento centrífugo, em uma sequência de aletas rotativas. Pelo menos um modelo de aeronave, dentre as de tipo turbojato em uso comercial atualmente, faz uso de uma combinação de reversores do tipo de bloqueio mecânico e aerodinâmico.

Um reversor de empuxo não deve afetar a operação do motor, esteja ele sendo utilizado, ou não. Deve ser capaz de suportar altas temperaturas, ser mecanicamente forte e ter um peso relativamente leve, confiável e "à prova de falhas". Não estando em uso, não deve se tornar um acréscimo apreciável à área frontal do motor, e deve estar continuando a linha aerodinâmica da nacele.

Para satisfazer um mínimo dos requisitos de frenagem após o pouso, um reversor de empuxo deve ser capaz de produzir uma potência de reverso de pelo menos 50% da força à frente total que o motor tem capacidade de proporcionar.

O reversor de bloqueio mecânico tipo concha (Figura 2-38) satisfaz adequadamente a maioria destes requisitos e, em um formato ou outro, tem sido adotado para uso em motores sem pósqueimador.

Em posições da manete de potência abaixo de marcha lenta, o reversor operará para formar uma barreira de desvio na passagem dos gases de escapamento, o que, por sua vez, anula e reverte a potência à frente produzida pelo motor. As posições da manete de potência abaixo de marcha lenta podem fazer com que o motor acelere em quantidades controláveis até atingir rpm total, de tal modo que a força de reversão parcial ou total pode ser utilizada conforme a necessidade.

Quando o reversor não está em uso, a concha se retrai ficando guardada em encaixe perfeito em torno do duto de escapamento do motor, geralmente formando a seção posterior da nacele. A maioria dos reversores de empuxo em uso atualmente, está combinada com um silenciador de escapamento do motor.

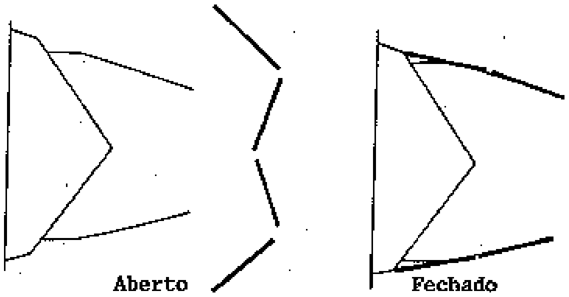


Figura 2-38 Bloqueio de ruído do escapamento de um turbojato.

SUPRESSORES DE RUÍDO DO MOTOR

Uma aeronave, impulsionada por grandes motores turbojato, requer algum tipo de dispositivo silenciador de ruído para os gases de escapamento do motor, quando está operando em aeroportos localizados em/ou próximos a áreas densamente povoadas.

Dois tipos de supressores de ruído são utilizados, sendo um deles dispositivo portátil, separado da aeronave, destinado ao uso no solo para as atividades de manutenção: fica posicionado na parte posterior do motor sempre que para este houver previsão de uma operação prolongada.

O outro tipo de supressor de ruído é uma peça integral ao motor, fazendo parte de sua instalação ou do duto de escape do motor. Apenas esta última modalidade de supressor, que primariamente suprime o ruído do motor durante a decolagem, subida, aproximação e pouso, é que será discutida aqui.

É geralmente aceito, que a quantidade de som a ser atenuada e requerida para uma aeronave turbojato, será a necessária para conseguir moderar o ruído do motor para um nível que não perturbe mais que aquele produzido por uma combinação de motor convencional, que esteja operando em condições similares.

Embora a quantidade de redução de ruído necessária geralmente esteja em torno de 12 decibéis, a forma pela qual o ruído de uma aeronave turbojato possa ser reduzido para um nível mais aceitável como o do avião com motor convencional, não é uma coisa simples de se determinar.

A hélice, que é a maior fonte de ruído na aeronave de motor convencional, tem um padrão de ruído que se eleva drasticamente para o seu ponto máximo assim que o seu plano passa por um indivíduo no solo.

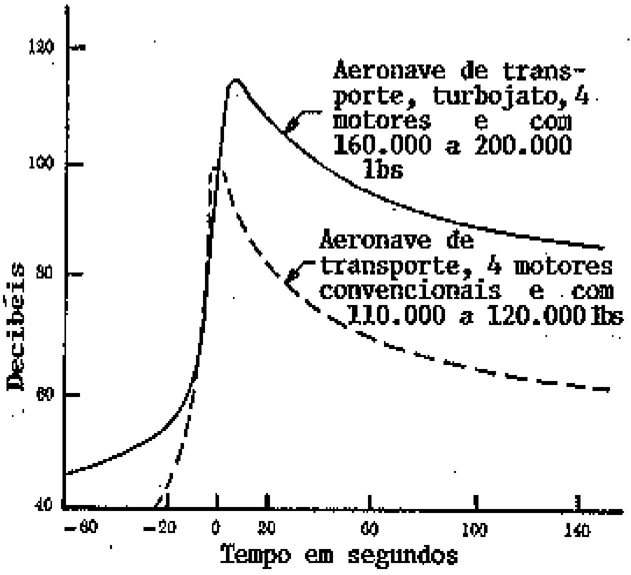


Figura 2-39 Níveis de ruído.

A aeronave turbojato produz uma elevação de ruído distinta, drástica, que atinge o seu ponto máximo depois que a aeronave tiver passado pelo indivíduo no solo, e estiver em relação a esta pessoa, a um ângulo de aproximadamente 45º.

O ruído então persiste a um nível alto durante um período de tempo considerável, se comparado com aquele produzido pela aeronave de motor convencional e hélice.(ver figura 2-39).

Há três fontes de ruído envolvidas na operação de um motor de turbina a gás. A entrada de ar do motor e a vibração dos montantes de fixação são fontes de algum ruído, mas o ruído gerado deste modo não se compara em magnitude com aquele produzido pelo escapamento do motor, conforme está ilustrado na figura 2-40.

O ruído produzido pelo escapamento do motor é causado pelo alto grau de turbulência, de um fluxo de jato de alta velocidade, através de uma atmosfera relativamente silenciosa.

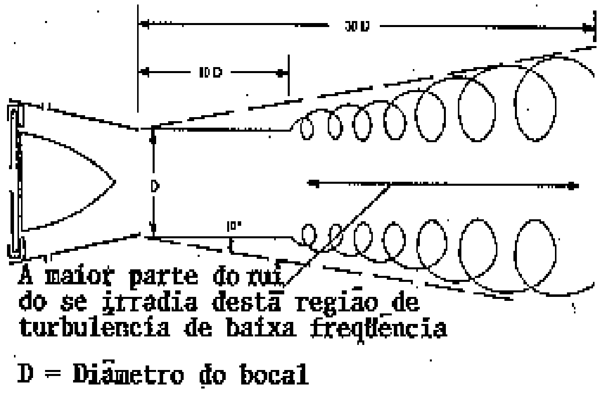

30D
10D
D
10°
A maior parte do ruído se irradia desta região de turbulência de baixa freqüência
D = Diâmetro do bocal

Figura 2-40 Padrão de ruído do escapamento de um turbojato.

Por uma distância equivalente a algumas vezes o diâmetro do bocal, e em direção ao sentido do fluxo atrás do motor, a velocidade do fluxo de jato é alta e quase não há mistura desse com a atmosfera.

Nesta região, a turbulência dentro do fluxo de jato em alta velocidade constitui-se de granulação muito fina e produz um ruído de frequência relativamente alta.

Ainda no sentido do fluxo, porém a uma distância maior do motor, à medida que a velocidade do fluxo de jato diminui, esse fluxo mistura-se à atmosfera, dando início a uma turbulência de tipo mais grosseiro.

Comparado com o ruído verificado em outras porções do fluxo de jato, o ruído nessa fase apresenta uma frequência muito mais baixa.

À medida que a energia do fluxo de jato é finalmente dissipada em grandes espirais de turbulência, uma porção maior da energia é convertida em ruído. O ruído gerado na disposição dos gases de escape está a uma frequência próxima do ponto mais baixo da faixa audível.

Quanto mais baixa for a frequência do ruído, maior será a distância que ele percorrerá. Isto significa que os ruídos de baixa frequência alcançarão um indivíduo no solo em um volume maior que o dos ruídos de alta frequência, sendo por isso alvo de maiores objeções.

O ruído de alta frequência é enfraquecido mais rapidamente que o de baixa frequência, pela distância e interferência dos edifícios, terreno e distúrbios atmosféricos.

Uma buzina de nevoeiro, por exemplo, com o seu timbre grave, de baixa frequência, pode ser ouvida a uma distância muito maior que a estridente alta frequência de um apito, muito embora ambos possam ter o mesmo volume (decibéis) em suas fontes.

Os níveis de ruído variam com a potência do motor e são proporcionais à quantidade de trabalho feito pelo motor com o ar que passa através dele.

Um motor que tenha um fluxo de ar relativamente baixo mas com alto empuxo, devido à descarga da turbina (gases de escapamento) com alta temperatura, alta pressão e/ou um pós-queimador, irá produzir um fluxo de gás de alta velocidade e, consequentemente, altos níveis de ruído.

Um motor maior, trabalhando mais ar, será mais silencioso à mesma potência. Assim, o nível de ruído pode ser consideravelmente reduzido pela operação do motor a baixos ajustes de potência, e os motores grandes operando em potência parcial serão menos ruidosos que os motores operando em regime de potência total.

Comparado a um turbojato, a versão turbofan do mesmo motor será mais silenciosa durante a decolagem.

O nível de ruído produzido por um motor tipo "fan" é menor, principalmente porque as velocidades dos gases de escapamento, ejetados no duto de cauda do motor, são menores que aquelas constatadas em um turbojato de mesmo tamanho.

Os motores turbofan requerem uma turbina maior que proporcione força adicional para acionar o "fan".

A turbina grande, que costuma apresentar um estágio adicional reduz a velocidade do gás e, com isso, reduz o ruído produzido, porque o ruído do gás de escapamento é proporcional à sua velocidade.

Vista separadamente, o escapamento do fan ocorre em velocidade relativamente baixa e, portanto, não cria um problema de ruído.

Por causa das características do ruído de baixa frequência que o faz deixar um rastro de alto volume, uma redução de ruído eficiente para uma aeronave turbojato precisa ser conseguida pela reavaliação do padrão de ruído, ou pela modificação da frequência do ruído emitido pelo bocal do jato.

Os supressores de ruído em uso atualmente podem ser tanto do tipo de perímetro corrugado, mostrado na figura 2-41; ou do tipo multitubular, mostrado na figura 2-42.

Ambos os tipos de supressores dividem o fluxo principal e único de gases de escapamento em um número de fluxos de jato menores. Isso aumenta o perímetro total da área do bocal de escapamento e, ao mesmo tempo, reduz o tamanho dos redemoinhos criados quando os gases são dissipados na atmosfera.

Embora a energia de ruído total permaneça inalterada, a frequência é consideravelmente elevada.

O tamanho dos redemoinhos assume uma escala menor com o tamanho do fluxo de escapamento.

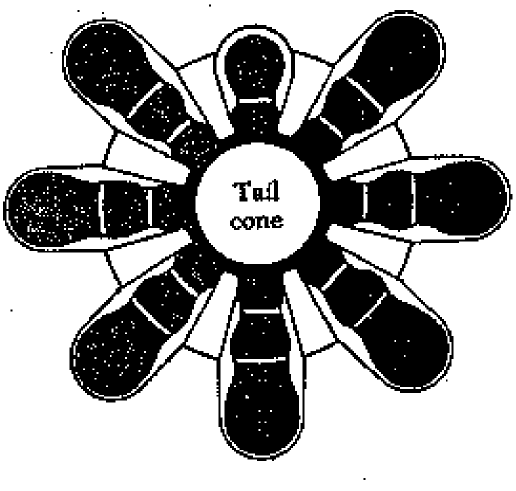


Figura 2-41 Vista traseira de um supressor de ruído de perímetro corrugado.

Isto traz dois efeitos: primeiramente, a mudança na frequência pode colocar uma parte do ruído acima da faixa de audibilidade do ouvido humano e, em segundo lugar, altas frequências dentro da faixa audível, mais pertubadoras, são altamente atenuadas pela absorção atmosférica.

Dessa forma, a perda em intensidade é maior e o nível de ruído torna-se menor a uma dada distância da aeronave.

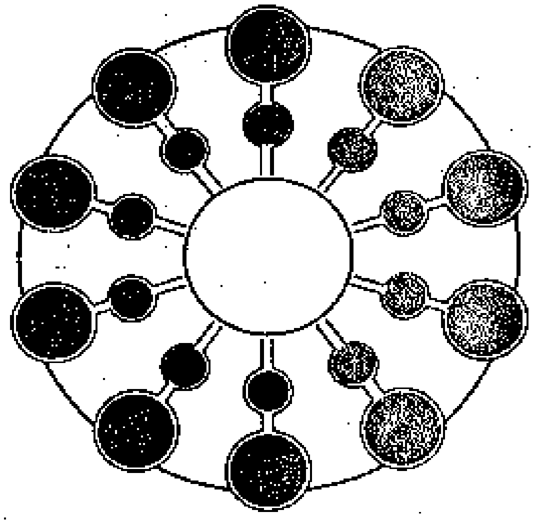


Figura 2-42 Vista traseira de um supressor de ruído multitubo.

DISSIPADOR DE "VORTEX" DA ENTRADA DE AR DO MOTOR

Quando os motores turbojatos estão operando no solo, é possível que por vezes forme um redemoinho (vortex) entre a entrada de ar do motor e o solo.

Esse "vortex" pode causar uma grande força de sucção capaz de levantar do chão pequenos objetos, e conduzi-los a entrada do motor. A ingestão de tais objetos estranhos pode causar danos ao motor.

Para minimizar o perigo de ingestão de objetos estranhos que possam ser encontrados na pista, alguns motores turbojato são equipados com um dissipador de "vortex" na entrada de ar do motor.

Esse dissipador é um pequeno fluxo de jato direcionado para baixo a partir do bordo de ataque inferior da carenagem do bocal do motor em direção ao solo, de modo que possa destruir a base do vortex, ou redemoinho.

A figura 2-43 ilustra a direção e a dimensão geral do jato de ar dissipador de "vortex".

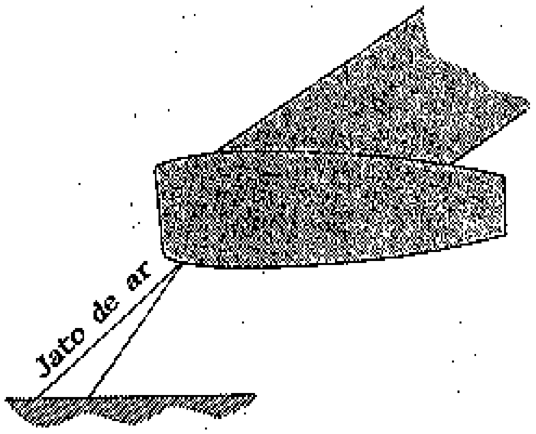


Figura 2-43 Jato de ar destruidor do "vortex" da entrada do motor.

A figura 2-44 é um diagrama que mostra a localização do ponto de saída do jato de ar e a válvula de controle.

Para o jato de ar que eliminará a formação de redemoinhos, é usado ar sangrado do motor. Esse jato de ar é controlado por uma válvula localizada na carenagem do bocal do motor.

A válvula de controle é geralmente uma válvula de duas posições, sendo aberta pela chave de segurança do trem de pouso.

A válvula se fecha quando a aeronave deixa a pista e o peso da aeronave é removido do trem de pouso.

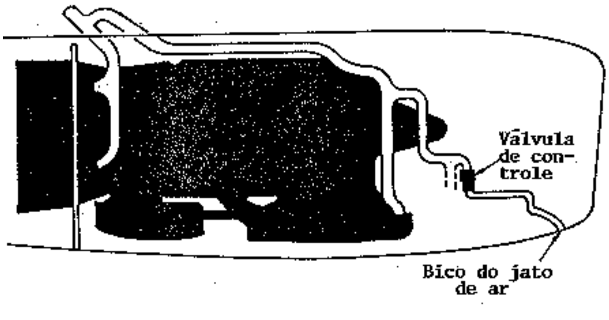


Figura 2-44 Localização dos componentes de destruição do "vortex".

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL DO MOTOR E MEDIÇÃO DO COMBUSTÍVEL

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento nas aeronaves tem aumentado as exigências no sistema de combustível, aumentando a instalação, o ajuste e os problemas de manutenção.

O sistema deve suprir combustível para o carburador ou, então, outro dispositivo de dosagem em todas as condições de solo ou vôo; ele deve funcionar apropriadamente nas constantes trocas de altitudes e em qualquer clima; deve, também, ser livre de vapor que resultam das trocas das condições climáticas no solo ou no ar.

Em pequenas aeronaves, um sistema simples de alimentação por gravidade é instalado, consistindo de um tanque para suprir o combustível ao motor.

Em aeronaves "multimotoras", sistemas complexos são necessários para que o combustível possa ser bombeado, de modo que qualquer tanque possa alimentar qualquer motor.

Previsões para transferência de combustível, de um tanque para outro, também deve ser incluído na aeronave de grande porte.

Bolha de vapor (*vapor lock*)

Normalmente, o combustível permanece no estado líquido até ser descarregado no fluxo de ar, e então, instantaneamente, troca para vapor.

Sob certas condições, o combustível pode vaporizar nas linhas, bombas ou outras unidades. As "bolhas de vapor", formadas pela vaporização prematura, restringe o fluxo de combustível através das unidades que são projetadas para operar com líquidos ao invés de gases.

O resultado da interrupção total ou parcial do fluxo de combustível é chamado de “bolha de vapor” (vapor lock).

As três causas gerais da formação do "bolha de vapor" são: redução da pressão, alta temperatura e excessiva turbulência do combustível.

Em grandes altitudes, a pressão do combustível no tanque é baixa. Isto diminui o ponto de ebulição do combustível e causa a formação de bolhas de vapor. Este vapor, preso ao combustível líquido, pode causar bolha de vapor no sistema.

A transferência de calor do motor tende a causar ebulição do combustível nas linhas e na bomba. Tal tendência aumenta se o combustível no tanque estiver quente.

Altas temperaturas de combustível frequentemente combinam com baixa pressão para aumentar a formação de vapor . Isto é mais provável de ocorrer durante uma subida rápida em um dia quente.

Quando a aeronave sobe, a temperatura externa cai, mas a temperatura do combustível não cai rapidamente. Se o combustível estiver quente durante a decolagem, ele retém este aquecimento, e entra em ebulição mais facilmente em grandes altitudes.

As principais causas da turbulência do combustível, são: o deslocamento dentro dos tanques, a ação mecânica da bomba acionada pelo motor, e subidas em curvas acentuadas nas linhas de combustível.

A agitação do combustível no tanque tende a misturá-lo com ar. Quando esta mistura passa através das linhas, o ar preso se separa do combustível, formando bolsas de vapor em muitos pontos, onde existem trocas repentinas na direção ou elevações acentuadas.

A turbulência na bomba de combustível muitas vezes combina com a baixa pressão na entrada da bomba, para formar um uma bolha de vapor neste ponto.

A bolha de vapor pode ser perigosa o suficiente para bloquear o fluxo de combustível, e parar o motor. Pequena quantidade de vapor, na entrada da linha, restringe o fluxo para a bomba acionada pelo motor, reduzindo a pressão de saída.

Para reduzir a possibilidade da bolha de vapor, as linhas de combustível são mantidas afastadas das fontes de calor; as curvas e subidas acentuadas, também, são evitadas. Em adição , a volatilidade do combustível é controlada na fabricação para que ele não vaporize muito rapidamente.

O maior aperfeiçoamento na redução da bolha de vapor é a incorporação de bombas de reforço ("Booster Pumps") no sistema de combustível. Essas bombas mantêm o combustível nas linhas para a bomba acionada pelo motor sob pressão. Esta pequena pressão no combustível reduz a formação de vapor e ajuda a mover a bolha de vapor para fora do sistema.

A bomba de reforço também libera o vapor do combustível, quando este passa por ela. O vapor move-se para cima através do combustível no tanque, e sai através dos tubos de ventilação.

Para prevenir as pequenas quantidades de vapor que permanecem no combustível, prejudicando sua medição, eliminadores de vapor são instalados em alguns sistemas, antes do dispositivo de medição, ou são instalados dentro das unidades.

SISTEMA BÁSICO DE COMBUSTIVEL

As partes básicas do sistema de combustível incluem tanques, bombas de reforço, linhas, válvulas seletoras, filtros, bombas acionadas por motor e indicadores de pressão.

A revisão do capítulo 4, no Livro de Matérias Básicas, deverá fornecer algumas informações referentes a estes componentes. Informações adicionais serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

Geralmente são vários tanques em conjunto com um sistema simples para armazenar o volume de combustível necessário.A localização desses tanques depende do projeto do sistema de combustível e do projeto estrutural da aeronave.

De cada tanque, uma linha conduz para a válvula seletora. Essa válvula está na cabine de comando para selecionar o tanque, do qual o combustível deverá ser liberado para o motor.

A bomba de reforço força o combustível através da válvula seletora para o filtro da linha principal. A unidade filtrante, localizada na parte mais baixa do sistema, remove água e sujeira do combustível. Durante a partida, a bomba de reforço força o combustível através de uma válvula de desvio (BYPASS) na bomba, acionada pelo motor para o sistema de medição. Uma vez que a bomba acionada pelo motor alcance velocidade suficiente, fecha-se a válvula de desvio, e libera-se o combustível para o sistema de medição com pressão normal.

O sistema de combustível da aeronave começa com o tanque, e termina com o sistema de combustível do motor, que, usualmente, inclui uma bomba acionada pelo motor e um sistema de medição de combustível.

Nas aeronaves acionadas por motor alternativo, o sistema de calibração do combustível consiste de um dispositivo de controle do ar e do combustível, desde o ponto onde o combustível entra na primeira unidade de controle, até ele ser injetado na seção de sobrecarga, ou no tubo de entrada, ou cilindro. Por exemplo: o sistema de medição de combustível do motor Continental IO-470L consiste numa unidade de controle combustível / ar, bomba injetora, válvula da linha principal de combustível, e injetores de descarga de combustível.

No motor PRATT AND WHITNEY R-1830-94, o sistema de medição de combustível consiste de carburador, válvula de alimentação de combustível e uma bomba de aceleração do carburador.

No último caso, a válvula de alimentação de combustível e a bomba de aceleração são montadas no motor, e são componentes fornecidos pelo fabricante.

O sistema de medição de combustível, nos motores alternativos atuais, medem o combustível em uma pré-determinada razão para o fluxo de ar.

O fluxo de ar para o motor é controlado através do carburador ou unidade de controle, combustível/ar.

O sistema de medição de combustível dos motores com turbina a gás, consiste num jato de combustível controlado, e pode ser aprimorado através da inclusão de injetores de combustível.

Em alguns motores turboélice, uma válvula de controle de dados de temperatura (válvula T.D.) faz parte do sistema de combustível do motor.

A razão de liberação de combustível é função do fluxo da massa de ar, temperatura de entrada do compressor, pressão de descarga do compressor, RPM e pressão na câmara de combustão.

O sistema de medição de combustível deve operar satisfatoriamente para assegurar a eficiente operação do motor, medida pela potência de saída, temperatura de operação do motor, e autonomia da aeronave.

Devido a variações em projetos nos diferentes sistemas de medição de combustível, o desempenho esperado de qualquer parte do equipamento, assim como as dificuldades que possam causar, podem ser várias.

DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL PARA MOTORES ALTERNATIVOS.

Esta seção explica os sistemas que liberam a mistura correta de combustível e ar para as câmaras de combustão do motor.

Na discussão de cada sistema, o propósito geral e os princípios operacionais são acentuados, com ênfase particular nos princípios básicos de operação. Não serão dados detalhes operacionais e instruções de manutenção para tipos específicos e fabricação de equipamentos.

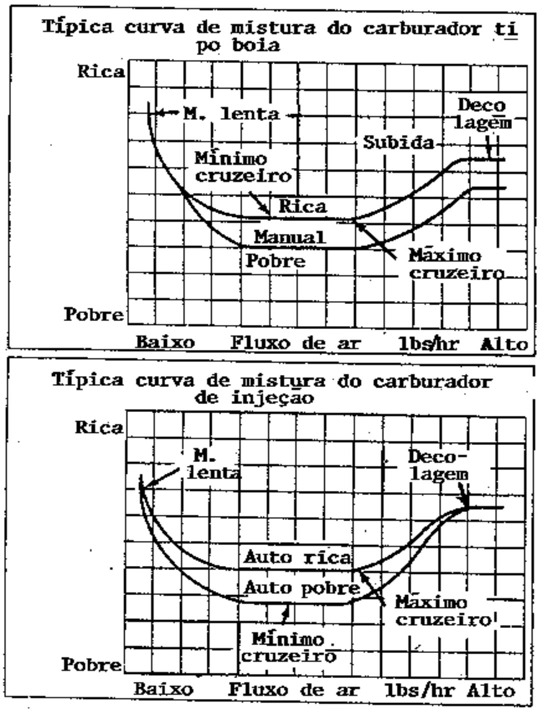


Figura 3-1 Curvas de mistura combustível / ar.

Para informação necessária e específica à inspeção ou manutenção de uma instalação ou unidades em particular, consulta-se as instruções do fabricante.

O requisito básico de um sistema de medição de combustível é o mesmo, indiferentemente do tipo de sistema usado ou do modelo do motor, no qual o equipamento é instalado.

Ele precisa medir o combustível proporcionalmente ao ar, para estabelecer a razão própria da mistura combustível/ar para o motor em qualquer velocidade e altitude, na qual o motor deverá operar.

Nas curvas da Figura 3-1 (mistura combustível/ar), nota-se que os melhores requisitos de potência e economia de mistura ar/combustível, para todos os motores alternativos, são aproximadamente os mesmos.

Um segundo requisito do sistema de medição de combustível é para atomizar e distribuir o combustível do carburador na massa de ar, de maneira que a carga de ar que vai para todos os cilindros assegure quantidades similares de combustível, de modo que a mistura combustível/ar chegue a cada cilindro na mesma proporção .

Os carburadores tendem a manter a mistura mais rica em maiores altitudes do que ao nível do solo, por causa do decréscimo da densidade do fluxo de ar através do venturi do carburador para um dado volume de ar por hora para o motor.

Portanto, é necessário que no controle da mistura seja providenciada uma mistura pobre para compensar este natural enriquecimento.

Alguns motores usam carburadores com controle de mistura operado manualmente. Outras aeronaves empregam carburadores que, automaticamente, empobrecem a mistura do carburador, para em maiores altitudes manter a mistura combustível/ar adequada.

Os requisitos para uma mistura rica ao motor de uma aeronave são estabelecidos pela curva de tração de funcionamento, para determinar a mistura combustível/ar, obtendo o máximo de tração utilizável.

Esta curva (figura 3-2) está dividida em intervalos de 100 RPM, da marcha lenta para a velocidade de decolagem.

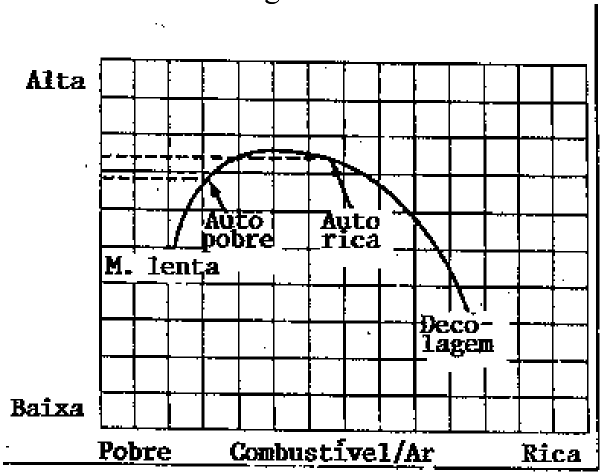


Figura 3-2 Curva de potência por mistura de combustível / ar

No limite de tração, o motor deverá operar com a mistura mais pobre, como indicado nas curvas.

Contudo, nas misturas pobres, a temperatura na cabeça do cilindro poderá exceder a temperatura máxima permitida, e a detonação poderá ocorrer.

A melhor economia ajustada é estabelecida pelo funcionamento das séries de curvas através do limite de cruzeiro, como mostrado no gráfico 3-3. O ponto inferior (auto-lean) na curva mostra a mistura ar/combustível, onde o mínimo de combustível por cavalo-potência (horsepower) é usado. Neste limite, (período) o motor deverá operar normalmente com misturas levemente pobres, e deverá, obviamente, operar com misturas mais ricas do que no ponto inferior de mistura.

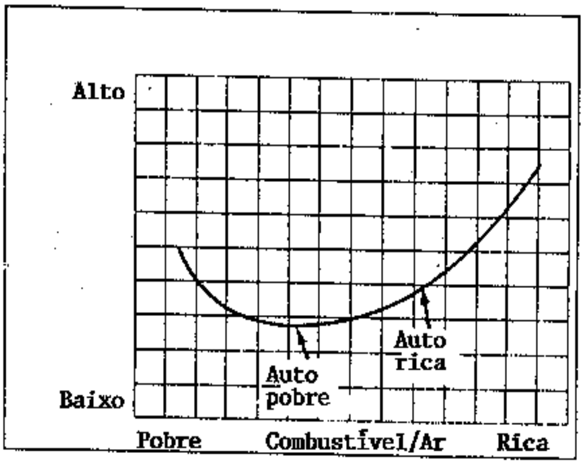


Figura 3-3 Curva de consumo especifico de combustível

Se a mistura usada for mais pobre do que a especificada para o motor em uso, o cilindro com a mistura mais pobre estará sujeito ao retorno de chama, porque a razão de queima muito lenta da mistura pobre resulta na queima contínua no cilindro, quando a próxima admissão começar.

Misturas combustível/ar

Gasolina e outros líquidos combustíveis não devem queimar totalmente antes de serem misturados com ar. Se a mistura tem a queima adequada no cilindro do motor, a razão de ar para combustível deve ser mantida no limite certo.

Este estado (condição) deve ser muito exato para que o combustível queime com o oxigênio no ar. Setenta e oito por cento (78%) do volume do ar é nitrogênio, o qual é inerte e não participa do processo de combustão; e 21% é oxigênio. O aquecimento é gerado pela queima da mistura de gasolina e oxigênio.

Nitrogênio e gases produzidos pela combustão absorvem esta energia calorífica, transformando-a em força pela expansão. A proporção de combustível e ar pelo peso é de extrema importância para o desempenho (performance) do motor. As características de uma dada mistura podem ser medidas em termos de velocidade da chama e temperatura da combustão.

A composição da mistura combustível/ar é descrita como razão de mistura. Por exemplo, a mistura com a razão 12 para 1 (12:1) é composta de 12 libras de ar e 01 libra de combustível. A razão é expressa em peso porque o volume de ar varia muito com a temperatura e a pressão.

A razão de mistura também pode ser expressa como decimal. Assim, a razão combustível/ar de 12:1 e a razão combustível/ar de 0,083 descreve a mesma razão de mistura. As misturas ar e gasolina, rica de 8:1 e pobre de 16:1, deverão queimar em um cilindro do motor. O motor desenvolve a força máxima, com a mistura de aproximadamente 12 partes de ar e 1 parte de gasolina.

Do ponto de vista químico, a mistura perfeita de combustível e ar para a combustão deve ser de 0,067lb de combustível para 1 libra de ar (razão de mistura de 15:1).

Os cientistas chamam esta combinação química de mistura estequiométrica. Com essa mistura (entregue no tempo suficiente e em turbulência), todo o combustível e todo o oxigênio do ar devem ser completamente usados no processo de combustão. A mistura "estequiométrica" produz altas temperaturas de combustão, porque a proporção de calor disponível na massa de carga (combustível e ar) é muito grande. Contudo, a mistura é raramente usada, pois não resulta em maior economia nem em maior potência para o fluxo de ar ou pressão de admissão.Se mais combustível for adicionado para a mesma quantidade de carga de ar, do que a quantidade dada como mistura quimicamente perfeita, variações de força e temperatura deverão ocorrer.

A temperatura do gás da combustão deverá ser reduzida quando a mistura for enriquecida; e a força será aumentada até que a razão combustível/ar seja de aproximadamente de 0,0725. Da razão combustível/ar de 0,0725 até a razão combustível/ar 0,080, a força permanecerá essencialmente constante, embora continue a queda da temperatura da combustão.

Misturas com razões combustível/ar de 0,0725 até razões combustível/ar de 0,080 são chamadas misturas de melhor potência, desde que seu uso resulte na maior força para um dado fluxo de ar ou pressão no tubo de admissão. Nesta variação da razão combustível/ar, não existe o aumento no calor total disponibilizado, mas o peso de nitrogênio e produtos da combustão são aumentados através do vapor formado com o excesso de combustível; desse modo, o trabalho da massa de carga é aumentado.

Em adição, o combustível a mais na carga (acima da mistura estequiométrica) é aumentado a velocidade do processo de combustão, através da providência do fator tempo favorável a conversão da energia do combustível em força.

O enriquecimento da razão combustível/ar acima de 0,080 resulta na perda de força devido a redução da temperatura, como o efeito de refrigeração alcançado pelo excesso de combustível é o fator favorável para o aumento da massa. A temperatura reduzida, e a menor razão de queima, é dirigida para um aumento da perda de eficiência da combustão.

Se, com fluxo de ar constante, a mistura for empobrecida abaixo de 0,067 da razão combustível/ar, força e temperatura deverão diminuir juntas. Nesta ocasião, a perda de força não é uma perda, mas uma vantagem. O propósito do empobrecimento é para economizar combustível.

O objetivo é para obter a força necessária com o menor fluxo de combustível, e permitir que o consumo de ar seja auto controlado. A medição do uso econômico do combustível é chamado SFC (Consumo Especifico de Combustível), o qual é lbs de combustível por hora HP (PPH-HP). Portanto, SFC = lbs combustível/Hr/Hp. Através do uso desta razão, o de combustível nos motores nos vários ajustes de força podem ser comparados.

Quando o empobrecimento for abaixo de 0,067 da razão combustível/ar com um fluxo de ar constante, nivelado através da diminuição da força, o custo do combustível para manter cada cavalo-força (Horse-power) por hora (SFC) também é ao mesmo tempo reduzido. Embora a carga da mistura seja convenientemente enfraquecida, esta perda de potência ocorre para uma razão menor do que a redução do fluxo de combustível. Esta tendência favorável continua, até que uma potência de mistura conhecida como a melhor economia, seja alcançada. Esta razão combustível/ar, o HP necessário, é desenvolvido com o menor fluxo de combustível, ou, por um aumento do fluxo de combustível que produz mais força.

A razão combustível/ar varia com a RPM e outras condições, mas para tração de cruzeiro na maioria dos motores auternativos, isto é o suficiente para definir este limite de operação da razão combustível/ar, sendo de 0,060 até 0,065 com retardo de ignição, e razão combustível/ar de 0,055 até 0,061 com avanço de ignição. Estas razões, combustível/ar, são mais comumente usadas em aviões onde há empobrecimento manual.

Abaixo da melhor mistura econômica para a tração, potência e temperatura continuam caindo com fluxo de ar constante, enquanto o SFC aumenta.

Quando a razão combustível/ar é reduzida, a combustão se torna mais fria e lenta, deste modo, a potência para uma certa pressão no duto torna-se baixa e antieconômica.

O efeito da redução de temperatura das misturas ricas ou pobres resultam do excesso de combustível ou ar, acima daquele necessário para a combustão. A refrigeração interna do cilindro é obtida pelo combustível não usado quando razões de combustível/ar acima de 0,067 são usadas.

A mesma função é verificada pelo excesso de ar, quando razões combustível/ar abaixo de 0,067 são usadas.

Variando a mistura de combustível/ar, produz-se variações nas condições operacionais do motor afetando potência, temperatura e necessidades de ignição. A razão de combustível/ar para a melhor potência é desejada quando a maior potência de um dado fluxo de ar é requerido. A mistura mais econômica resulta da obtenção da potência de saída, obtida com o fluxo mínimo de combustível. A razão combustível/ar considerada de maior eficiência operacional varia com a velocidade do motor e da potência de saída.

No gráfico que mostra a variação da razão combustível/ar (figura 3-1), nota-se que a mistura é rica nas operações de marcha lenta, na operação de alta velocidade, e pobre na faixa de cruzeiro. Na marcha lenta, algum ar ou gás de descarga é retido no interior do cilindro, através da tomada de descarga durante a abertura da válvula.

A mistura que entra no cilindro através do porte de admissão deve ser suficientemente rica para compensar este gás ou ar adicional. Na potência de cruzeiro, as misturas pobres economizam combustível e aumentam a autonomia do avião.

Um motor funcionando perto da potência máxima necessita de uma mistura rica para prevenir super aquecimento e detonação. Desde de que o motor seja operado em potência máxima apenas por curtos períodos, o alto consumo de combustível não é importante. Se o motor é operado com mistura muito pobre, e ajustes são feitos para aumentar o volume de combustível, a potência de saída do motor no início aumenta rapidamente, até que, gradualmente, a força máxima é alcançada. Com o aumento adicional no volume de combustível, a potência de saída cai gradualmente conforme a mistura é enriquecida.

Existem instruções específicas concernentes a razões de mistura para cada tipo de motor sobre várias condições de operação. A não observação destas instruções poderá resultar em baixa performance e frequentes danos para o motor. Misturas excessivamente ricas resultam em perda de potência e desperdício de combustível.

Com o motor operando perto da descarga máxima, misturas muito pobres causaram perda de potência e, sob certas condições, sério aquecimento. Quando o motor é operado com mistura pobre, o indicador de temperatura da cabeça de cilindro deve ser mantido dentro da temperatura padrão.

Se a mistura é excessivamente pobre, poderá ocorrer retorno de chama, através do sistema de indução ou parada completa. O retorno de chama é resultado da queima lenta de uma mistura pobre. Se ainda estiver ocorrendo a queima, quando a válvula de admissão for aberta, será dada ignição a nova mistura, e a chama migrará através da mistura de combustível para o sistema de indução.

PRINCÍPIOS DA CARBURAÇÃO

Princípios do Venturi

Os carburadores têm que medir o fluxo de ar através do sistema de indução, esta medição é usada para regular a massa de combustível descarregada dentro da massa de ar. A unidade medidora de ar é o Venturi, que faz uso de uma lei básica da física:

"Quando a velocidade de um gás ou líquido aumenta, a pressão diminui."

Como mostrado no diagrama de um Venturi simples (figura 3-4), isto é uma "via de passagem" ou tubo, no qual existe uma passagem estreita chamada de garganta. Como a velocidade do ar é alta para passar através da passagem estreita, a pressão cai: nota-se que a pressão na garganta é menor do que em qualquer outra parte do Venturi .

A queda dessa pressão é proporcional a velocidade, e é usada para medida do fluxo de ar. O princípio básico de operação da maioria dos carburadores depende da pressão diferencial entre a entrada e a garganta do Venturi.

Aplicação do princípio de venturi no carburador

O carburador está montado no motor para que o ar, que vai para os cilindros, passe através do tubo, que é a parte do carburador que contém o Venturi. O tamanho e a forma do Venturi depende das necessidades do motor para o qual o carburador é projetado. Um carburador para um motor de alta tração deve ter um Venturi GRANDE ou vários PEQUENOS.

O ar pode ter fluxos altos ou baixos no Venturi, dependendo do projeto do motor e do carburador. Aquele em que o ar passa para baixo são conhecidos como carburador de corrente descendente, e aquele que o ar passa para cima é chamado carburador de corrente ascendente.

O ar pode ser dirigido através de um tubo de borracha pela colocação de um terminal na boca, e exercendo a ação de sucção. Na verdade, a pressão no interior do tubo é menor, e a pressão atmosférica empurra o ar pela abertura da extremidade.

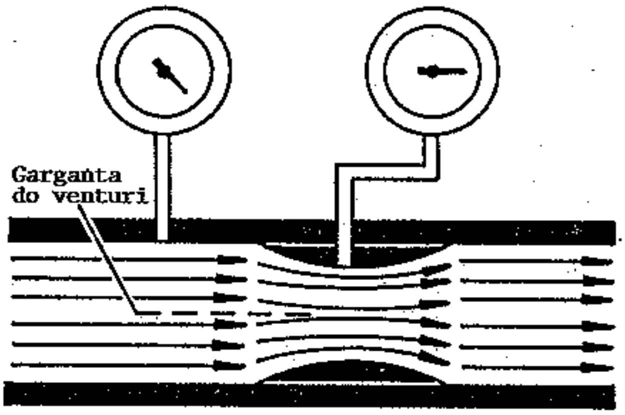


Figura 3-4 Venturi simples.

O fluxo de ar que passa através do sistema de indução ocorre da mesma maneira. Quando o pistão move o eixo de atuação no sentido da admissão, a pressão no cilindro é reduzida.

O ar é lançado através do carburador e é admitido na tubulação principal para o cilindro, devido a maior pressão na entrada do carburador. Mesmo um motor supercarregado com alta pressão no duto principal, será mantida baixa pressão.

A pressão atmosférica na entrada de ar, empurra- o através do carburador para a entrada supercarregada.

A válvula aceleradora está localizada entre o Venturi e o motor.

Ligações mecânicas conectam esta válvula com a manete de aceleração na cabine de comando.

Através dos meios de aceleração, o fluxo de ar para os cilindros é regulado e controla a potência de saída do motor. (Esta é a válvula de aceleração no carburador de seu automóvel que abre quando você "pisa no pedal do acelerador".)

Na verdade, quanto mais ar é admitido para o motor, o carburador automaticamente supre a gasolina adicional, suficiente para manter a correta razão combustível/ar.A válvula aceleradora faz uma pequena obstrução na passagem do ar quando está em paralelo com o fluxo. Esta é a posição totalmente aberta. A ação aceleradora é ilustrada na figura 3-5.

Nota-se que a restrição no fluxo de ar é maior quanto mais fechada estiver a válvula.

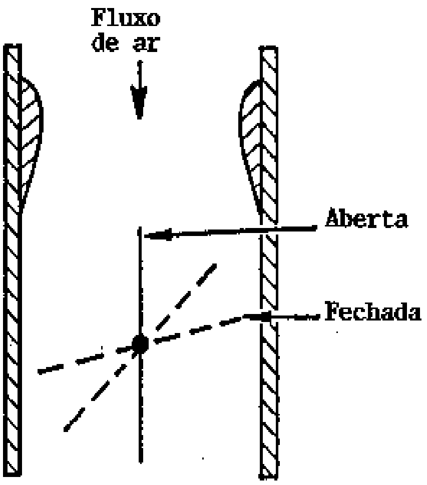


Figura 3-5 Ação aceleradora.

Medição e descarga de combustível

Na ilustração é mostrada a descarga do combustível na corrente de ar (figura 3-6), localizada na entrada através da qual o combustível entra no carburador, vindo da bomba mecanicamente acionada (acionada

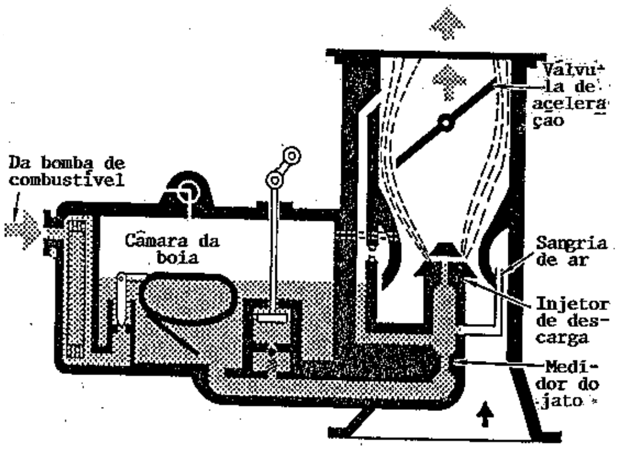


Figura 3-6 Descarga de combustível

A válvula de agulha operada por bóia regula o fluxo através da entrada, e esta via mantém o nível correto na câmara de combustível. Este nível deve ficar ligeiramente abaixo da saída do injetor de descarga, para prevenir transbordamento quando o motor não estiver funcionando.

O injetor de descarga é localizado na garganta do Venturi, no ponto onde ocorre a maior queda de pressão quando o ar passa através do carburador para os cilindros do motor. Portanto, são duas pressões diferentes atuando no combustível no carburador - a baixa pressão no injetor de descarga e a alta pressão (atmosférica) na câmara de flutuação.

A alta pressão na câmara de flutuação força o combustível através do injetor de descarga para a massa de ar. Se o acelerador (válvula de aceleração) é totalmente aberto para aumentar o fluxo de ar para o motor, haverá uma grande queda de pressão na garganta do Venturi. Por causa da alta pressão diferencial, a descarga de combustível é aumentada em proporção ao aumento do fluxo de ar. Se o acelerador é movido no sentido da posição "FECHADA", o fluxo de ar e o fluxo de combustível diminuem.

O combustível deve passar através do jato medido (figura 3-6) para chegar ao injetor de descarga. O tamanho deste jato determina a razão da descarga de combustível para cada pressão diferencial. Se o jato é substituído por um maior, o fluxo de combustível aumentará, resultando em uma mistura rica. Se um jato menor é fornecido, isto deverá diminuir o fluxo de combustível e empobrecer a mistura.

SISTEMAS DO CARBURADOR

Para proporcionar ao motor operação sobre várias cargas e diferentes velocidades, cada carburador possui seis (6) sistemas:

1 - Medidor principal;
2 - Marcha lenta;
3 - Acelerador;
4 - Controle de mistura;
5 - Corte de lenta;
6 - Potência de enriquecimento ou economizador.

Cada um desses sistemas possui uma função definida, podendo atuar sozinho com um ou mais de um dos outros.

O sistema de medição principal fornece combustível para o motor em todas as velocidades acima de marcha- lenta.

O combustível descarregado por este sistema é determinado pela queda de pressão na garganta do Venturi.

Um sistema em separado é necessário para a marcha lenta, porque o sistema principal de medição não é confiável nas velocidades muito baixas do motor. Nas baixas velocidades o acelerador está perto de fechado. Como resultado, a velocidade do ar através de Venturi é baixa e deverá ocorrer uma pequena queda na pressão.

Consequentemente, o diferencial de pressão não é suficiente para operar o sistema principal de medição, e nenhum combustível é descarregado para o sistema. Por este motivo, a maioria dos carburadores possui um sistema de marcha lenta para suprir combustível nas baixas velocidades do motor.

O sistema de aceleração supre o motor com combustível extra durante o aumento na potência do motor. Quando o acelerador é aberto para obter mais tração do motor, o fluxo de ar através do carburador aumenta. O sistema principal de medição neste momento aumenta a descarga de combustível.

Durante a aceleração rápida, o aumento do fluxo de ar é rápido num tempo curto, não sendo suficiente para aumentar a descarga de combustível na razão correta de mistura com o novo fluxo de ar. Através do suprimento extra de combustível durante este período, o sistema de aceleração previne o empobrecimento da mistura e permite uma aceleração uniforme.

O sistema de controle de mistura determina a razão de combustível para o ar na mistura. Através de meios de controle na cabine de comando, o mecânico, piloto ou mecânico de vôo podem selecionar a razão de mistura ajustando para as condições operacionais. Em adição a estes controles manuais, muitos carburadores possuem controles automáticos de mistura para que a razão combustível/ar, uma vez selecionada, não troque com as variações na densidade do ar. Isto é necessário, porque o avião sobe e a pressão atmosférica diminui, correspondendo a diminuição no peso do ar que passa através do sistema de indução.

O volume, contudo, permanece constante, o carburador tende a manter a mesma massa de combustível para este ar rarefeito, como para o ar mais denso ao nível do mar. Deste modo, a tendência natural desta mistura é tornar-se rica quando o avião ganhar altitude. O controle automático de mistura previne isto através da redução da razão da descarga de combustível, para compensar esta diminuição da densidade do ar.

O carburador possui um sistema de corte de lenta para que o combustível possa ser cortado na parada do motor. Este sistema, incorporado ao controle manual de mistura, corta a descarga do combustível do carburador completamente, quando a manete de controle de mistura é colocada na posição " IDLE CUT OFF ".

Em alguma discussão do sistema de corte de lenta, esta questão usualmente vem a tona. Porque o motor de um avião é parado através do corte de combustível e não pelo sistema de ignição? Para responder esta questão, é necessário que se examine o resultado de ambos os métodos. Se a ignição é desligada com o carburador mantendo o suprimento de combustível, a nova mistura combustível/ar continua a passar através do sistema de indução para os cilindros, e com isto o motor demora a parar. Se o motor estiver excessivamente quente, esta mistura de combustível pode continuar queimando através de pontos quentes nas câmaras de combustão, e o motor pode manter-se funcionando ou funcionando irregularmente. Novamente, a mistura pode passar para fora do cilindro sem ser queimada, mas ser inflamada no tubo quente de escape.

Frequentemente, contudo, o motor poderá ter uma parada aparentemente normal, mas ter mistura de combustível nas passagens de indução, nos cilindros e nos sistemas de descarga. Esta é uma condição insegura, desde que o motor possa se manter funcionando irregularmente após ter parado, causando sérios danos para alguém perto da hélice.

Quando o motor é cortado por meio do sistema de corte de lenta, as velas de ignição continuam a centelhar na mistura ar/combustível até que a descarga de combustível do carburador cesse. Isto apenas deverá evitar que o motor pare com mistura de combustível nos cilindros.

Alguns fabricantes de motor sugerem que pouco antes das hélices pararem de girar, o acelerador seja totalmente aberto para que os pistões possam bombear ar fresco através do sistema de indução, dos cilindros, e do sistema da descarga. Após o motor estar completamente parado, a chave de ignição é retornada para a posição "OFF".

O sistema de enriquecimento de potência automaticamente aumenta o volume de combustível da mistura durante a operação com alta potência. Desta maneira, é possível fazer a variação da razão combustível/ar necessária para as diferentes condições operacionais. Nas velocidades de cruzeiro, misturas pobres são desejáveis por razões econômicas, enquanto em alta potência a mistura deve ser rica para obter o máximo de força e ajudar a refrigeração do motor.

O sistema de enriquecimento automático causa a troca necessária na razão combustível/ar. Essencialmente, isto é uma válvula que é fechada para as velocidades de cruzeiro, e aberta para suprir combustível a mais para a mistura nas operações com alta potência.

Através deste aumento do fluxo de combustível nas altas trações, o sistema de enriquecimento é atualmente um meio de economizar combustível. Sem este sistema, seria necessário operar o motor com mistura rica durante toda a variação de potência. A mistura deve ser tão rica quanto necessário na velocidade de cruzeiro, para assegurar uma operação segura na tração máxima.

O sistema de enriquecimento de potência é chamado de "economizador" ou um "compensador de potência ".

Apesar dos vários sistemas, que devem ser discutidos separadamente, o carburador funciona como uma unidade. O fato de um sistema estar em operação não necessariamente previne o funcionamento de outro.

Ao mesmo tempo que o sistema principal de medição descarrega combustível em proporção para o fluxo de ar, o sistema de controle de mistura determina se a mistura resultante deverá ser RICA ou POBRE.

Se o acelerador for bruscamente aberto, os sistemas de aceleração e enriquecimento de potência atuam para adicionar combustível ao que está sendo descarregado, através do sistema principal de medição.

TIPOS DE CARBURADOR

Na discussão dos princípios básicos do carburador, o combustível era mostrado armazenado na cuba de bóia, e descarregado pelo injetor localizado na garganta do Venturi. Com adição de alguns poucos detalhes para torná-lo mais viável, isto torna o sistema principal de medição em um carburador tipo BÓIA.

Este tipo de carburador, completo com sistemas de marcha lenta, acelerador, controle de mistura, corte de marcha lenta, e sistemas de enriquecimento, é provavelmente o mais comum de todos os tipos de carburador.

Contudo, o carburador tipo bóia possui várias desvantagens. Em primeiro lugar, é só imaginar o efeito que a operação brusca tem sobre a ação da bóia. Em segundo lugar, o fato que este combustível deve ser descarregado em baixa pressão, conduzindo uma vaporização incompleta, e dificultando a descarga de combustível em alguns tipos de sistemas sobrecarregados. A principal desvantagem do carburador de bóia, contudo, é sua tendência a congelamento.

Desde que o carburador de bóia deva descarregar combustível no ponto de baixa pressão, o injetor de descarga deve estar localizado na garganta do Venturi e a válvula aceleradora deve estar no motor ao lado do injetor de descarga. Isto quer dizer que a queda de temperatura, devido a vaporização do combustível, tem lugar dentro do Venturi. Como resultado, o gelo forma-se rapidamente no Venturi e na válvula aceleradora.

O carburador tipo pressão, descarrega o combustível na massa de ar a uma pressão bem acima da atmosférica. Isto resulta na melhor vaporização, e permite a descarga do combustível na massa de ar do motor ao lado da válvula aceleradora.

Com o injetor de descarga localizado neste ponto, a queda da temperatura devido a vaporização do combustível se dá após o ar ter passado a válvula aceleradora neste ponto, onde o aquecimento do motor tende a compensar o problema. Portanto, o perigo do combustível vaporizado congelar está praticamente eliminado.

Os efeitos da rápida atuação e do ar irregular nos carburadores tipo pressão são negligenciáveis, desde que as câmaras permaneçam preenchidas (cheias) sobre todas as condições operacionais.

CONGELAMENTO DO CARBURADOR

Existem três (03) classificações gerais de congelamento de carburador que são comuns para todas as aeronaves:

(1) gelo na evaporação do combustível
(2) gelo na borboleta do acelerador
(3) gelo de impacto

Gelo na evaporação do combustível, ou gelo na refrigeração é formado por causa da diminuição na temperatura de ar, resultante da evaporação do combustível após ele ser introduzido na massa de ar. Isto frequentemente ocorre naqueles sistemas onde o combustível é injetado na corrente de ar do acelerador do carburador, como no caso dos carburadores tipo bóia.

Motores que empregam "SPINNER" ou impelidor de injeção de combustível estão livres deste tipo de gelo, exceto aqueles que possuem aletas de curva (para trocar a direção do fluxo) na entrada para o impelidor. Neste tipo, o gelo pode ser depositado nas aletas de curva. Gelo de refrigeração pode ser formado em temperaturas de ar acima de 100ºF em torno da maior variação nas condições de umidade da atmosfera, igual a umidade relativa favorável abaixo de 100%. Geralmente, o gelo da evaporação do combustível tenderá a acumular-se no injetor de distribuição do combustível, nas aletas de curva, e em qualquer protuberância no carburador. Este tipo de gelo pode baixar a pressão do duto principal, interferir com o fluxo de combustível, e afetar a distribuição da mistura.

O gelo na borboleta do acelerador é formado no lado traseiro, usualmente quando a borboleta está parcialmente na posição "FECHADA". A precipitação de ar através e ao redor da válvula de borboleta causa baixa pressão no lado traseiro. Isto determina uma pressão diferencial, com a qual temos o efeito de refrigeração na carga combustível / ar. Umidade congelada nesta área de baixa pressão é coletada como gelo.

O gelo da borboleta tende a acumular-se na passagem restrita. A ocorrência de uma pequena quantidade de gelo pode causar uma redução no fluxo de ar e no duto principal de pressão. Um acumulo grande de gelo pode causar trancamento dos aceleradores e uma condição de ficarem inoperantes. Gelo nos aceleradores raramente ocorrem em temperaturas acima de 38ºF.

O gelo de impacto é formado através da presença de água na atmosfera em forma de neve, chuva ou líquido de refrigeração, que é condensado nas superfícies que chegam a temperaturas abaixo de 30ºF. Devido aos efeitos de inércia, o gelo de impacto se forma perto da superfície que troca a direção do fluxo de ar. Este tipo de gelo pode formar-se na curva interna, no filtro do carburador e nos elementos de medição. O mais perigoso gelo de impacto é aquele que se forma no filtro do carburador e causa um rápido estrangulamento do fluxo de ar e da potência. Em geral, o perigo do gelo de impacto existe apenas quando ele se forma-se nos bordos de ataque da estrutura do avião.

Sob certas condições, o gelo pode entrar no carburador em estado comparativamente seco, não aderindo ao filtro ou paredes; por isso, não afetando o fluxo de ar do motor ou a pressão do duto principal.

Este gelo pode entrar no carburador e, gradualmente, obstruir passagens, e afetando suas características de medição.

CARBURADORES TIPO BÓIA

Um carburador tipo bóia consiste essencialmente de uma passagem principal de ar, através da qual o motor extrai seu suprimento de ar, um mecanismo para controle de quantidade de combustível descarregado em relação ao fluxo de ar, e um modo de regulagem da quantidade da mistura combustível / ar liberado para os cilindros do motor.

As partes essenciais do carburador tipo bóia estão ilustrados na figura 3-7 . Estas partes são:

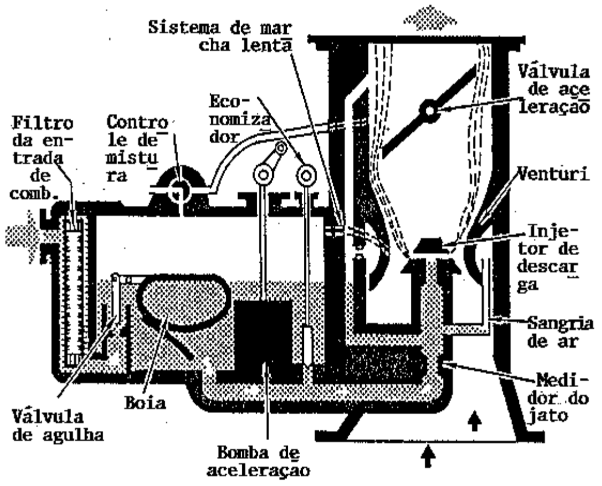


Figura 3-7 Carburador tipo bóia.

(1) O mecanismo da bóia e sua câmara.

(2) O sistema principal de medição.

(3) O sistema de marcha lenta.

(4) O sistema de controle de mistura.

(5) O sistema de aceleração.

(6) O sistema economizador.

Mecanismo da bóia

A câmara de flutuação está colocada entre o suprimento de combustível e o sistema de medição do carburador. A câmara de flutuação fornece um nível de combustível aproximadamente constante para o injetor principal de descarga.

Este nível é usualmente em torno de 1/8 de polegada abaixo dos orifícios no injetor principal de descarga.

O nível de combustível deve ser mantido ligeiramente abaixo dos orifícios de saída do injetor de descarga, para manter a correta quantidade de fluxo de combustível, e para prevenir vazamento de combustível pelo injetor quando o motor estiver parado.

O nível do combustível na câmara de flutuação é mantido aproximadamente constante, por meio de uma válvula de agulha operada pela bóia e uma sede.

A sede da agulha é usualmente feita em bronze.

A válvula de agulha é construída de aço duro, ou pode ter uma seção de borracha sintética, a qual serve de sede. Com a câmara de flutuação sem combustível, a bóia cai para a parte inferior da câmara e mantém a válvula de agulha totalmente aberta.

Quando o combustível é admitido da linha de suprimento, a bóia se eleva, fechando a válvula quando o combustível chega ao nível pré-determinado.

Quando o motor está funcionando e o combustível está sendo arrastado para fora da câmara de flutuação, a válvula assume uma posição intermediária até que a abertura da válvula seja suficiente para suprir a quantidade de combustível suficiente e manter o nível constante.

Com o combustível no nível correto, a razão de descarga é controlada corretamente pela velocidade do ar, através do carburador e da pressão atmosférica, na parte superior do combustível na câmara de flutuação.

A ventilação, ou pequena abertura, na parte superior da câmara de flutuação, libera o ar para entrar ou sair da câmara quando o nível de combustível se eleva ou cai.

Esta passagem de ventilação é aberta para a tomada de ar do motor; deste modo, a pressão do ar na câmara é sempre a mesma da existente no ar de admissão.

Sistema principal de medição

O sistema principal de medição fornece combustível para o motor em todas as velocidades acima da marcha- lenta, e consiste de:

(1) Venturi
(2) Jato principal de medição
(3) Injetor principal de descarga
(4) Passagem direcional para o sistema de marcha lenta
(5) Válvula de aceleração (borboleta)

Visto que a válvula aceleradora controla a massa do fluxo de ar através do Venturi do carburador, ela pode ser considerada a maior unidade no sistema principal de medição, assim como nos outros sistemas do carburador.

Um típico sistema principal de medição é ilustrado na figura 3-8.
O Venturi executa 3 funções:

(1) Dosa a mistura combustível / ar
(2) Diminui a pressão no injetor de descarga
(3) Limita o fluxo de ar em tração máxima

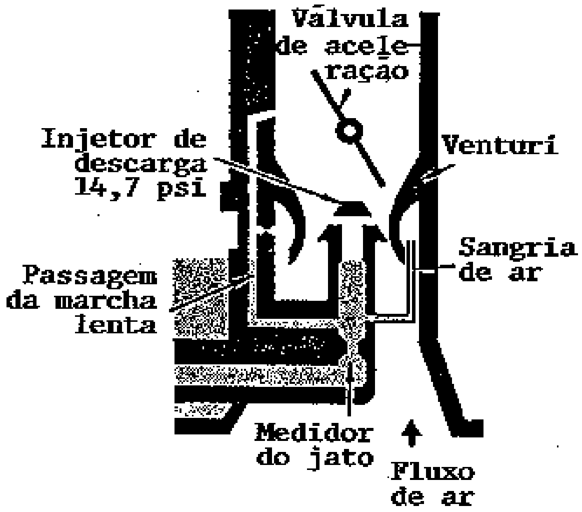


Figura 3-8 Sistema principal de medição.

O injetor de descarga de combustível está localizado na garganta do carburador, de modo que sua abertura fique na passagem de combustível, entre a câmara de flutuação e o injetor de descarga, para limitar o fluxo de combustível quando a válvula aceleradora estiver totalmente aberta. Quando o eixo de manivelas é girado com o acelerador do carburador aberto, a baixa pressão criada no duto principal de entrada atua no ar que passa através da garganta do carburador. Devido a esta diferença na pressão entre a atmosfera e o duto principal de admissão, o ar deverá fluir da entrada de ar através da garganta do carburador para o duto principal de admissão. O volume do fluxo de ar depende do grau de abertura do acelerador.

Quando o ar flui através do Venturi, sua velocidade **aumenta.** Esta velocidade cria uma área de **baixa** pressão na garganta do Venturi. O injetor de descarga de combustível é exposto para esta baixa pressão.

Visto que a câmara de flutuação é ventilada para a pressão atmosférica, uma pressão baixa ao redor do injetor de descarga é criada. Esta diferença de pressão, ou força de medição, é que causa o fluxo de combustível do injetor de descarga.

O combustível sai do injetor como uma fina névoa (atomizado), e minúsculas partículas de combustível da névoa rapidamente se vaporizam no ar.

A força de medição na maioria dos carburadores é aumentada quando a abertura do acelerador é aumentada. Uma queda de pressão de pelo menos 0,5 pol de Hg é necessária para elevar o combustível no injetor de descarga, até o nível onde ele será descarregado na massa de ar.

Nas baixas velocidades do motor, quando a força de medição é consideravelmente reduzida, o combustível liberado para o injetor de descarga deve diminuir se uma sangria de ar (jato de medição de ar) não estiver incorporada ao carburador.

A redução do fluxo de combustível em relação ao fluxo de ar é devido a dois fatores:

(1) O combustível tende a aderir às paredes do injetor de descarga, e ocorrem precipitações de grandes gotas ao invés da névoa fina, e

(2) Uma parte da força de medição é necessária, para elevar o nível de combustível do nível da câmara de flutuação, para a saída do injetor de descarga.

O princípio básico de sangria de ar pode ser explicado através de diagramas simples, como mostrado na figura 3-9. Em cada caso, o mesmo grau de sucção é aplicado no tubo vertical colocado no recipiente do líquido. A sucção aplicada na parte superior do tubo é suficiente para manter o líquido a uma distância em torno de 1 polegada, acima da superfície.

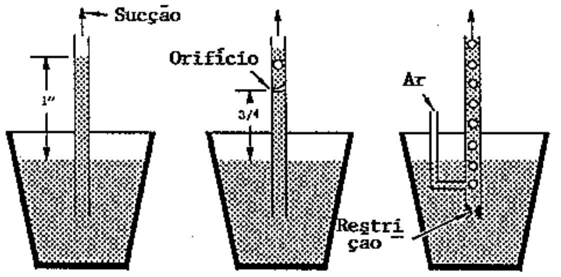


Figura 3-9 Princípio da sangria de ar.

Se um pequeno furo é feito no lado do tubo, acima da superfície do líquido, como na opção "B", e a sucção é aplicada, bolhas de ar deverão entrar no tubo; e o líquido deverá ser arrastado para cima, em uma série contínua de pequenas bolhas ou gotas. Portanto, sangria de ar entra no tubo e reduz parcialmente a força, tendendo a retardar o fluxo de líquido através do tubo. Contudo, uma abertura grande no fundo do tubo efetivamente previne que algum volume de sucção seja exercido no orifício de sangria de ar ou ventilação.

Similarmente, o orifício de sangria de ar, que está muito grande em proporção a medida do tubo, deve reduzir a sucção disponível para levantar o líquido. Se o sistema é modificado através da colocação de um furo calibrado no fundo do tubo, e o ar é tomado abaixo do nível do combustível através de um tubo de sangria de ar, há uma divisão entre o ar e o líquido no tubo, como mostrado na opção "C".

No carburador, uma pequena sangria de ar é introduzida no injetor de combustível, ligeiramente abaixo do nível. O terminal da abertura do ar de sangria está no espaço atrás da parede do venturi, onde o ar é relativamente sem movimento.

A baixa pressão na ponta do injetor não apenas arrasta o combustível da câmara de flutuação, mas também arrasta o ar de trás do venturi.

O ar sangrado para o sistema principal de medição de combustível, diminui a densidade deste, e destrói a tensão da superfície. Isto resulta em melhor vaporização e controle da descarga de combustível, especialmente nas baixas velocidades do motor.

O acelerador, ou válvula borboleta, está localizado na parte inferior do tubo de Venturi. Isto proporciona um meio de controle da velocidade do motor, ou potência de força, pela regulagem do fluxo de ar para o motor.

A válvula é um disco que pode girar num eixo, de modo a abrir ou fechar a passagem de ar do carburador. Quando mais de uma válvula aceleradora (borboleta) é necessária, elas podem ser colocadas no mesmo eixo de aceleração ou em eixos separados. No último caso, é necessário testar a uniformidade de abertura ou sincronização.

Sistema de marcha lenta

Com a borboleta do carburador fechada nas velocidades de marcha lenta, a velocidade de ar através do venturi é tão baixa que não pode arrastar o combustível suficiente do injetor principal; este fato pode parar a atomização do combustível completamente. Contudo, a baixa pressão (sucção do pistão) existe no motor ao lado da borboleta.

Para permitir que o motor opere em marcha lenta, uma passagem de combustível é incorporada para a descarga de combustível de uma abertura na área de baixa pressão, próximo da borda da borboleta do carburador . Esta abertura é chamada jato de marcha lenta. Com a borboleta aberta o suficiente, de modo que o injetor principal de descarga esteja operando, o combustível não sai do sistema de marcha lenta. Tão logo a borboleta é fechada, o suficiente para parar a atomização do injetor principal de descarga, o combustível flui do sistema de marcha lenta.

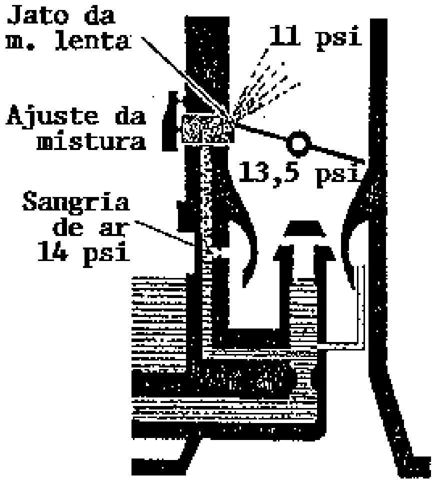


Figura 3-10 Sistema de marcha lenta.

Uma sangria de ar separada, conhecida como ar de sangria de marcha lenta, é incluída como parte do sistema de marcha lenta. O funcionamento é o mesmo que o da sangria de marcha-pincipal. Um mecanismo de ajuste de mistura de lenta é também incorporado. Um sistema típico de marcha-enta é ilustrado na Figura 3-10.

Sstema de controle de mistura

Quando a altitude aumenta, o ar fica menos denso. Em uma altitude de 18.000 pés, o ar possui apenas a metade da densidade que tinha ao nível do mar. O pé cúbico de espaço contém apenas a metade do mesmo ar a 18.000 pés do que ao nível do mar. Um cilindro de motor cheio de ar a 18.000 pés contêm apenas a metade do oxigênio, se comparado ao cilindro cheio de ar ao nível do mar.

A área de baixa pressão criada pelo venturi é mais dependente da velocidade do que da densidade do ar. A ação do venturi arrasta o mesmo volume de combustível através do injetor de descarga, em baixas ou em altas altitudes. Por este motivo, a mistura é enriquecida quando a altitude aumenta. Isto pode ser superado manualmente, ou com um controle automático de mistura.

Nos carburadores tipo bóia existem dois (2) tipos de mecanismos controlados manualmente da cabine, são em geral usados para controlar as misturas combustível/ar: o tipo agulha e o tipo sucção traseira. Os dois (2) tipos são ilustrados na figura 3-11 e 3-12.

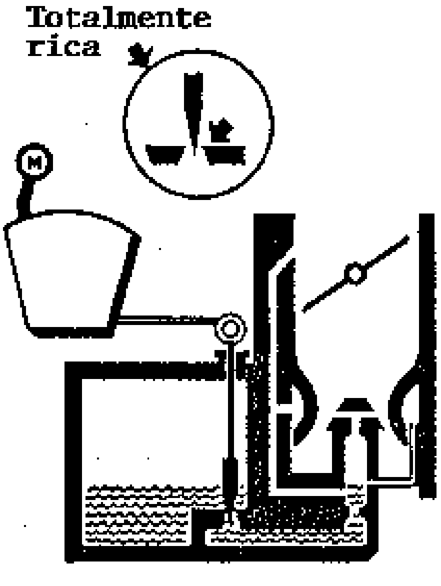


Figura 3-11 Sistema de controle de mistura tipo agulha.

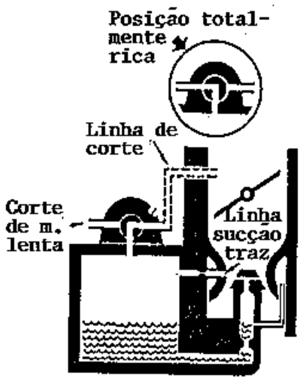


Figura 3-12 Sistema de controle tipo sucção traseira.

Com o sistema tipo agulha, o controle manual é fornecido através de uma válvula de agulha na base da câmara de flutuação (figura 3-11). Esse sistema pode ser aumentado ou diminuído através de um controle de ajuste na cabine de comando. Movendo o controle para "RICH", abre-se a válvula de agulha totalmente, o que permite que o fluxo de combustível seja irrestrito para o injetor. Movendo o controle para "LEAN", fecha-se uma parte da válvula, e restringe-se o fluxo de combustível para o injetor.

O sistema tipo sucção traseira é o mais usado. Nesse sistema (figura 3-12) um certo volume de baixa pressão do venturi atua acima do combustível na câmara de flutuação, até que isto se oponha a baixa pressão existente no injetor principal de descarga. Uma linha atmosférica, incorporando uma válvula ajustável, abre a entrada para a câmara da bóia.

Quando a válvula está completamente fechada, a pressão do combustível na câmara de flutuação e no injetor de descarga são quase equalizados; e o fluxo de combustível é reduzido para o máximo de mistura pobre. Com a válvula totalmente aberta, a pressão do combustível na câmara de flutuação é maior; e a mistura de combustível é enriquecida.

O controle da mistura é feito ajustando-se a válvula entre estes dois extremos. O quadrante na cabine de comando é usualmente marcado "LEAN", perto do batente traseiro; e "RICH", no batente dianteiro. A posição extrema traseira é marcada com "IDLE CUT OFF" e é usada quando o motor é cortado.

Nos carburadores tipo bóia, equipados com controle de mistura tipo agulha, ao colocar o controle de mistura na posição de "CORTE DE LENTA", a válvula de agulha acomoda-se na sua sede, cortando o fluxo de combustível completamente.

Nos carburadores equipados com controle de mistura tipo succção traseira, uma linha exclusiva de "CORTE DE LENTA", que conduz para um extremo de baixa pressão no lado do motor da válvula aceleradora, está incorporada. (ver a linha pontilhada na figura 3-12).

O controle da mistura é ligado a essa linha quando é colocado na posição "IDLE CUTOFF", abrindo outra passagem que comanda o pistão de sucção. Quando o controle da mistura é colocado em outras posições, faz com que a válvula abra a passagem, conduzindo para a atmosfera.

Ao parar o motor com tal sistema, fecha-se a válvula aceleradora, e coloca-se a chave da mistura na posição "IDLE CUTOFF". O acelerador (borboleta) é mantido fechado até que o motor tenha parado de girar, voltando a abrir o acelerador completamente.

Sistema de aceleração

Quando a válvula aceleradora é aberta rapidamente, um grande volume de ar precipita-se através da passagem de ar do carburador. Contudo, a quantidade de combustível que está misturada com o ar é menor que a quantidade normal; devido a razão de resposta lenta do sistema principal de medição. Como resultado, depois da rápida abertura do acelerador, a mistura combustível/ar empobrece momentaneamente.

Para vencer esta tendência, o carburador é equipado com uma pequena bomba de combustível, chamada bomba de aceleração. Um tipo comum de sistema de aceleração, usado no carburador de bóia, é ilustrado na figura 3-13.

Esse sistema consiste de uma bomba de pistão simples, operado através de haste pelo controle do acelerador, e uma linha abrindo no sistema principal de medição ou na garganta perto do venturi.

Quando o acelerador é fechado, o pistão se move para baixo, e o combustível enche o cilindro.

Se o pistão é empurrado para frente, lentamente, ele vaza através de uma passagem para a câmara de flutuação; mas se for empurrado rapidamente, irá emitir uma carga de combustível, e enriquecer a mistura no Venturi.

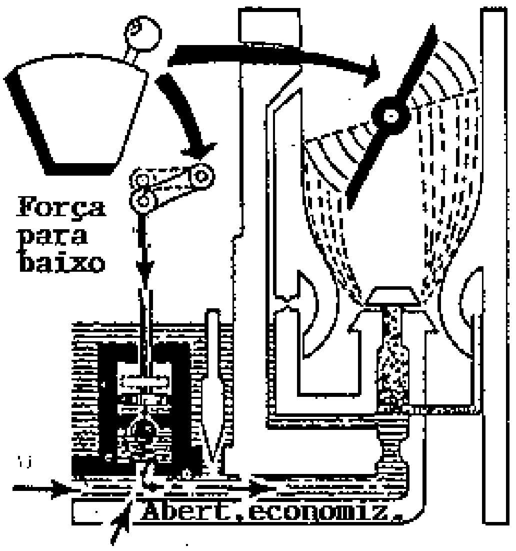


Figura 3-13 Sistema de aceleração.

Sistema economizador

Para um motor desenvolver o máximo de potência, com o acelerador totalmente aberto, a mistura de combustível deve ser mais rica do que a do Cruzeiro. O combustível adicional é usado para refrigerar o motor e prevenir detonação.

Um economizador é, essencialmente, uma válvula que é fechada para se colocar abaixo de 60 a 70% da razão de potência. Esse sistema, assim como o sistema de aceleração, é operado pelo controle de aceleração.

Um sistema economizador típico é mostrado na figura 3-14, consiste de uma válvula de agulha que começa na abertura, quando a válvula aceleradora chega a um determinado ponto perto da posição de abertura máxima.

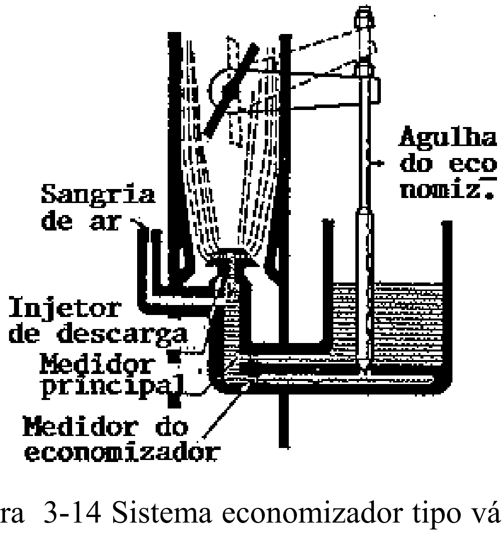


Figura 3-14 Sistema economizador tipo válvula de agulha.

Como o acelerador continua a abrir, a válvula de agulha abrirá, e um combustível adicional fluirá através dela. Esse combustível adicional suplementa o fluxo do jato principal de medição diretamente para o injetor principal de descarga.

Um sistema economizador, operado por pressão, é mostrado na figura 3-15. Este tipo possui uma cápsula selada localizada no compartimento interno. O compartimento é ventilado para o duto principal de pressão do motor. Quando a pressão do duto chega a um certo valor, a cápsula é comprimida e abre a válvula na passagem de combustível no carburador, suplementando a quantidade normal de combustível que é descarregada através do injetor principal.

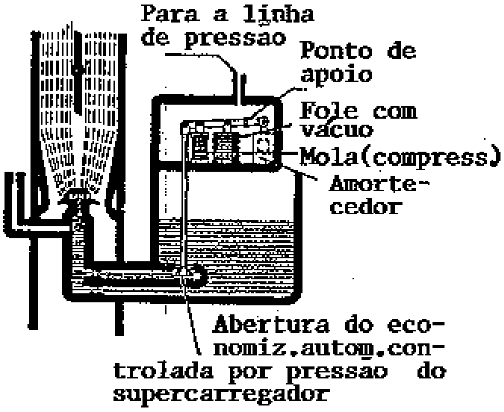


Figura 3-15 Sistema economizador operado por pressão.

Outro tipo de economizador é o sistema de sucção traseira mostrado na figura 3-16. A economia de combustível em Cruzeiro é proporcionada pela redução da pressão efetiva de atuação no nível de combustível, no compartimento da bóia. Com a válvula aceleradora na posição de Cruzeiro, a sucção é aplicada na câmara de flutuação através de um orifício economizador, e através do jato e do canal economizador tipo sucção traseira.

A sucção, assim aplicada na câmara de flutuação, opõe-se a sucção do injetor aplicada pelo venturi. O fluxo de combustível é reduzido, desse modo empobrecendo a mistura para a economia em Cruzeiro.

Outro tipo de sistema de controle de mistura usa uma válvula medidora, que é livre para girar em uma luva de medição estacionária.

O combustível entra nos sistemas principal e de lenta, através de um rasgo feito na luva de mistura (*mixture sleeve*).

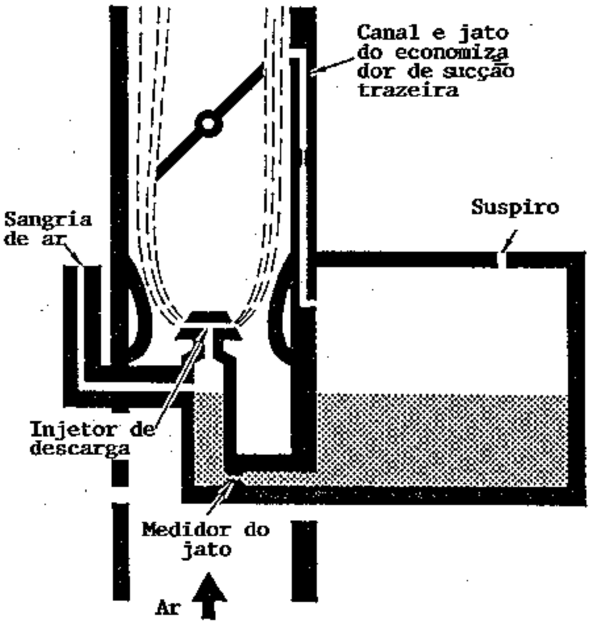


Figura 3-16 Sistema economizador do tipo sucção traseira.

O combustível medido é acompanhado por um posicionamento relativo entre um dos cantos do rasgo na cavidade da válvula medidora, e um dos cantos do rasgo na luva de medição. Movendo o controle de mistura, para reduzir o tamanho do rasgo, obtém-se uma mistura pobre para compensação de altitude.

CARBURADORES DE INJEÇÃO DE PRESSÃO

Os carburadores de injeção de pressão são distintamente diferentes dos carburadores tipo bóia, sendo assim, eles não têm incorporada uma ventilação na câmara de flutuação ou pickup de sucção do injetor de descarga, localizado no tubo de venturi. Em lugar disso, um sistema de pressurização de combustível é fornecido, e fechado da bomba combustível do motor para o injetor de descarga.

O venturi serve apenas para criar uma pressão diferencial, a fim de controlar a quantidade de combustível para o jato, medido em proporção ao fluxo de ar para o motor.

Carburador de injeção típico

O carburador de injeção é um mecanismo hidromecânico, empregando um sistema de alimentação fechada, da bomba de combustível para o injetor de descarga. Esse carburador mede o combustível através do jato, de acordo com a massa de fluxo de ar, e através do corpo da aceleradora, descarregando sob pressão positiva.

A ilustração na figura 3-17 representa um carburador do tipo pressão simplificado. Para ser melhor entendido são mostradas apenas as partes básicas.

Nota-se que as duas pequenas passagens, uma conduzindo a entrada de ar do carburador para o lado esquerdo do diafragma flexível; e o outra, da garganta do venturi para o lado direito do diafragma.

Quando o ar passa através do carburador para o motor, a pressão na direita do diafragma é liberada por causa da queda da pressão na garganta do venturi. Como resultado, o diafragma move-se para a direita, abrindo a válvula de combustível.

A pressão da bomba acionada pelo motor força o combustível através da abertura da válvula para o injetor de descarga, onde será pulverizado na massa de ar. A distância da abertura da válvula de combustível é determinada pela diferença entre as duas pressões atuantes no diafragma. Essa diferença de pressão é proporcional ao fluxo de ar através do carburador. Portanto, o volume de fluxo de ar determina a razão do combustível de descarga.

O carburador tipo injeção de pressão é composto das seguintes unidades:

(1) Corpo do acelerador .
(2) Controle automático de mistura.
(3) Unidade Reguladora.
(4) Unidade de controle de combustível; algumas são equipadas com um adaptador.

Corpo do acelerador

O corpo do acelerador contém as válvulas de borboleta, o venturi principal, venturi de apoio e tubos de impacto. Todo o ar que entra nos cilindros deve fluir através do corpo do acelerador; por isso, este é o controle de ar e o meio de medição. O fluxo de ar é medido pelo volume e peso, assim como a quantidade própria de combustível, que pode ser adicionada para manter a demanda do motor em todas as condições.

Como o ar flui através do venturi, sua velocidade é aumentada, e sua pressão é diminuída (princípio de BERNOULLI).

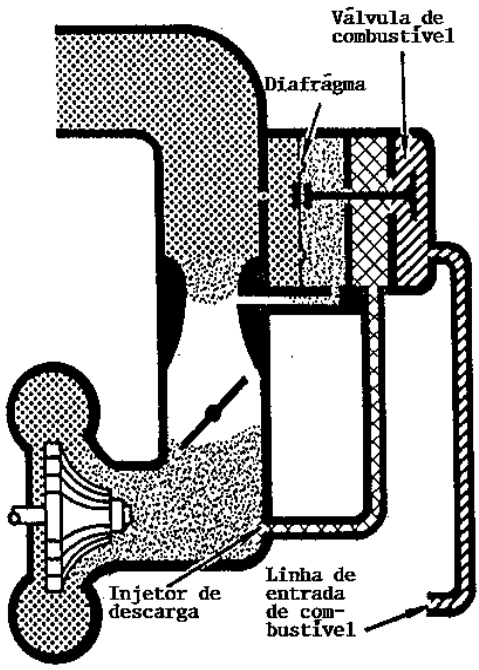


Figura 3-17 Carburador tipo pressão.

Essa baixa pressão é ventilada para o lado de baixa pressão do diafragma de ar (câmara "B", figura 3-18), no conjunto regulador. Os tubos de impacto do carburador sentem a pressão do ar de entrada e o direcionam para o controle automático de mistura, que mede a densidade do ar.

Do controle automático de mistura, o ar é direcionado para o lado de alta pressão do diafragma (câmara "A"). A pressão diferencial das duas câmaras, que atuam sobre o diafragma de ar, é conhecida como a força de medição do ar que abre a válvula "POPPET" de combustível.

O corpo do acelerador controla o fluxo de ar com as válvulas aceleradoras; estas podem ser de tipo retangular ou em forma de disco, dependendo do projeto do carburador.

As válvulas são montadas em um eixo, que é conectado por haste na válvula de lenta, e no controle de aceleração na cabine de comando. O acelerador possui um batente de curso para a válvula aceleradora e um ajuste que regula a velocidade de marcha lenta do motor.

Unidade reguladora

O regulador (figura 3-18) é uma unidade controlada por diafragma, e dividido em cinco câmaras, contendo dois diafragmas reguladores e o conjunto da válvula "POPPET".

A câmara “A” tem pressão regulada da entrada de ar. A câmara “B” é o reforço de pressão do venturi. A câmara “C” contém combustível medido com pressão controlada pelo injetor de descarga, ou pela válvula de alimentação de combustível.

A câmara “D” contém combustível não medido com pressão controlada pela abertura da válvula "POPPET". A câmara “E” tem a pressão da bomba de combustível, controlada pela válvula de alívio de pressão da bomba de combustível. O conjunto da válvula "POPPET" é conectado por uma haste aos dois diafragmas principais de controle.

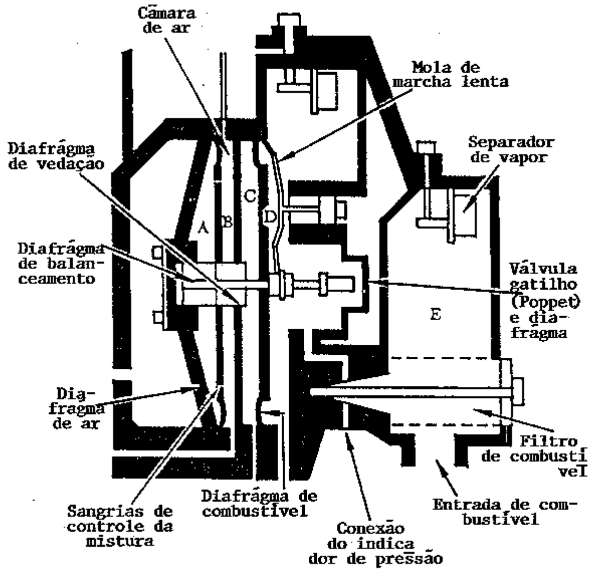

Câmara de ar
Mola de marcha lenta
Diafrágma de vedação
Separador de vapor
C
D
A
B
Diafrágma de balanceamento
Válvula gatilho (Poppet) e diafrágma
E
Diafrágma de ar
Filtro de combustível
Diafrágma de combustível
Entrada de combustível
Sangrias de controle da mistura
Conexão do indicador de pressão

Figura 3-18 Unidade reguladora.

O filtro de combustível do carburador, localizado na entrada da câmara “E”, é uma fina malha filtrante, através da qual todo o combustível deve passar quando entra na câmara “D”. O filtro deve ser removido e limpo nos intervalos previstos.

O propósito da unidade reguladora é ajustar a pressão do combustível para o lado de entrada dos jatos, medidos na unidade de controle.

Essa pressão é automaticamente regulada de acordo com a massa do fluxo de ar para o motor.

Tomando-se como referência a figura 3-18, assume-se que para ser dado o fluxo de ar em libras/hora através do corpo do acelerador e venturi, a pressão negativa de 1 / 4 P.S.I. é estabelecida na câmara “B”.
Isto tende a mover o conjunto do diafragma e a válvula "POPPET" na direção de abertura da válvula "POPPET", permitindo que mais combustível entre na câmara “D”.

A pressão na câmara “C” é mantida constante em 5 P.S.I. (10 P.S.I. na mesma instalação) pelo injetor de descarga, ou pela válvula impelidora de alimentação de combustível. Por esse motivo, o conjunto do diafragma e a válvula "POPPET" deverão se mover na direção da abertura, até que a pressão na câmara “D” chegue a 5 1/4 P.S.I. Sob essas pressões, há uma condição balanceda do conjunto de diafragma com uma queda de pressão de 1/4 P.S.I., ao redor dos jatos na unidade de controle de combustível (AUTO-RICO ou AUTO-POBRE).

Unidade de controle de combustível

A unidade de controle de combustível (figura 3-19) é fixada no conjunto do regulador, e contém todos os jatos e válvulas de medição. As válvulas de lenta e de enriquecimento de força, junto com as lâminas de controle de mistura, selecionam as combinações de jatos para as várias ajustagens, sendo, AUTO-RICO, AUTO-POBRE e CORTE DE LENTA.

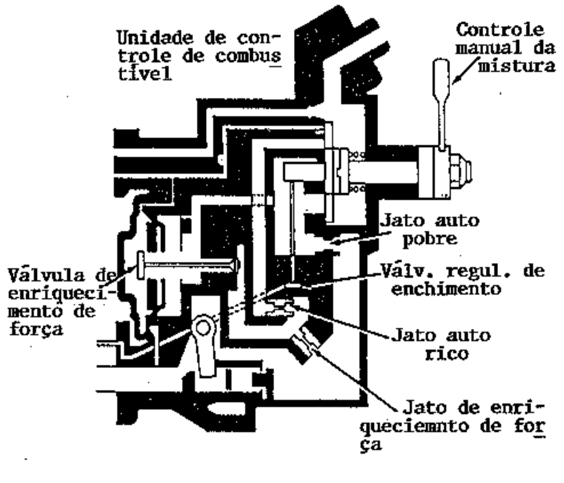

Unidade de controle de combustível
Controle manual da mistura
Jato auto pobre
Válv. regul. de enchimento
Válvula de enriquecimento de força
Jato auto rico
Jato de enriqueciemnto de força

Figura 3-19 Unidade de controle de combustível.

Se o injetor de pressão (pressão de câmara “C”) elevar-se para 5 1/2 P.S.I., o conjunto do diafragma de balanceamento deverá ser elevado, e o conjunto de diafragma deverá se mover para abrir a válvula "POPPET", restabelecendo a pressão necessária de 5 3/4 P.S.I. na câmara “D”.

Desse modo, a pressão diferencial de 1/4 P.S.I. entre a câmara “C” e a câmara “D” é reestabelecida, e a pressão cai ao redor dos jatos de medição, e deverá permanecer a mesma.

Se a pressão de entrada do combustível é aumentada ou diminuída, o fluxo de combustível dentro da câmara “D” tenderá a aumentar ou diminuir com a troca de pressão, fazendo com que ocorra o mesmo com a câmara “D”. Isto elevará a condição de equilíbrio previamente estabelecida, e a válvula "POPPET" e o conjunto do diafragma, responderão através do movimento para aumentar ou diminuir o fluxo para reestabelecer a pressão diferencial de 1/4 P.S.I..

Quando as lâminas de controle de mistura são movidas de AUTO-POBRE para AUTO-RICO, ou vice-versa, selecionam os diferentes ajustes dos jatos, que podem cortar uma ou duas entradas ou saídas do sistema, ocasionando a mudança do fluxo de combustível. Contudo, quando a posição da mistura é alterada, o diafragma e o conjunto da válvula "POPPET" serão reposicionados para manter a pressão diferencial, estabelecida de 1/4 P.S.I. entre as câmaras “C” e “D”, mantendo a diferencial estabelecida através dos jatos.

Sob baixos ajustes de potência (baixos fluxos de ar), a diferença de pressão criada pelo venturi reforçador não é suficiente para acomodar uma regulagem consistente de combustível. Por isso, uma mola de lenta, mostrada na figura 3-18, é incorporada ao regulador.

Assim que a válvula "POPPET" move-se em direção à posição fechada, ela contacta a mola de lenta. A mola mantém a válvula "POPPET" fechada e fora do seu assentamento, o bastante para fornecer mais combustível necessário para a lenta. Esta mistura potencialmente super-rica é regulada pela válvula de lenta.

Na velocidade lenta, a válvula de lenta restringe o fluxo de combustível para a quantidade apropriada. Nas altas velocidades, esta é retirada da passagem de combustível e não possui efeito de medição.

Sistemas de eliminação de vapor (VAPOR VENT) são instalados nestes carburadores para eliminar o vapor de combustível, criado pela bomba, aquecido no compartimento do motor, e a queda de pressão através da válvula "POPPET".

O "VAPOR VENT" é localizado na entrada do combustível (Câmara “E”), ou em alguns modelos de carburadores em ambas as câmaras “D” e “E”.

O sistema de "VAPOR VENT" opera da seguinte maneira: quando o ar entra na câmara em que o "VAPOR VENT" é instalado, ele se eleva para a parte superior da câmara, deslocando o combustível e baixando seu nível.

Quando o nível de combustível chega a uma predeterminada posição, a bóia (que flutua no combustível) puxa a válvula do "VAPOR VENT" para a posição fechada sobre sua sede, permitindo que o vapor na câmara escape através do assentamento da ventilação de vapor, da linha de conexão, e retornando para o tanque de combustível.

Se a válvula de "VAPOR VENT" tranca na posição fechada, ou a linha de ventilação do "VAPOR VENT" para o tanque de combustível for obstruída, a ação de diminuição de vapor cessará. Isto fará com que o vapor aumente dentro do carburador e, por extensão, passe através dos jatos medidores com o combustível.

Com o tamanho dado ao jato medidor do carburador, a medição do vapor deverá reduzir a quantidade do combustível medido. Isto deverá causar a saída de uma mistura combustível/ar pobre, usualmente intermitente.

Se a válvula de "VAPOR VENT" trancar em aberta, ou a bóia da "VAPOR VENT", alinhar com o combustível e afundar, um fluxo contínuo de combustível e vapor ocorrerá através da linha de ventilação. Isto é importante para detectar esta condição, com o fluxo de combustível do carburador suprindo o tanque que pode causar o transbordamento com o resultado do aumento de consumo de combustível.

Para se testar o sistema de ventilação, desconecta-se a linha do "VAPOR VENT" onde é fixada no carburador, ligando a bomba reforçadora de combustível (BOOSTER PUMP), ao mesmo tempo que se observa a conexão da "VAPOR VENT" no carburador. Move-se o controle de mistura do carburador para "AUTO-RICH"; então retorna-se para corte de lenta (IDLE CUT
OFF).

Quando a bomba de combustível (FUEL BOOSTER PUMP) é ligada, deverá ocorrer uma ejeção inicial de combustível e ar, seguidos pelo corte com não mais do que um constante gotejamento da conexão de ventilação. Nas instalações onde a sangria é fixada na câmara “D”, é conectada para a "VAPOR VENT" na entrada de combustível por uma curta linha externa, e logo haverá uma ejeção inicial de combustível e ar, seguidos por um contínuo e pequeno jato de combustível. Se não houver fluxo, a válvula estará trancada em “fechado”; se houver fluxo constante, estará trancada em “aberto”.

O propósito da unidade de controle de combustível é medir e controlar o fluxo de combustível para o injetor de descarga. A unidade básica consiste de três (03) jatos e quatro (04) válvulas dispostas em série, paralelo, e série-paralelo (Veja a figura 3-19).

Esses jatos e válvulas recebem combustível sob pressão da unidade reguladora, e então, o combustível que vai para o injetor de descarga é medido. A válvula de controle manual de mistura controla o fluxo de combustível. Pelo uso do tamanho próprio dos jatos, e regulando a pressão diferencial através dos jatos, a quantidade correta de combustível é liberada para o injetor de descarga, dando a razão combustível/ar desejada nas várias ajustagens de potência. Deve ser relembrado que a pressão de entrada para os jatos está sob a unidade reguladora e a pressão de saída é controlada pelo injetor de descarga.

Os jatos são, na unidade básica de controle de combustível, auto-rico e auto-pobre, e jato de enriquecimento de potência. O fluxo básico de combustível é o necessário para fazer funcionar o motor com mistura pobre, e é medido pelo jato auto-pobre.

O jato auto-rico adiciona o combustível suficiente no fluxo básico para obter o enriquecimento lento da mistura, então, teremos a melhor mistura para a tração quando o controle manual de mistura é colocado na posição "AUTO-RICH".

As quatro válvulas da unidade básica de controle de combustível são:

(1) Válvula de agulha de lenta
(2) Válvula de enriquecimento de potência
(3) Válvula reguladora de enchimento
(4) Controle manual de mistura

As funções destas válvulas são:

(1) A válvula de agulha de lenta mede o combustível na variação de lenta apenas. Ela é uma válvula agulha redonda e perfilada, ou uma válvula cilíndrica, colocada em série com todos os outros meios de medição da unidade básica de controle. A válvula de agulha de lenta é conectada por haste ao eixo de aceleração, para que seja restrito o fluxo de combustível nas regulagens de baixa potência (variação de lenta).

(2) O controle manual de mistura é uma válvula tipo disco rotativo, consistindo de um disco redondo estacionário com “ports” condutores do jato auto-pobre e jato auto-rico, e dois pequenos orifícios de ventilação. Outra parte rotativa, parecida com uma folha de trevo, é soldada no disco estacionário através de uma mola de tensão, e gira ao redor dos portes neste disco, através da manete de controle manual de mistura. Todos os portes e ventilações são fechados na posição de "IDLE CUT OFF". Na posição "AUTO LEAN", os portes do jato auto-pobre e dois orifícios de ventilação estão abertos. O porte do jato auto-rico permanece fechado nesta posição. Na posição "AUTO-RICH", todos os portes estão abertos. As posições do disco da válvula são mostradas na figura 3-20. As três (03) posições da manete do controle manual de mistura tornam isto possível para selecionar a mistura pobre ou a mistura rica, ou para parar o fluxo de combustível inteiramente. A posição "IDLE CUT OFF" é usada para dar partida ou parar o motor. Durante a partida, o combustível é suprido através do "PRIMER".

(3) A válvula reguladora de abastecimento é uma pequena válvula tipo "POPPET", localizada na passagem de combustível que alimenta a câmara "C" da unidade reguladora, com pressão de combustível medida. Em corte de lenta (IDLE CUT OFF), a parte lisa da rampa de subida do ressalto, com a haste da válvula e a mola, fecham a válvula. Isto proporciona um meio de cortar (SHUTTING OFF) o fluxo de combustível para a câmara "C" e, desse modo, proporcionando um corte de lenta (IDLE CUT OFF) positivo.

(4) A válvula de enriquecimento de potência é outra válvula tipo "POPPET". Ela está em paralelo com os jatos de AUTO-POBRE e AUTO-RICO, mas está em série com o jato de enriquecimento de potência. Esta válvula inicia a abertura no começo de variação da tração . Ela é aberta pela pressão de combustível não medida, sobrepondo a pressão

de combustível medida e a tensão da mola. A válvula de enriquecimento de potência continua

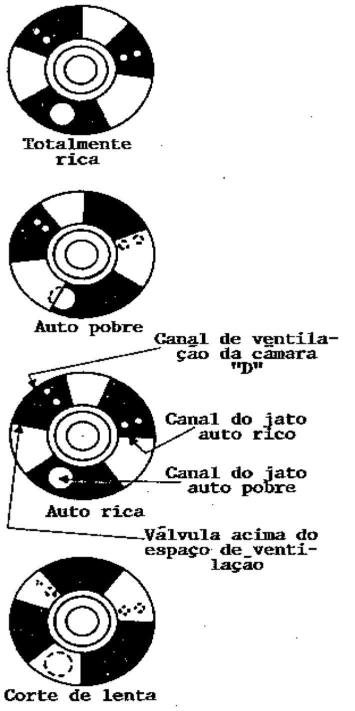

Totalmente rica
Auto pobre
Canal de ventilação da câmara "D"
Canal do jato auto rico
Canal do jato auto pobre
Auto rica
Válvula acima do espaço de ventilação
Corte de lenta

Figura 3-20 Posição dos discos da válvula de controle de mistura manual.

totalmente aberta e, durante toda a variação de potência, até que o fluxo combinado através da válvula e o jato AUTO-RICO exceda aquele jato de enriquecimento de força. Neste ponto, o jato de enriquecimento de força supera o jato medido, e mede o combustível através da saída da variação de força.

(5) Carburadores equipados, com injeção de água são modificados pela adição de uma válvula e um jato de derivação. A válvula e o jato de derivação estão em série um com o outro, e em paralelo com o jato de enriquecimento de potência.

O carburador controla o fluxo de combustível através da variação de dois fatores básicos.

A unidade de controle de combustível, atuando como uma válvula redutora de pressão, determina a pressão medida em resposta para a força de medição.

A unidade reguladora, com efeito, varia o tamanho do orifício, através do qual faz a medição da força de pressão do combustível.

Esta é uma lei básica de hidráulica, onde o montante de fluido que passa através de um orifício varia de acordo com o seu tamanho; e a pressão cai através dele. Os mecanismos internos automáticos e o controle de mistura atuam juntos para determinar o tamanho efetivo da passagem do medidor, através da qual o combustível passa. Os mecanismos internos, jatos fixos, e válvula de enriquecimento de potência variável, não estão sujeitos ao controle externo direto.

Controle automático de mistura (AMC)

Consiste de um conjunto de cápsulas, agulha calibrada e uma sede. O propósito do controle automático de mistura é compensar as trocas na densidade do ar, devido as trocas na temperatura e altitude.

O controle automático de mistura contém uma cápsula metálica, selada em 28" de Hg, de pressão absoluta, que responde as trocas na pressão e temperatura. Na ilustração (Figura 3-21), nota-se que o controle automático de mistura está localizado na entrada de ar do carburador. Como a densidade do ar muda, a expansão e contração da cápsula move a agulha na linha da atmosfera.

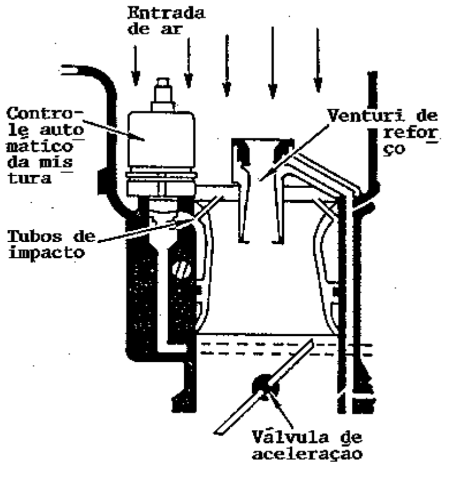

Entrada de ar
Controle automático da mistura
Venturi de reforço
Tubos de impacto
Válvula de aceleração

Figura 3-21 A unidade automática de mistura.

Ao nível do mar, a cápsula é contraída, e a agulha não está obstruindo a passagem atmosférica. Quando a aeronave sobe e a pressão atmosférica diminui, a cápsula se expande, inserindo a agulha, distanciando na passagem atmosférica e restringindo o fluxo de ar para a câmara "A" da unidade reguladora (Figura 3-18).

Ao mesmo tempo, o ar vaza lentamente da câmara "A" para a câmara "B", através de uma pequena sangria (muitas vezes referido como sangria de sucção traseira, ou sangria de controle de mistura).

A razão com que o ar vaza através desta sangria é em torno da mesma em grandes altitudes, assim como ao nível do mar. Portanto, a agulha restringe o fluxo de ar para a câmara "A", a pressão do lado esquerdo do diafragma de ar diminui; como resultado, a válvula POPPET move-se em direção a sua sede, reduzindo o fluxo de combustível para compensar a diminuição da densidade do ar.

O controle automático de mistura pode ser removido e limpo, verificando que o selo de chumbo no ponto de ajuste não tenha problema.

Unidade adaptadora

O próposito do adaptador está no carburador. Esta unidade também pode conter o injetor de descarga e a bomba de aceleração (veja a figura 3-22).

Nos motores que usam válvulas de alimentação de combustível, o injetor de descarga é eliminado desde que a válvula de alimentação sirva para o mesmo propósito, e seja construída dentro do motor.

Onde a válvula de descarga de injeção do "SPINNER" é usada no lugar do injetor de descarga, a bomba de aceleração é normalmente instalada no lado do corpo do acelerador, e o adaptador nada mais é do que o espaçador, não possuindo partes móveis.

O injetor de descarga é uma válvula carregada por mola (SPRING-LOADED) que mantém a pressão no combustível medido. Antes do combustível poder passar através do injetor de descarga, uma pressão suficiente deve ser aplicada contra o diafragma para sobrepujar a tensão da mola, que está do lado do ar do diafragma.

O diafragma quando levanta, arrasta a válvula que está fixada a seu corpo, e o combustível é pulverizado para fora do injetor. A segurança para o injetor é o difusor que é projetado para permitir a distribuição e atomização do combustível dentro da massa de ar.

Existem três tipos de difusores usados na montagem do adaptador do injetor de descarga - Tipo “RAKE”, “BAR” e “BOW TIE”.

Dois outros difusores instalados em alguns motores são acionadores de anel (SLINGER RING) usados com a válvula de alimentação de combustível, e o anel SPINNER usado com a válvula de descarga de injeção tipo SPINNER.

A bomba de aceleração é usada para compensar o atraso inerente do fluxo de combustível durante a aceleração rápida do motor.

Sistemas de carburador de injeção de pressão

O carburador tipo pressão, semelhante ao carburador tipo bóia, contém um sistema principal de medição, um de lenta, um sistema acelerador, um de controle de mistura (tanto MANUAL como AUTOMÁTICO), um sistema de corte de lenta, e um sistema de enriquecimento de força. Uma representação esquemática de um carburador tipo injeção-pressão, série PD, é ilustrado na Figura 3-22.

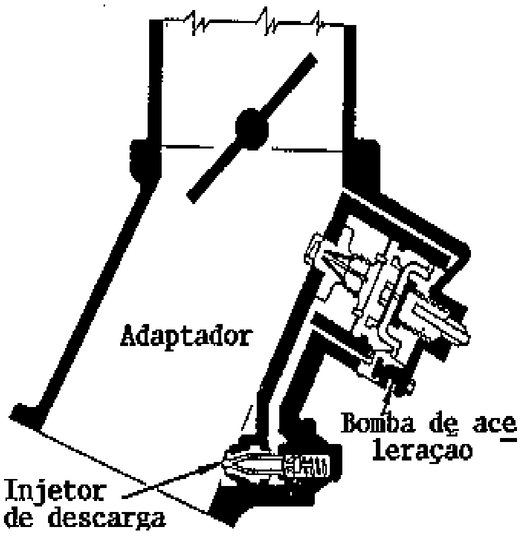


Figura 3-22 Adaptador.

Sistema principal de medição

Talvez a mais conhecida característica do sistema principal de medição é a de venturi duplo (DOUBLE VENTURI). Na figura 3-23, nota-se que a abertura inferior do venturi aumentador é perto da garganta do principal. Portanto causa uma aceleração no fluxo de ar através do venturi reforçador e, consequentemente, uma queda ainda maior de pressão na sua garganta. Como resultado, uma grande diferencial de pressão e uma grande força de medição de ar são obtidas.

Para fazer uso dessa força de medição, a garganta do venturi reforçador e a entrada para o venturi principal são conectadas para as câmaras de ar do carburador.

Há duas destas câmaras de ar, "A" e "B". Câmaras "C" e "D" são câmaras de combustível. As passagens da câmara "B" para a garganta do venturi reforçador (BOOST VENTURI) pode ser facilmente percorrida. A outra passagem é menos direta. Isto conduz da câmara "B" para o espaço atrás do venturi principal. Os tubos de impacto ventilam esse espaço para a pressão na entrada de ar do carburador. Em alguns sistemas de indução, a pressão na entrada de ar do carburador é levemente acima da atmosférica por causa do efeito de compressão (RAM EFFECT). Se houver um turbo ou outro super carregador na cabeça do carburador, a entrada de pressão é consideravelmente maior que a atmosférica, sob certas condições operacionais.

Em todos os sistemas, a queda da pressão na garganta do venturi reforçador é proporcional ao fluxo de ar. Isto causa uma redução na posição da câmara "B". Desse modo, a pressão nas duas câmaras de ar são diferentes, pressão de impacto na câmara "A" e sucção do venturi reforçador na câmara "B".

Essa diferença de pressão é uma medida do fluxo do ar.

O diafragma da câmara de ar move-se em direção da baixa pressão (para a direita), abrindo a válvula POPPET (válvula a pistão). Isto permite que o combustível, enviado para a entrada do carburador sob pressão da bomba acionada pelo motor entre na câmara "D".

Este combustível passa através da unidade de controle para o injetor de descarga, onde ele força a válvula para fechar-se sobre sua sede, pulverizando na massa de "ar". A pressão na linha de descarga do combustível é determinada pelo ajuste do injetor.

A pressão na qual a bomba acionada pelo motor libera o combustível para o carburador varia com os diferentes modelos, –embora ela esteja sempre bem acima da regulagem da descarga do injetor.

A câmara "C" é abastecida de combustível com a mesma pressão que a da linha de descarga. A função da câmara "C" é permitir que o combustível seja descarregado sob pressão, e compensar as variações de pressão na linha de descarga.

O injetor de descarga atua como uma válvula de alívio para manter a pressão relativamente constante, indiferente do volume de combustível que seja descarregado. A pressão deste combustível medido atua no lado esquerdo do diafragma.

O combustível admitido para a câmara "D" através da válvula "POPPET" (válvula de pistão) exerce pressão contra o lado oposto do diafragma.

A pressão do combustível não medido na câmara "D" varia com a posição da válvula "POPPET" (pistão), e com a razão de descarga do combustível. Durante a operação do motor, ela é maior do que na câmara "C". Portanto, existem duas forças atuando na válvula "POPPET":

(1) Uma força no diafragma de ar (diferença de pressão entre as câmaras “A” e “B”) tendendo a abrir a válvula; e

(2) A força no diafragma de combustível (diferença de pressão entre as câmaras “D” e “C”) tendendo fechar a válvula. A válvula "POPPET" move-se na direção da posição aberta até que a pressão do combustível na câmara "D" seja bastante alta para fazer a força de balanceamento, que é alcançada quando a descarga de combustível e o fluxo de ar estão na proporção correta.

Para prevenir que o ar no combustível perturbe a medição do carburador, existe um separador de vapor na entrada do combustível.

Uma pequena bóia e uma válvula de agulha são posicionadas no separador de vapor na câmara.

Quando não temos vapor na câmara, a bóia é levantada e mantém a válvula de agulha fechada.

Quando há um acúmulo de vapor, o nível de combustível na câmara cai, abaixando a bóia até que a válvula de agulha abra.

Os vapores, então, escapam através da linha de ventilação para um dos tanques de combustível.

Esta ação não é apenas um processo de abertura e fechamento, é também um processo onde a válvula de agulha toma uma posição intermediária, permitindo que o vapor escape tão rapidamente quanto acumula.

Sistema de marcha lenta

No carburador tipo pressão, o combustível segue o mesmo caminho em marcha lenta, como é feito quando o sistema principal de medição está em operação. Por causa da baixa velocidade do ar através do venturi, contudo, a pressão diferencial no diafragma de ar não é suficiente para regular o fluxo de combustível.

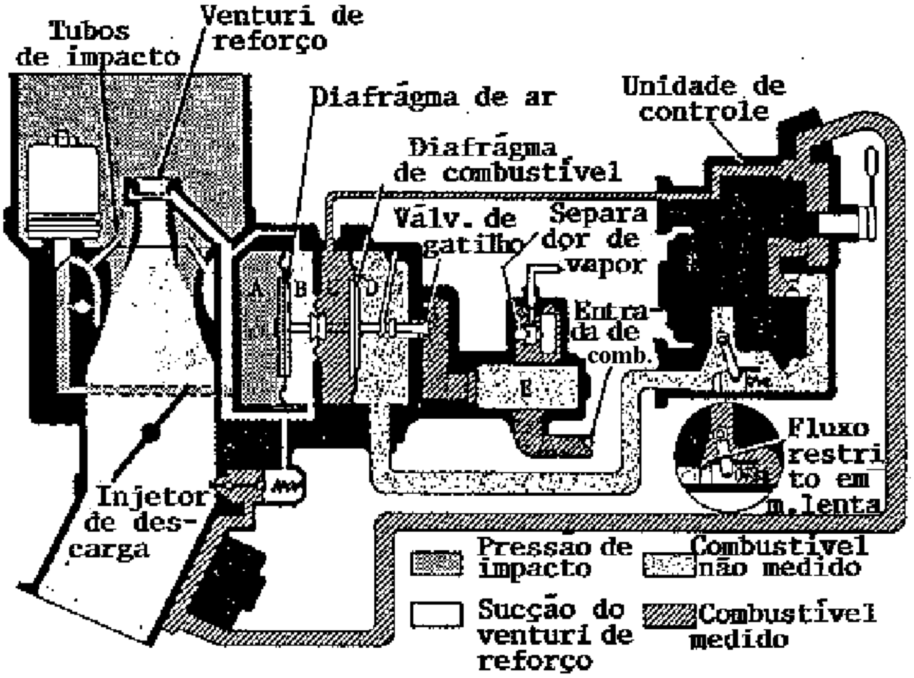

Tubos de impacto
Venturi de reforço
Diafrágma de ar
Unidade de controle
Diafrágma de combustível
Válv. de gatilho
Separador de vapor
Entrada de comb.
A
B
C
D
E
Fluxo restrito em m.lenta
Injetor de descarga
Pressão de impacto
Combustível não medido
Sucção do venturi de reforço
Combustível medido

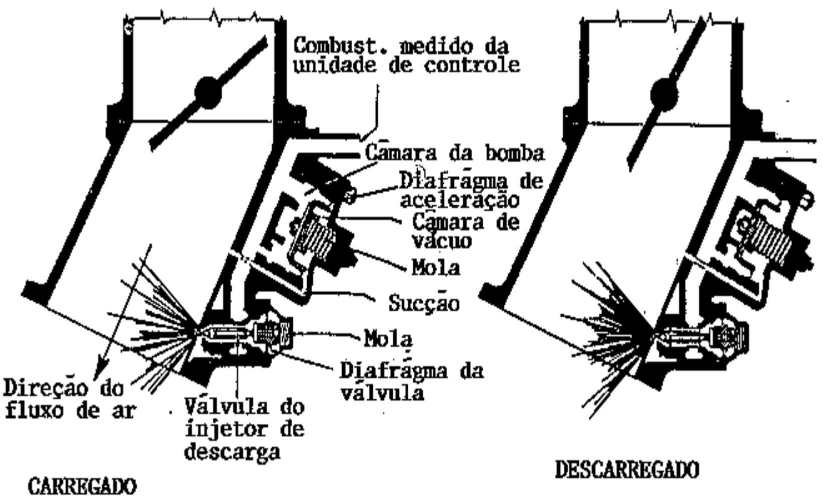
Figura 3-23 Representação esquemática de um carburador de injeção de pressão, série PD.

Em vez disso, a mola de lenta na câmara "D" segura a válvula pistão (POPPET) fechada sobre a sede, para admitir combustível da entrada do carburador durante as operações em velocidades lentas. O encarte na figura 3-23 mostra como a válvula de lenta mede o combustível da câmara "D" para o injetor de descarga. A válvula é conectada para a haste aceleradora, da mesma maneira que ela regula o fluxo de combustível durante os primeiros poucos graus de abertura do acelerador.

Nas altas velocidades, a válvula é retirada da passagem de combustível e não temos o efeito de medição.

Sistema de aceleração

A bomba de aceleração é inteiramente automática em operação. Na ilustração da figura 3-24, nota-se que a passagem de vácuo conecta a câmara da bomba de vácuo com a passagem de ar do lado da válvula aceleradora do motor.


Combust. medido da unidade de controle
Câmara da bomba
Diafrágma de aceleração
Câmara de vácuo
Mola
Sucção
Mola
Diafrágma da válvula
Direção do fluxo de ar
Válvula do injetor de descarga

CARREGADO

DESCARREGADO

Figura 3-24 Bomba de aceleração de simples diafragma.

A pressão de ar no lado do motor da válvula de aceleração varia com a posição do acelerador. Quando o acelerador está perto de fechar e, restringindo o fluxo de ar para o motor, a pressão é baixa devido a sucção do pistão. No desenho esquerdo, o acelerador está perto da posição fechada, e, como resultado, a baixa pressão na câmara de vácuo causará ao diafragma mover-se para a direita. Isto comprime a mola e armazena o combustível do lado esquerdo do diafragma.

Quando o acelerador é aberto, a pressão no lado do motor da válvula aceleradora aumenta. Como resultado, a baixa pressão na câmara de vácuo é perdida, e a mola move o diafragma para a esquerda, descarregando o combustível armazenado durante o ajuste de baixa do acelerador. Esse combustível é adicionado para que o sistema principal de medição compense o súbito aumento no fluxo de ar e forneça uma aceleração uniforme.

Sistema de controle de mistura

O sistema de controle de mistura contém unidades operadas automatica e manualmente.

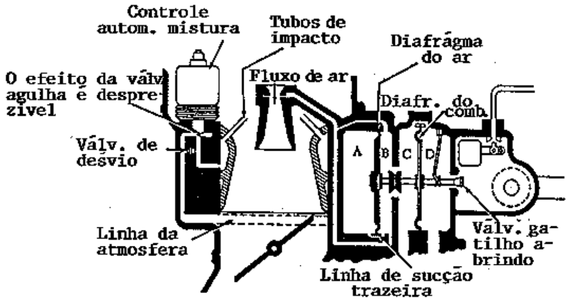
O controle automático de mistura varia a pressão do ar na câmara "A" para compensar as mudanças na densidade do ar. O controle manual de mistura fornece para seleção a razão combustível/ar adequada para as condições operacionais do motor.

O controle automático de mistura contém cápsulas metálicas seladas, que respondem as mudanças na pressão e temperaturas. Quando a densidade do ar muda, a expansão e contração da cápsula move a agulha na linha da atmosfera.

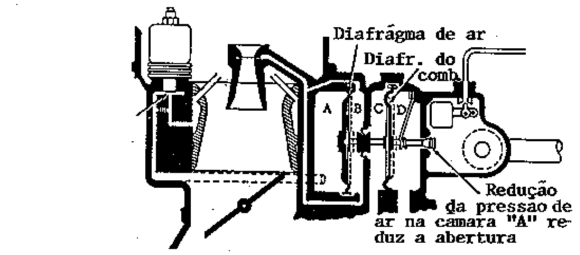
Ao nível do mar, a cápsula se contrai e a agulha é retirada da passagem atmosférica. Ver a figura 3-25 na condição ao nível do mar. Quando o avião sobe e a pressão atmosférica diminui, a cápsula expande, inserindo a válvula agulha na passagem atmosférica, restringindo o fluxo de ar para a camara "A". Ao mesmo tempo, o ar vaza lentamente da câmara "A" para a câmara "B" através de uma pequena sangria.

Portanto, quando a agulha restringe o fluxo do ar, para dentro da câmara "A", a pressão no lado esquerdo do diafragma de ar diminui, e como resultado, a válvula "POPPET" (Pistão) move-se de sua sede, reduzindo o fluxo de combustível para compensar o decréscimo na densidade do ar.

Na ilustração do controle manual de mistura, figura 3-23, nota-se que o combustível entra na unidade de controle da câmara "D", passa através deste, e sai para o injetor de descarga. O caminho do combustível através da unidade de controle é determinado pela válvula tipo folha de trevo. O disco móvel desta válvula é girado da cabine de comando através da manete de controle de mistura, que é ligada a manete no carburador.


Controle autom. mistura
Tubos de impacto
Diafrágma do ar
O efeito da válv agulha é desprezível
Fluxo de ar
Diafr. do comb.
Válv. de desvio
A
B
C
D
Linha da atmosfera
Válv. gatilho abrindo
Linha de sucção trazeira

Ao nível do mar


Diafrágma de ar
Diafr. do comb.
A
B
C
D
Redução da pressão de ar na camara "A" reduz a abertura

Em altitude

Figura 3-25 Sistema de controle automático da mistura.

A posição que o disco móvel assume quando o controle na cabine de comando é ajustado para auto-pobre é mostrada na figura 3-26. Nota-se a grande abertura no disco fixo que é parcialmente descoberto. Isto permite que o combustível liberado para a unidade de controle da câmara "D" passe através do jato medido auto-pobre, o canal auto-pobre, e a abertura no disco fixo para dentro da linha de descarga.

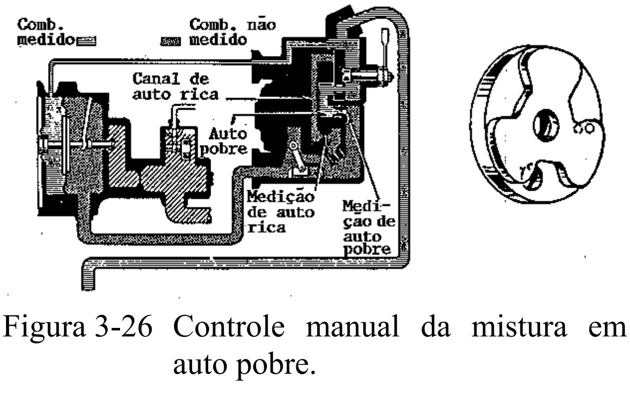

Comb. medido
Comb. não medido
Canal de auto rica
Auto pobre
Medição de auto rica
Medição de auto pobre

Figura 3-26 Controle manual da mistura em auto pobre.

A razão do fluxo depende do tamanho do jato e da pressão do combustível da câmara "D". A válvula tipo folha de trevo não faz o efeito de medição desde que a abertura no disco fixo seja maior do que o jato de medição.

Na figura 3-27 nota-se que, no ajuste de "AUTO-RICH", o disco móvel não cobre duas aberturas adicionais no disco fixo. O combustível, então, flui para dentro da linha de descarga através de ambos os jatos, automático pobre e automático rico. Portanto, para cada pressão, o fluxo de combustível aumenta e enriquece a mistura fornecida para o motor.

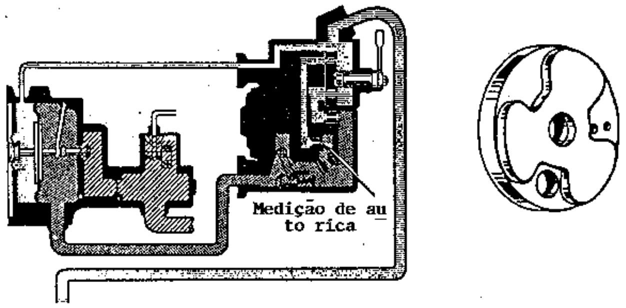


Figura 3-27 Controle manual de mistura ajuste "auto-rich".

Em todos os ajustes de misturas, a posição do disco móvel determina quais jatos deverão medir o combustível. A descarga de combustível depende do tamanho e número de jatos, através do qual o combustível pode passar, e na pressão do combustível que é determinada pela queda de pressão no venturi do carburador.

Nos ajustes de "AUTO-LEAN" e "AUTO-RICH" do controle manual de mistura, o controle automático varia a pressão de combustível com as trocas na densidade do ar. Portanto, durante a operação "AUTO-LEAN" e "AUTO-RICH", a razão de descarga do combustível depende de três (03) fatores: (1) o volume do fluxo de ar através do venturi, (2) a densidade do ar, e (3) do ajuste do controle manual de mistura.

Sistema de corte de marcha lenta

Ao parar o motor, a manete de controle manual de mistura na cabine de comando deve ser colocada em corte de lenta (IDLE CUT OFF). Isto gira a válvula tipo folha de trevo para a posição correspondente. Como mostrado na figura 3-28, o disco móvel cobre todas as aberturas, cortando completamente a descarga de combustível.

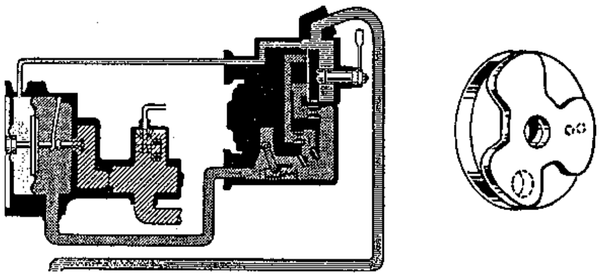


Figura 3-28 Corte de lenta no controle de mistura manual.

Sistema de enriquecimento de potência

O sistema de enriquecimento de potência está ilustrado na figura 3-29.

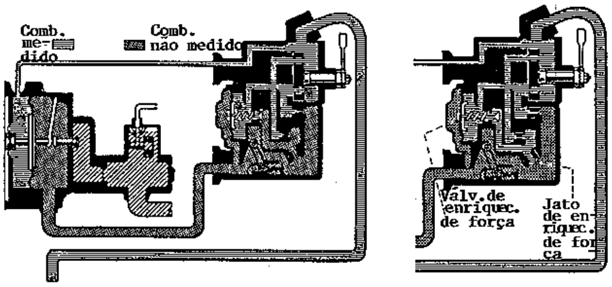


Figura 3-29 Sistema de enriquecimento de potência.

Nota-se que a válvula de enriquecimento de potência é operada por diafragma. A câmara da esquerda do diafragma é conectada a câmara "D". A passagem conecta a câmara da direita com o canal de empobrecimento automático. Portanto, a pressão do combustível medido (a pressão no injetor de descarga e na câmara "C"), atua no lado direito do diafragma.

Nas baixas velocidades do motor, a pressão do combustível medido mais a força da mola segura a válvula em sua sede. Como a válvula "POPPET" (Pistão) abre mais nas altas velocidades do motor, a pressão na câmara "D" aumenta. Quando esta pressão, atuando no lado esquerdo do diafragma, é alta o suficiente para vencer as forças combinadas da mola e da pressão do combustível medido, a válvula de enriquecimento de potência abre. Nota-se, então, o aumento do fluxo de combustível no injetor de descarga, para fornecer uma mistura rica à operação em alta potência de saída.

CARBURADORES SÉRIES PS "STROMBERG"

O carburador série "PS" é de baixa pressão, cuba simples, carburador tipo injeção.

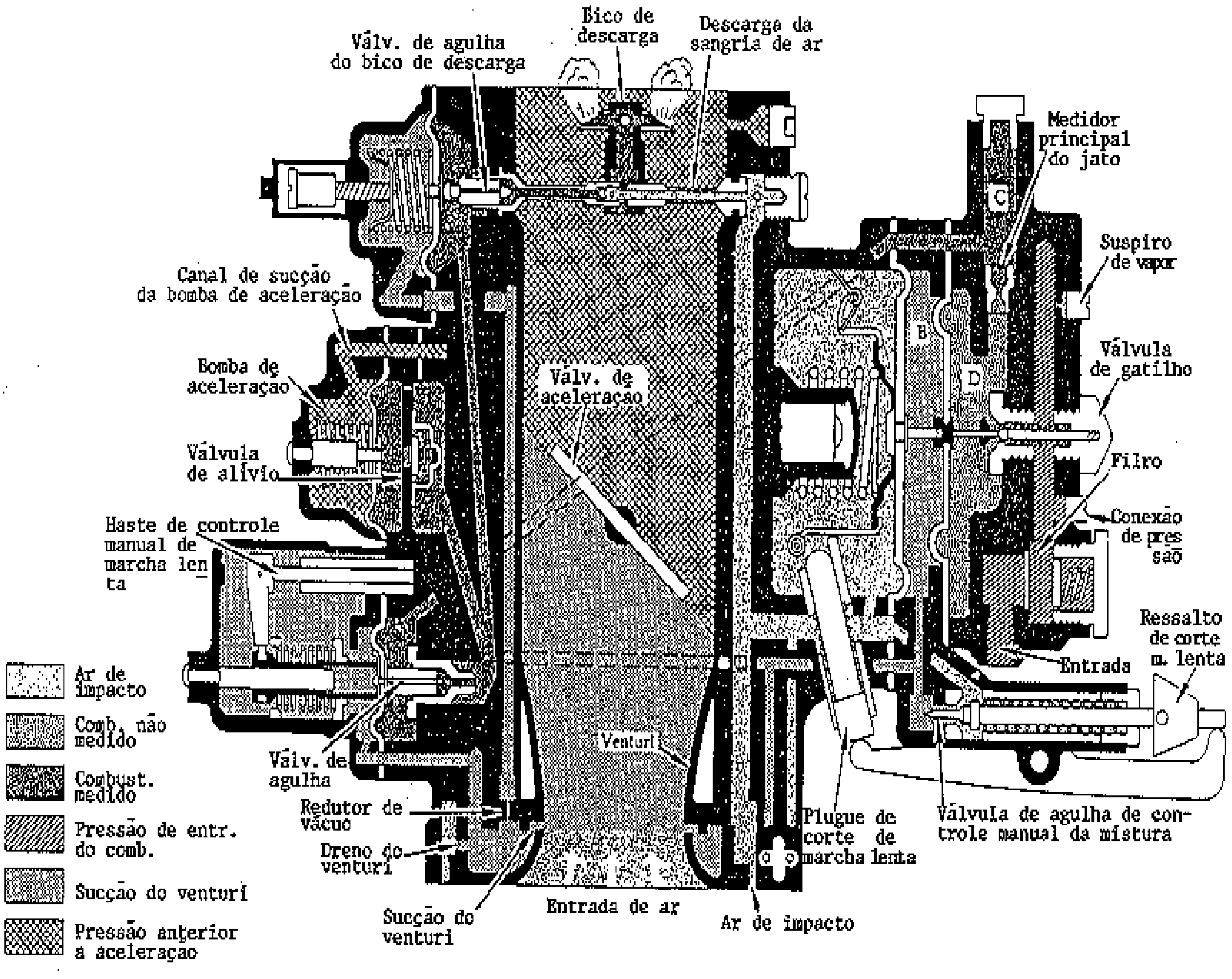
O carburador consiste, basicamente, de uma seção de ar, seção de combustível e o injetor de descarga; todos montados juntos para formar um completo sistema de medição de combustível. Este carburador é similar ao tipo pressão-injeção; por esse motivo, os princípios operacionais são os mesmos.

Neste tipo de carburador (Figura 3-30) a medição é executada na base da massa do fluxo de ar. O ar fluindo através do venturi principal cria uma sucção na garganta do venturi que é transmitida para a câmara "B", na parte principal reguladora do carburador, e para o lado de ventilação do diafragma do injetor de descarga. A pressão de ar que chega é transmitida para a câmara "A" da parte de regulagem do carburador e para a descarga de sangria principal no jato de descarga principal de combustível.

O injetor de descarga consiste em um diafragma carregado por mola (*SPRING-LOADED*), conectado a válvula injetora de descarga, que controla o fluxo do combustível injetado no jato de descarga principal.

Aqui, ele é misturado com ar para executar a distribuição e a atomização da massa de ar que entra no motor.

Nos carburadores série PS, como nos carburadores de pressão-injeção, a mola do regulador tem uma tensão fixa, que tenderá a manter a válvula "POPPET" (Pistão) aberta durante as velocidades de lenta, ou até a pressão da câmara "D" equalizar aproximadamente 4 P.S.I.



Bico de descarga
Descarga da sangria de ar
Válv. de agulha do bico de descarga
Medidor principal do jato
C
Suspiro de vapor
Canal de sucção da bomba de aceleração
B
D
Válvula de gatilho
Bomba de aceleração
Válv. de aceleração
Filro
Válvula de alívio
Conexão de pressão
Haste de controle manual de marcha lenta
Ressalto de corte m. lenta
Entrada
Ar de impacto
Comb. não medido
Combust. medido
Pressão de entr. do comb.
Sucção do venturi
Pressão anterior a aceleração
Venturi
Válv. de agulha
Redutor de vácuo
Dreno do venturi
Sucção do venturi
Entrada de ar
Ar de impacto
Plugue de corte de marcha lenta
Válvula de agulha de controle manual da mistura

Figura 3-30 Diagrama esquemático de um carburador da série PS.

A mola do injetor de descarga possui um ajuste variável que, quando ajustado para manter 4 P.S.I., resultará na condição de balanceamento de pressão de 4 P.S.I. na câmara "C" do conjunto do injetor de descarga, e 4 P.S.I. na câmara "D". Isto produz uma queda zero através dos jatos principais com fluxo zero de combustível.

No fluxo de ar obtido, se a sucção criada pelo venturi é equivalente a um quarto de libra (1/4 POUND), este decréscimo de pressão é transmitido para a câmara "B" e para o lado de ventilação do injetor de descarga.

Desde que a área do diafragma de ar entre as câmaras "A" e "B" sejam duas vezes a grandeza que existe entre as câmaras "B" e "D"; e a redução de l/4 de libra de pressão na câmara "B" deva mover o conjunto do diafragma para a direita, abrindo a válvula "POPPET". Entretanto, a redução de pressão no lado da ventilação do conjunto injetor de descarga causará a redução da pressão total de 4 LBS para 3 3/4 LBS.

A maior pressão do combustível medido (4 l/4 LBS) resulta num diferencial através da cabeça de medição de um quarto de libra (por um quarto de libra de pressão diferencial criado pelo venturi).

A mesma razão da queda de pressão através do jato para a sucção do venturi aplicar-se-á durante toda sua extensão. Qualquer aumento ou diminuição na pressão de entrada de combustível tenderá a perturbar o balanceamento nas várias câmaras, da maneira já descrita.

Quando isto ocorre, o conjunto do diafragma no regulador principal de combustível reposiciona-se para reestabelecer o balanceamento.

O controle de mistura, se operado manual ou automaticamente, compensa o enriquecimento em altitudes através da sangria de pressão do ar de impacto dentro da câmara "B", desse modo, aumentando a pressão (diminuindo a sucção) na câmara "B".

O aumento da pressão na câmara "B" tende a mover o diafragma e a válvula "POPPET" em direção da posição fechada, desse modo, restringindo o fluxo de combustível para corresponder proporcionalmente a diminuição da densidade do ar na altitude.

A válvula de lenta e o jato economizador podem ser combinados em um conjunto. A unidade é controlada manualmente pelo movimento do conjunto da válvula.

Nas posições de baixo fluxo de ar, a seção delgada da válvula converte-se no jato predominante do sistema, controlando o fluxo de combustível para o regime de lenta.

Como a válvula se move para a posição de Cruzeiro, uma seção reta na válvula estabelece um orifício fixo, cujo efeito controla a mistura de Cruzeiro.

Quando a válvula é colocada totalmente aberta (*FULL-OPEN*) pela válvula aceleradora, o jato é puxado completamente para fora da sede, e o tamanho da sede torna-se o controlador do jato. Este jato é calibrado para misturas de potência (*TAKE OFF POWER*) e decolagem.

Uma válvula de enriquecimento de potência controlada por fluxo de ar pode também ser usada com este carburador. Isto consiste de uma mola tensionada, e uma válvula de medição operada por diafragma. Referência a figura 3-31 para uma vista esquemática de uma válvula de enriquecimento de potência tipo fluxo de ar.

Um lado do diafragma está exposto a pressão do combustível não medido e, o outro lado, para a sucção do venturi mais a tensão da mola.

Quando a pressão diferencial ao redor do diafragma estabelece uma grande força suficiente para comprimir a mola, a válvula deverá abrir e suprir um volume adicional de combustível para o circuito, medido em adição ao combustível suprido pelo jato principal de medição.

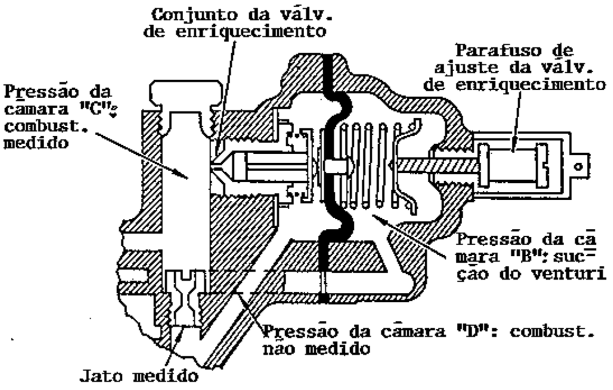

Conjunto da válv. de enriquecimento
Parafuso de ajuste da válv. de enriquecimento
Pressão da camara "C": combust. medido
Pressão da câmara "B": sucção do venturi
Pressão da câmara "D": combust. não medido
Jato medido

Figura 3-31 Válvula de enriquecimento de potência tipo fluxo de ar.

Bomba de aceleração

A bomba de aceleração é um conjunto de diafragma carregado por mola (*SPRING-LOADED*), localizado no canal de medição do combustível com o lado oposto do diafragma ventilado para o lado do motor da válvula aceleradora.

Com este arranjo, a abertura da válvula aceleradora resulta na rápida diminuição da sucção. Esta diminuição permite que a mola estenda e mova o diafragma da bomba de aceleração. A ação do diafragma e da mola desloca o combustível na bomba de aceleração, forçando-o para fora do injetor de descarga.

O vapor é eliminado da parte superior do combustível principal na câmara "D" através de um furo de sangria, então, através de uma linha de ventilação retorna para o tanque principal de combustível do avião.

Controle manual de mistura

O controle manual de mistura fornece um meio de correção do enriquecimento em altitude. Ele consiste de uma válvula de agulha e a sede, que formam uma sangria ajustável entre a câmara "A" e a câmara "B". A válvula pode ser ajustada para fechar a sangria da sucção do venturi, mantendo a correta razão combustível/ar quando o avião ganha altitude.

Quando a manete de controle de mistura é movida para a posição *"IDLE CUT OFF*", um ressalto (CAM) na haste atua o "braço embalador" (ROCKER ARM), que move o pistão interno de corte de lenta contra a manete livre na câmara "A". A manete comprime a mola do diafragma do regulador para aliviar toda a tensão do diafragma entre as câmaras "A" e "B". Isto permite que a pressão de combustível mais a força da mola da válvula "POPPET" forçe para fechar a válvula "POPPET", parando o fluxo de combustível. Colocando a manete de controle de mistura em corte de lenta "IDLE CUT OFF", também posiciona a válvula de controle de mistura para fechado ("OFF") em sua sede, e permite medir a sucção com a sangria do carburador fechada (BLEED OFF).

SISTEMAS DE INJEÇÃO DIRETA DE COMBUSTÍVEL

O sistema de injeção direta de combustível possui muitas vantagens sobre o sistema convencional de carburador. Há menos perigo de formação de gelo, desde que a queda na temperatura devido a vaporização do combustível tenha lugar no/ou perto do cilindro.

A aceleração é também melhorada por causa da ação positiva do sistema de injeção. Em adição, a injeção direta de combustível melhora a distribuição de combustível, reduzindo o superaquecimento dos cilindros, frequentemente causado pela variação na mistura devido a distribuição desigual.

O sistema de injeção de combustível também proporciona uma melhor economia de combustível do que um sistema em que a mistura, para a maioria dos cilindros, deva ser mais rica do que a necessária para aquele cilindro com mistura mais pobre, que operará mais apropriadamente.

Os sistemas de injeção de combustível variam em seus detalhes de construção, disposição e operação. Os sistemas de injeção de combustível BENDIX e CONTINENTAL serão discutidos nesta seção. Eles serão descritos para prover o entendimento dos princípios operacionais envolvidos. Para detalhes específicos de algum sistema, consulta-se as instruções do fabricante para o equipamento envolvido.

Sistema de injeção de combustível "Bendix"

O sistema de injeção de combustível série "BENDIX RSA" consiste de um injetor, divisor de fluxo e injetor de descarga de combustível. É um sistema de fluxo contínuo que mede o consumo do ar do motor, e usa força do fluxo de ar para controlar o fluxo de combustível para o motor.

Injetor de combustível

O conjunto do injetor de combustível consiste de: (1) uma seção de fluxo de ar; (2) uma seção reguladora; e (3) uma seção medidora de combustível. Alguns injetores de combustível são equipados com uma unidade de controle automática de mistura.

Seção de fluxo de ar

O consumo do fluxo de ar do motor é medido pela sensibilidade da pressão de impacto e pressão na garganta do venturi no corpo do acelerador. Essas pressões são ventiladas para os dois lados do diafragma de ar.

O movimento da válvula aceleradora causa a mudança no consumo de ar do motor, resultando na troca da velocidade do ar no venturi.

Quando o fluxo de ar através do motor aumenta, a pressão na esquerda do diafragma é reduzida (Figura 3-32) devido a queda de pressão na garganta do venturi.Como resultado, o diafragma move-se para a esquerda, abrindo a válvula de esfera. Esta pressão diferencial é referida como força de medição de ar.

Seção reguladora

A seção reguladora consiste de um diafragma de combustível que se opõe a força de medição de ar.

A pressão de entrada do combustível é aplicada em um dos lados do diafragma de combustível; e a pressão medida do combustível é aplicada no outro lado. A pressão diferencial em torno do diafragma de combustível é chamada de força de medição do combustível.

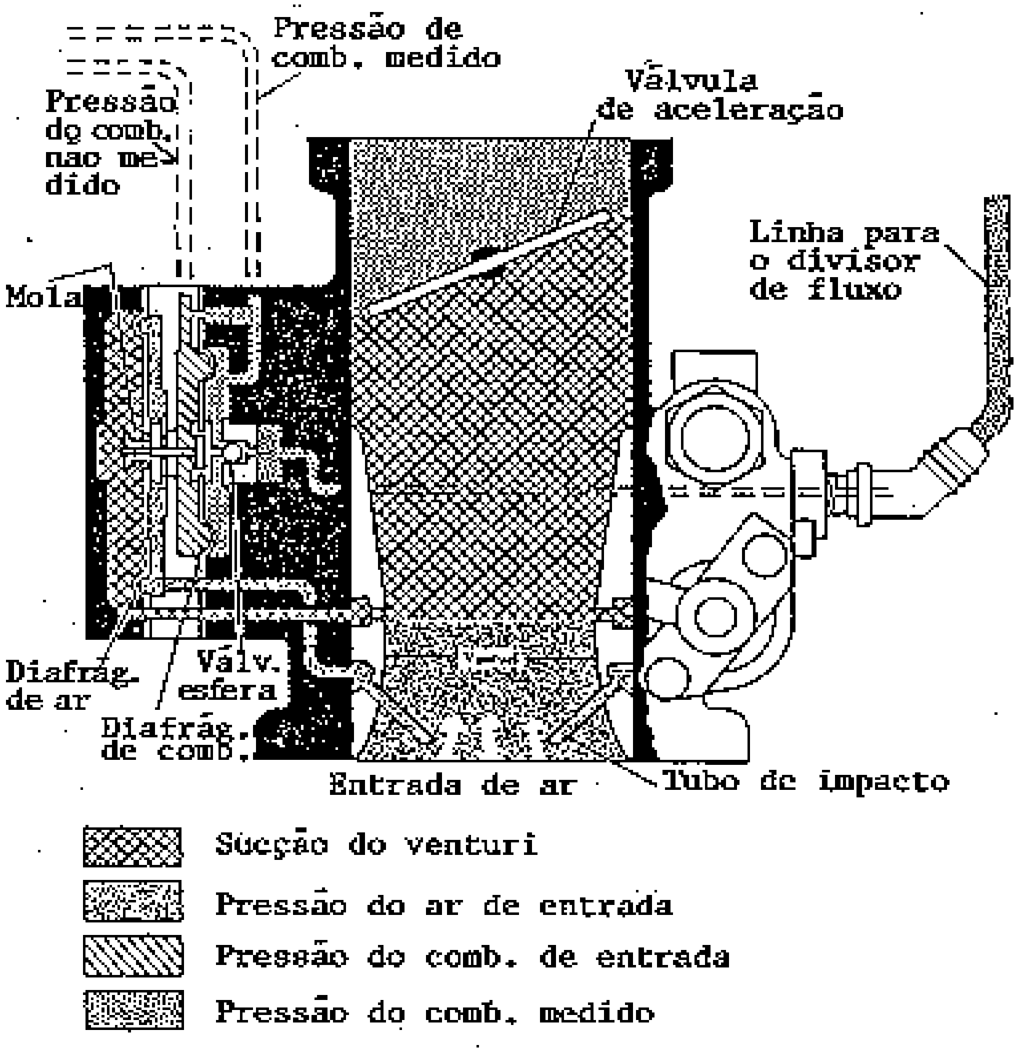

Pressão de comb. medido
Pressão do comb. nao medido
Válvula de aceleração
Linha para o divisor de fluxo
Mola
Diafrág. de ar
Válv. esfera
Diafrág. de comb.
Entrada de ar
Tubo de impacto
Sucção do venturi
Pressão do ar de entrada
Pressão do comb. de entrada
Pressão do comb. medido

Figura 3-32 Seção de fluxo de ar do injetor de combustível.

A distância de abertura da válvula de esfera é determinada pela diferença entre a pressão atuante nos diafragmas. Essa diferença na pressão é proporcional para o fluxo de ar através do injetor. Portanto, o volume do fluxo de ar determina a razão do fluxo de combustível.

Sob baixos ajustes de potência, a diferença na pressão criada pelo venturi é insuficiente para acomodar uma regulagem consistente do combustível. Uma determinada mola de retenção de marcha lenta (CONSTANT-HEAD IDLE SPRING) é incorporada para manter uma pressão diferencial constante de combustível. Isto permite um fluxo final adequado no regime de lenta.

Seção de medição de combustível

A seção de medição de combustível, mostrada na figura 3-33, é fixada na seção de medição de ar, contendo um filtro de entrada de combustível, uma válvula de controle manual de mistura, uma válvula de lenta e o jato principal medidor.

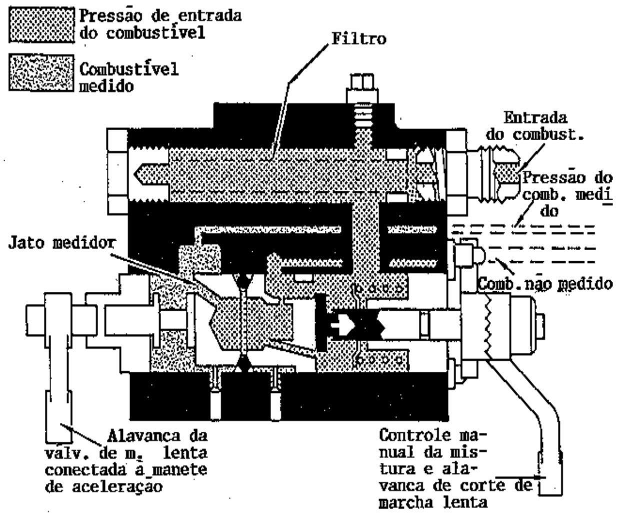

Pressão de entrada do combustível
Combustível medido
Filtro
Entrada do combust.
Pressão do comb. medido
Jato medidor
Comb. não medido
Alavanca da válv. de m. lenta conectada à manete de aceleração
Controle manual da mistura e alavanca de corte de marcha lenta

Figura 3-33 Seção de medição de combustível do injetor.

Em alguns modelos de injetores, o jato de enriquecimento de força está também localizado nesta seção. O propósito da seção de medição de combustível é medir e controlar o fluxo de combustível para o divisor de fluxo.

Divisor de fluxo

O combustível medido é liberado da unidade de controle para o divisor de fluxo pressurizado. Essa unidade mantém o combustível medido sob pressão, divide-o para os vários cilindros em todas as velocidades do motor, e corta (desliga) as linhas individuais dos injetores quando o controle é colocado em corte de lenta (IDLE CUT OFF) .

Com referência ao diagrama esquemático na figura 3-34, a pressão do combustível medido entra no divisor de fluxo através do canal que permite ao combustível passar no diâmetro interno da agulha do divisor de fluxo.

Na velocidade lenta, a pressão do combustível do regulador deve aumentar para superar a força da mola aplicada ao diafragma e ao conjunto da válvula. Isto move a válvula para cima até o combustível poder passar através do "anular" da válvula para o injetor de combustível. Desde que o regulador meça e libere uma quantidade fixa de combustível para o divisor de fluxo, a válvula deverá abrir apenas o necessário para passar a quantidade aos injetores. Em lenta, a abertura requerida é muito pequena; portanto, o combustível para os cilindros individuais são divididos em lenta pelo divisor de fluxo.

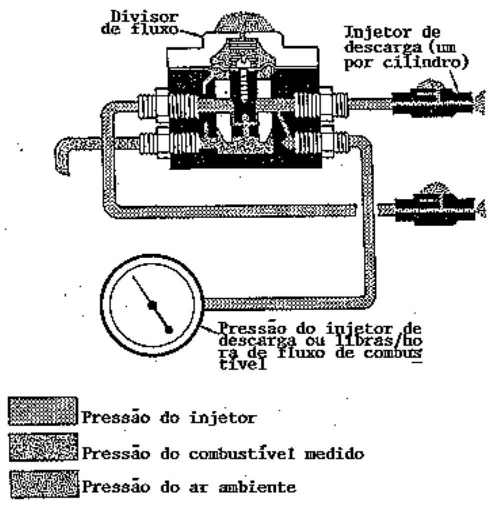

Divisor de fluxo
Injetor de descarga (um por cilindro)
Pressão do injetor de descarga ou libras/hora de fluxo de combustível
Pressão do injetor
Pressão do combustível medido
Pressão do ar ambiente

Figura 3-34 Divisor de fluxo.

Como o fluxo de combustível através do regulador é aumentado acima dos requisitos de lenta, a pressão é aumentada nas linhas dos injetores. Essa pressão abre totalmente a válvula divisora de fluxo, e a distribuição de combustível para o motor torna-se função dos injetores de descarga.

O manômetro de pressão, calibrado em libras-por-hora de fluxo de combustível pode ser usado como medidor de fluxo de combustível, com o sistema de injeção do "BENDIX RSA". Esse manômetro é conectado ao divisor de fluxo, sentindo a pressão sendo aplicada no injetor de descarga. Essa pressão é diretamente proporcional ao fluxo de combustível, e indica a potência de saída do motor e o consumo de combustível.

Injetores de descarga de combustível

Os injetores de descarga de combustível (figura 3-34) são de configuração sangria de ar. Há um (01) injetor para cada cilindro, localizado na cabeça do cilindro. O injetor de saída é direcionado para o porte de admissão. Cada injetor incorpora um jato calibrado.

O tamanho do jato é determinado pela pressão de entrada do combustível disponível e pelo fluxo máximo de combustível requerido pelo motor. O combustível é descarregado para dentro de um ambiente nas câmaras de pressão de ar dentro do conjunto injetor. Antes de entrar na válvula individual de admissão da câmara, o combustível é misturado com ar para ajudar na atomização do combustível.

Sistema de injeção de combustível Continental

O sistema de injeção de combustível Continental injeta combustível diretamente no porte da válvula de admissão na cabeça de cada cilindro.

O sistema consiste de uma bomba injetora de combustível, uma unidade de controle, um duto e um injetor de descarga de combustível; ele é do tipo fluxo contínuo, que controla o fluxo de combustível para se igualar ao fluxo de ar do motor.

O sistema fluxo contínuo permite o uso de uma bomba tipo palheta rotativa, que não necessita de sincronização (regulagem) com o motor.

Bomba de injeção de combustível

A bomba de combustível é de deslocamento positivo, tipo palheta rotativa, com um eixo fusível para conexão com o sistema de acionamento de acessórios do motor. É adicionada uma válvula de alívio tipo diafragma, carregada por mola (*SPRING-LOADED*). A câmara da válvula de alívio tipo diafragma é ventilada para a pressão atmosférica. A vista seccional de uma bomba de injeção de combustível é mostrada na figura 3-35.

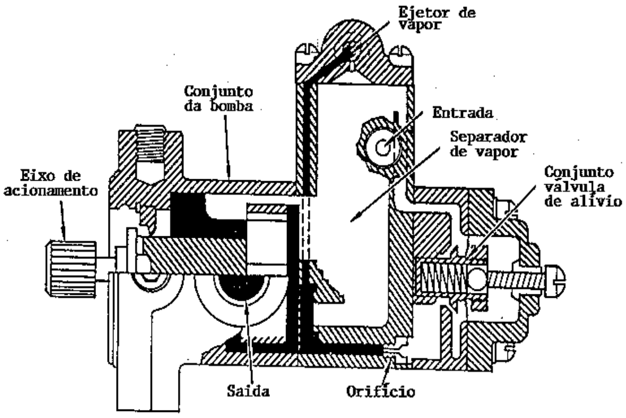


Figura 3-35 Bomba de injeção de combustível.

O combustível entra na roda em espiral do separador de vapor. Aqui o vapor é separado pelo movimento espiral até que, apenas o combustível líquido, seja liberado para a bomba.

O vapor é puxado para a parte superior do centro da roda espiral por uma pequena pressão do jato de combustível, e direcionado para a linha de retorno de vapor. Esta linha carrega o vapor de volta para o tanque de combustível.

Ignorando o efeito da altitude ou condições do ar ambiente, o uso da descarga positiva, na bomba acionada pelo motor, significa que trocas na velocidade do motor afetam o fluxo total da bomba proporcionalmente.

Desde que a bomba tenha maior capacidade do que a necessária para o motor, a recirculação interna é necessária. Pelo arranjo de um orifício calibrado e uma válvula de alívio no caminho (curso), a pressão liberada pela bomba é também mantida na proporção de velocidade do motor. Estas provisões asseguram uma pressão adequada, e liberam combustível para todas as velocidades operacionais do motor.

Uma válvula unidirecional (*CHECK VALVE*) é usada para que a pressão da bomba "*BOOST*", para o sistema possa derivar (*BYPASS*) a bomba acionada pelo motor para a partida.

Esta característica também suprime a formação de vapor sobre altas temperaturas ambientes do combustível. Além disso, permite o uso de uma bomba auxiliar como fonte de pressão de combustível no caso de eventual falha da bomba acionada pelo motor.

Unidade de controle combustível/ar

A função do conjunto de controle de combustível/ar é controlar o ar de admissão do motor, e ajustar a pressão de combustível medido para a adequada razão combustível/ar. Esta unidade está montada no duto de entrada; e, sua válvula borboleta, posicionada através do controle de aceleração no avião, controla o fluxo de ar para o motor (Veja a figura 3-36).

O conjunto desta unidade é fundido em alumínio que contém o eixo e um conjunto de válvula borboleta. O tamanho do furo de fundição é projetado para o tamanho do motor, e não é usado venturi ou outra restrição.

Conjunto de controle de combustível

O corpo do controle de combustível é feito em bronze para melhor ação de rolamento com as válvulas de aço inoxidável.

Sua furação central contém uma válvula medidora em uma extremidade e uma válvula de controle de mistura na outra extremidade. Cada válvula rotativa de aço inoxidável inclui uma ranhura que forma a câmara de combustível.

O combustível entra na unidade de controle através de um filtro e passa para a válvula medidora (Figura 3-37).

A válvula rotativa possui uma aresta de forma excêntrica na parte externa do terminal da face. A posição do excêntrico no porte de liberação do combustível controla o combustível, que é passado para a válvula do duto principal e para os injetores.

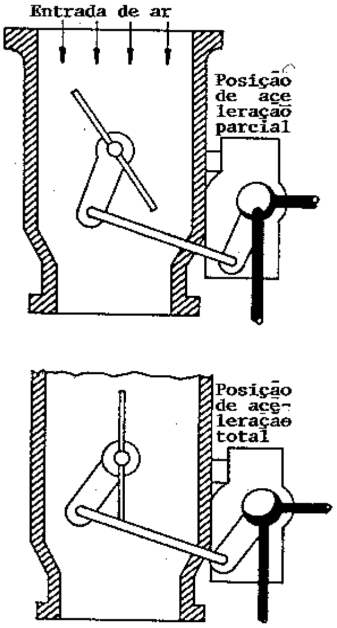

Entrada de ar
Posição de aceleração parcial
Posição de aceleração total

Figura 3-36 Unidade de controle combustível / ar.

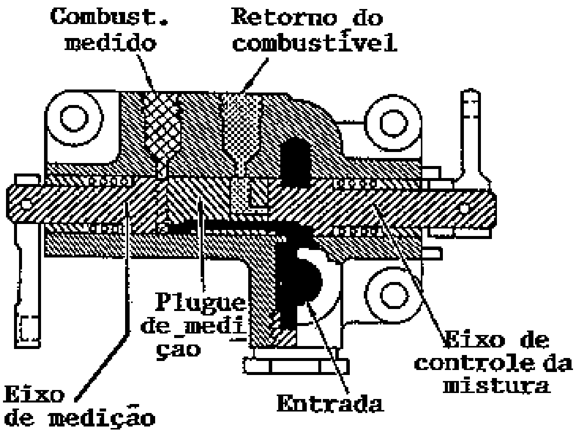

Combust. medido
Retorno do combustível
Plugue de medição
Eixo de medição
Entrada
Eixo de controle da mistura

Figura 3-37 Conjunto de controle de combustível.

O porte de retorno de combustível é conectado à passagem de retorno do centro do plugue medidor. O alinhamento da válvula de controle de mistura com esta passagem determina o montante do combustível, que será retornado para a bomba. Através da conexão da válvula medidora com o ar de aceleração, o fluxo próprio de combustível é proporcional ao fluxo de ar para a correta razão combustível/ar.

O controle de nível é montado no eixo da válvula de controle de mistura, e conectado ao controle de mistura na cabine de comando.

Válvula do duto principal de combustível

A válvula do duto principal de combustível (Figura 3-38) contém uma entrada de combustível, uma câmara diafragma e portes de saída para as linhas dos injetores individuais.

Um diafragma carregado por mola opera a válvula no orifício central do corpo. A pressão de combustível fornece a força para mover o diafragma.

Quando a válvula é abaixada contra a sede sobreposta no corpo, as linhas de combustível para os cilindros são fechadas.

A válvula é furada para a passagem do combustível da câmara do diafragma para sua base, e uma válvula de esfera é instalada dentro da válvula. Toda a entrada de combustível deve passar através de uma fina tela instalada na câmara do diafragma.

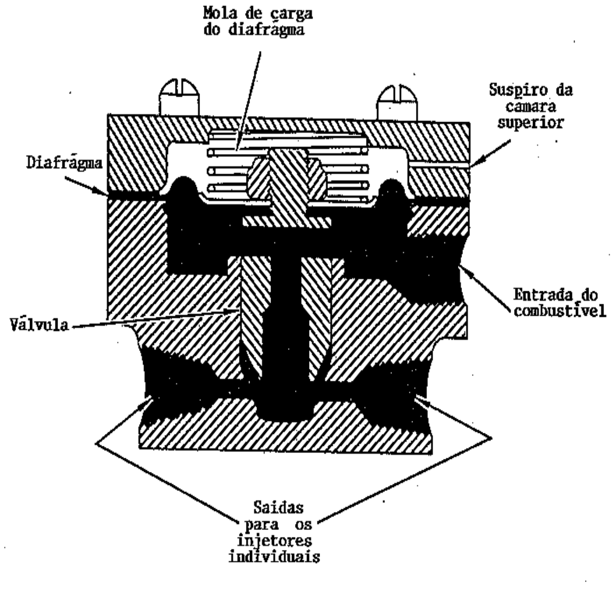

Mola de carga do diafragma
Suspiro da câmara superior
Diafragma
Entrada do combustível
Válvula
Saídas para os injetores individuais

Figura 3-38 Conjunto da válvula do duto principal de combustível.

Da válvula de controle de injeção, o combustível é liberado para a válvula do duto principal, que fornece o ponto central para a divisão do fluxo de combustível para os cilindros individuais.

Na válvula do duto principal, um diafragma levanta ou abaixa a válvula de imersão para abrir ou fechar, simultaneamente, os portes de suprimento de combustível para cada cilindro.

Injetores de descarga de combustível

Os injetores de descarga de combustível estão localizados na cabeça do cilindro, com sua saída direcionada para o porte de entrada. O corpo do injetor, ilustrado na figura 3-39, contém um orifício central de passagem com um corpo rebaixado em cada extremidade.

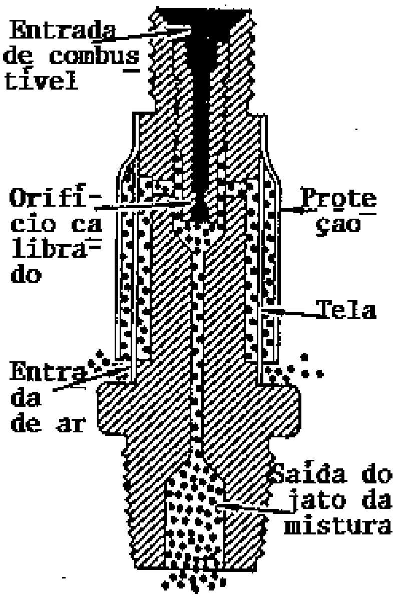


Figura 3-39 Injetor de descarga de combustível.

A extremidade inferior é usada como câmara para a mistura do combustível/ar antes da atomização chegar ao injetor. O corpo superior contém um orifício removível para calibragem dos injetores.

Os injetores são calibrados em várias faixas e, todos os injetores fornecidos para um motor, têm o mesmo ajuste e são identificados por uma letra estampada no sextavado do corpo do injetor.

Furos radiais de passagem conectam a parte superior alargada com a saída do corpo do injetor. Esses furos entram no corpo rebaixado acima do orifício e puxam o ar através de uma tela cilíndrica, fixada ao redor do corpo do injetor.

Uma proteção é fixada por pressão no corpo do injetor, e se estende ao redor da maior parte da tela do filtro, mantendo aberto próxima ao topo. Isto proporciona tanto proteções mecânicas como trocas repentinas na direção do fluxo do ar e, assim, mantém a sujeira e o material estranho fora do injetor.

MANUTENÇÃO DE CARBURADORES

Os procedimentos de remoção poderão variar, tanto com os tipos de carburador, quanto com o tipo de motor que está sendo usado. Geralmente estes procedimentos deverão ser muito parecidos, independente do tipo de carburadores. Algumas precauções gerais são discutidas abaixo.

Antes de se remover o carburador, é preciso que a válvula de corte de combustível (ou seletora) esteja fechada. Desconecta-se as hastes de controle do acelerador misturando-as, e frenando a válvula aceleradora na posição fechada.

Desconecta-se a linha de entrada de combustível e todo o retorno de vapor, indicador de pressão e linhas de partida (PRIMER LINES).

A figura 3-40 ilustra os pontos de instalação das conexões em um carburador típico. Se o mesmo carburador é para ser reinstalado, não se altere o ajuste dos controles de aceleração e mistura. Remove-se a entrada e o adaptador da entrada do ar, assim como os filtros de ar e juntas do carburador.

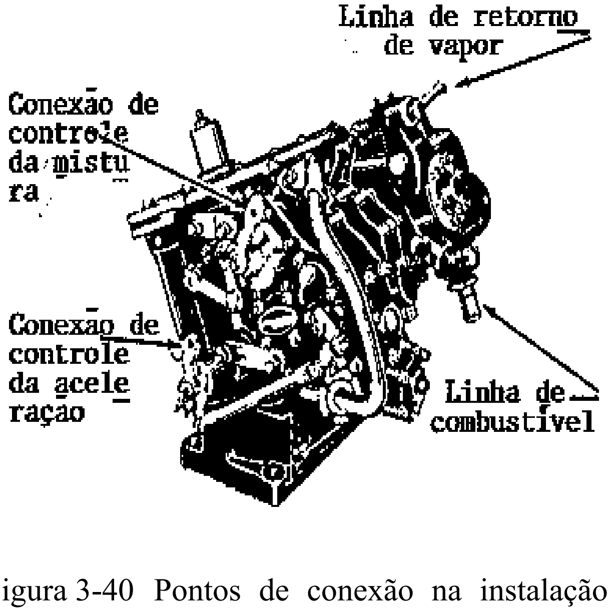

Linha de retorno de vapor
Conexão de controle da mistura
Conexão de controle da aceleração
Linha de combustível

Figura 3-40 Pontos de conexão na instalação do carburador.

As porcas e arruelas que seguram (fixam) o carburador ao motor são removidas. Quando se remove uma parte do carburador, é preciso ter a certeza de que nada caiu dentro do motor.

Remove-se o carburador, imediatamente, instala-se uma cobertura de proteção no flange de montagem do carburador para prevenir que pequenas partes ou material estranho caia dentro do motor.

Quando houver perigo de material estranho entrar nas linhas de combustível durante a instalação ou remoção do carburador, elas são cobertas com fitas.

Instalação do carburador

Verifica-se no carburador a frenagem apropriada antes da instalação no motor. Todos os tampões de transporte devem ser removidos das aberturas do carburador.

Remove-se a cobertura protetora do flange de montagem do carburador no motor, colocando a junta no flange de montagem na posição. Em alguns motores, passagens de sangria são incorporadas na espera de montagem. A junta deve ser instalada, tal que o furo de sangria, esteja alinhado com a passagem no flange de montagem.

Inspeciona-se as passagens de indução quanto a presença de qualquer corpo estranho antes da instalação do carburador.

Tão logo o carburador seja colocado na posição no motor, fecha-se e frena-se as válvulas aceleradoras na posição, até que o restante da instalação esteja completo.

Onde for praticável, o filtro do compartimento do carburador é colocado em posição para ajudar a eliminar a possibilidade de objetos estranhos entrarem no sistema de indução.

A respeito da instalação de carburador, que usa diafragmas para controlar o fluxo de combustível, conecta-se as linhas de combustível, abastecendo o carburador com combustível. Para isto, liga-se a bomba de combustível (*BOOSTER*), e move-se o controle de mistura para a posição de "*IDLE CUT OFF*".

O fluxo é contínuo, até que o combustível que flua da válvula dreno do "*SUPERCHARGER*" esteja livre de óleo. O que indica que o óleo preservativo foi eliminado do carburador.

O fluxo de combustível é desligado, a entrada e saída de ventilação do vapor são fechados, e o carburador abastecido para aguardar no mínimo 8 horas. Isto é necessário para manter os diafragmas encharcados, e devolver-lhes a flexibilidade para o grau que devem ter, quando a unidade for originalmente calibrada.

Aperta-se os parafusos de montagem do carburador com valores especificados na tabela de limite de torque conforme o manual de manutenção. Qualquer outras porcas ou parafusos que possam haver na instalação do carburador, são apertadas e frenadas antes de conectar as manetes de controle de aceleração e mistura. Após o carburador ter sido fixado no motor, verifica-se as manetes de controle de mistura e aceleração na unidade quanto a liberdade de movimento, antes de conectar os cabos ou hastes de controle.

Verifica-se as linhas de ventilação de vapor do carburador para o tanque de combustível do avião quanto a restrição por bloqueio através da linha.

Regulagem dos controles do carburador

Conecta-se e ajusta-se o carburador ou os controles de aceleração e equipamento de medição de combustível quanto ao total movimento do acelerador, que é obtido com o correspondente movimento total do controle na cabine de comando. Em adição, verifica-se e ajusta-se as hastes de controle do acelerador para que o "BATENTE-MOLA" (*SPRING-BACK*) no quadrante do acelerador no avião seja igual em ambas posições: "*FUL*L *OPEN*" e "*FULL CLOSED*". Qualquer excesso, diminuindo ou aumentando as hastes de controle ou cabos, devem ser corrigidos.

Quando da instalação de carburadores ou equipamento de medição de combustível, ajusta-se o mecanismo de controle de mistura para prover um montante igual de "BATENTE-MOLA" (*SPRINGBACK*). Em ambos os terminais do quadrante de controle "RICH" e "LEAN", na cabine de comando, quando o controle de mistura no carburador ou equipamento de medição de combustível é movido através do limite máximo.

Onde controles de mistura com batente forem usados, regula-se o mecanismo de controle para que a posição determinada no quadrante de controle no avião deva coincidir com as posições correspondentes no carburador ou equipamento de medição de combustível.

Em todas os casos verifica-se os controles adequados de posicionamento em ambas as posições "*ADVANCE*" e "*RETARD*". As folgas ou perdas nas hastes de controle ou cabos são corrigidas. Todos os controles devem estar ajustados apropriadamente para eliminar a possibilidade de perdas por vibração durante a operação.

Ajuste das misturas de marcha lenta

Excessivamente ricas ou pobres as misturas de lenta resultam em combustão imcompleta no cilindro do motor, com resultante formação de depósitos de carvão nas velas de ignição, e subsequente falha nas velas. Em adição, as excessivas misturas de lenta, ricas ou pobres, são necessárias para o táxi de velocidades de marcha lenta alta (*HIGH IDLE*), como resultante de altas velocidades de táxi, e excessivo uso dos freios. Cada motor deve ter a mistura de lenta no carburador ajustada para a instalação do motor em particular, para se obter melhor operação.

Motores que são adequadamente ajustados não terão problemas com operação de válvula, compressão de cilindro e ignição; o que concerne a mistura de lenta do carburador, manterá a lenta na RPM, descrita por indefinidos períodos sem aumento de carga, superaquecimento, ou falha de vela.

Se o motor não responder ao ajuste para a mistura de lenta com o resultado de características estáveis, de lenta previsiveis não descritas, indica que alguma outra fase de operação do motor não está correta. Em tais casos, determina-se a causa da dificuldade, corrigindo-a.

Em todas as instalações do avião, onde manômetros de pressão do duto principal são usados, haverá um fornecimento consistente da indicação de troca de força em velocidade de lenta, maior que o tacômetro. Por este motivo, o manômetro de pressão do duto principal é utilizado quando se ajusta a mistura combustível/ar de lenta. A mistura de lenta e velocidade, em todos os tipos de motores alternativos, são verificadas e ajustadas.

Os ajustes de mistura de lenta são feitos com a temperatura na cabeça do cilindro em valores normais (em torno de 150° a 170° C) e nunca com temperaturas que se aproximam da máxima permitida.

O ajuste da mistura de lenta é feito na válvula de controle de combustível de lenta. Isto não deve ser confundido com o ajuste do batente de velocidade de lenta. A importância do ajuste da mistura de lenta não pode ser supertensionado.

A operação ótima do motor em baixas velocidades pode ser obtida apenas quando a mistura combustível/ar apropriada é liberada para cada cilindro do motor. Misturas de lenta, excessivamente ricas, e a resultante combustão incompleta são responsáveis por mais falhas nas velas que qualquer outra causa simples. Misturas de lenta excessivamente pobre resultam em falhas de aceleração. Para maior ajuda, os efeitos do ajuste da mistura combustível/ar no motor melhoram a operação em limite de cruzeiro.

Em um motor que possui carburador convencional, a mistura de lenta é verificada através do empobrecimento manual da mistura com o controle de mistura na cabine de comando. Move-se o controle de mistura do carburador lenta e suavemente em direção e posição de "*IDLE CUT OFF*" ao mesmo tempo, observando o manômetro de pressão do duto principal para determinar se a pressão deste diminui antes de aumentar assim que o motor pare de funcionar. A mistura ótima é obtida quando a pressão do duto principal diminui imediatamente, precedida pelo aumento de pressão no duto principal quando o motor para de funcionar.

O montante do decréscimo deverá variar com a construção e modelo do motor e instalação. Como regra geral, o montante de pressão no duto principal deverá diminuir aproximadamente 1/4" (um quarto de polegada).

Nas instalações que não usam um manômetro no duto principal de pressão, será necessário observar o tacômetro para uma indicação de troca de RPM.

Com mais instalações, a mistura de lenta deverá ser ajustada para prover uma razão de RPM antes para diminuir, quando cortar o motor.

Este aumento de RPM deverá variar de 10 a 50 RPM, dependendo da instalação.

Seguindo o momentâneo aumento da RPM, a velocidade do motor deverá começar a cair. Imediatamente, o controle de mistura para trás ("AUTO RICO"), é movido para prevenir que o motor corte completamente.

Nos motores com injeção de combustível direta, a troca de mistura durante o empobrecimento manual com o controle de mistura é usualmente tão rápido que é impossível notar qualquer aumento momentâneo na RPM, ou diminuição da pressão no duto principal. Por este motivo, nesses motores, a mistura de lenta é ajustada ligeiramente mais pobre que a melhor tração, sendo verificada através do enriquecimento da mistura com o "PRIMER".

Para a verificação da mistura de lenta na instalação da injeção de combustível, primeiro ajusta-se o acelerador para obter a velocidade de lenta apropriada. Então, momentaneamente comprime-se a chave do "PRIMER" enquanto observa-se o tacômetro e o manômetro de pressão do duto principal. Se a mistura de lenta está correta, o combustível adicionado através do "PRIMER" deverá causar um momentâneo aumento na velocidade do motor, e uma momentânea queda na pressão do duto principal. Se o aumento na velocidade do motor, ou a diminuição da pressão no duto, exceder os limites especificados para uma instalação em particular, a mistura de lenta é muito pobre (muito pobre em relação a melhor potência). Se a RPM cair totalmente quando a mistura é enriquecida com o "PRIMER", a mistura de lenta está muito rica.

Antes de se verificar a mistura de lenta em qualquer motor, ele á aquecido até que a temperatura do óleo e da cabeça do cilindro esteja na temperatura normal.

O controle da hélice é mantido para um aumento de RPM, ajustando através do processo completo de aquecimento do motor, verificando a mistura, e fazendo o ajuste de lenta. O controle de mistura, em "AUTO-RICH" é mantido exceto pelo empobrecimento manual, requerido na verificação da mistura de lenta nos carburadores que equipam os motores.

Quando usando o "PRIMER" para verificação da mistura de lenta nos motores com injeção de combustível, simplesmente aperta-se o botão de "PRIMER"; por outro lado, um adicional muito grande de combustível deverá ser introduzido, e uma indicação satisfatória deverá ser obtida através da mistura de lenta quando ajustada para muito pobre.

Se a verificação da mistura de lenta revelar que está muito pobre ou muito rica, o fluxo de combustível de lenta é aumentado ou diminuído, como necessário.

A mistura de lenta continua sendo verificada e ajustada, até que as verificações terminem propriamente. Durante este processo, é necessário mover o batente de velocidade de lenta completamente para fora de seu curso, e manter a velocidade do motor na RPM desejada através dos meios de aceleração. Isto deverá eliminar a necessidade de frequentes reajustes do batente de lenta, assim como a mistura de lenta para melhorar e aumentar a sensibilidade da velocidade. Depois de cada ajuste, o motor é liberado para um rápido funcionamento em alta RPM. Isto evita falha das velas que, certamente, por outro lado, será causada pela mistura de lenta incorreta.

Depois do ajuste da mistura de lenta, verifica-se várias vezes para determinar definitivamente que a mistura está correta e permanece constante nas repetidas trocas de alta tração retornando para a lenta. Qualquer inconsistência de lenta no motor, antes de disponibilizar o avião para serviço, é corrigida.

Nos carburadores tipo injeção STROMBERG, e nas unidades de controle principal de injeção direta de combustível, a haste de controle de lenta, localizada entre a haste da válvula e a manete de controle de lenta no eixo do acelerador, incorpora uma bucha colocada em cada extremidade (Veja figura 3-41).

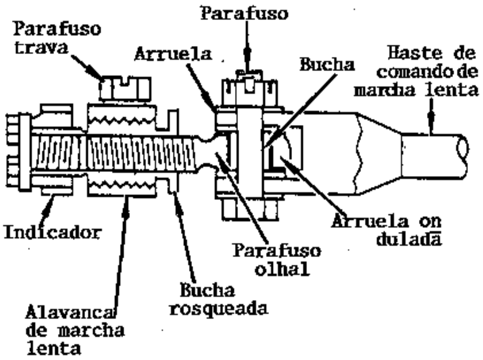


Figura 3-41 Mecanismo de ajuste da mistura em marcha lenta, dos carburadores de injeção Stromberg.

O parafuso deve estar apertado, e ter as arruelas onduladas e conjuntos de buchas. Em adição, ele não deve ter folga entre a haste e a manete. Se houver alguma folga no terminal da haste, misturas erradas poderão ocorrer.

Se a suficiente variação de mistura não pode ser obtida pelo ajuste normal de mistura de lenta na injeção do carburador STROMBERG, disconecta-se a haste do terminal da válvula de lenta pela remoção do parafuso e arruela auto frenante.

Então, para maior alteração na mistura, gira-se para fora ou para dentro (para fora para enriquecer, para dentro para empobrecer). Uma volta no parafuso equivale a 13 Nós, ou "CLICKS", no ajuste de lenta normal.

Ajuste de velocidade de marcha lenta

Depois de ajustar a mistura de lenta, o batente de "IDLE" é recomposto para a RPM de lenta, especificada no manual de manutenção do avião.

O motor deve estar aquecido e verificado quanto a um mau funcionamento do sistema de ignição.

Após terminado qualquer procedimento de ajuste no carburador, coloca-se para funcionar o motor, com aproximadamente metade da razão normal de velocidade para liberar o motor.

Alguns carburadores são equipados com parafusos excêntricos para ajuste da RPM de lenta; outros usam um parafuso carregado por mola para limitar o fechamento da válvula aceleradora.

Em ambos os casos, o ajuste do parafuso é necessário para aumentar ou diminuir a RPM, com o acelerador retardado contra o batente.

Abre-se o acelerador para liberar o motor; fecha-se o acelerador e mantém-se a RPM para estabilizar. Esta operação é repetida até que a velocidade de lenta seja obtida.

MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

A inspeção da instalação do sistema de combustível consiste basicamente de um exame do sistema em conformidade das necessidades do projeto, junto com testes funcionais para provar a correta operação.

Desde que existam consideráveis variações nos sistemas de combustível usados nos diferentes aviões, não procuraremos fazer uma descrição de nenhum sistema em detalhes. É importante que as instruções do fabricante para o avião sejam seguidas quando forem realizadas as funções de inspeção e manutenção.

Sistema completo

O sistema é inspecionado quanto ao uso, danos ou vazamentos. Todas as unidades devem estar seguramente fixadas e frenadas.

Os tampões de drenos ou válvulas do sistema de combustível devem ser abertos e verificados quanto a presença de sedimentos ou água.

O filtro e o alojamento (SUMP) devem ser também verificados quanto a sedimentos, água ou limo. Os filtros ou telas, incluindo aqueles que provêm dos medidores de fluxo e bombas auxiliares, devem estar limpos e livres de corrosão.

Os controles devem ser verificados quanto a liberdade de movimento, segurança de bloqueio e liberdade de danos devido a aquecimentos. As ventilações de combustível devem ser verificadas quanto ao correto posicionamento e liberdade quanto a obstrução; de outra maneira, o fluxo de combustível ou a pressão de combustível pode ser afetado.

Os drenos do gargalo de abastecimento devem ser verificados quanto a liberdade de obstrução.

Se as bombas "BOOSTER" estão instaladas, o sistema deve ser verificado quanto a vazamentos através da operação das bombas. Durante esta verificação, o medidor de amperagem ou medidor de carga deve ser lido, e a leitura de todas as bombas, onde aplicável, deve ser aproximadamente a mesma.

Tanques de combustível

Todos os painéis aplicáveis no revestimento, ou estrutura do avião, devem ser removidos; e os tanques devem ser inspecionados quanto a corrosão nas superfícies externas, quanto a segurança de fixação e o ajuste correto nos fixadores e cordas de fixação. Verifica-se os suportes e conexões quanto a vazamentos ou falhas.

Alguns Tanques de combustível fabricados de liga leve são equipados com cartuchos inibidores, para reduzir os efeitos da corrosão combinados e conduzidos através do combustível e da água.

Onde aplicável, o cartucho deve ser inspecionado e renovado em determinados períodos.

Linhas e fixadores

As linhas devem estar devidamente fixadas, e as porcas e braçadeiras seguramente apertadas. Para se apertar braçadeiras de mangueira com o torque apropriado, usa-se torcômetro.

Se esta ferramenta não está disponível, aperta-se a braçadeira com uma ferramenta manual. (Ref. Livro Matérias Básicas, Capítulo 5). Se a braçadeira não vedar com o torque específico, ela é substituída. Depois da instalação da nova mangueira, as braçadeiras são verificadas e apertadas, se necessário.

Quando a verificação diária pára de ceder, inspeciona-se as braçadeiras em intervalos menos frequentes.

A mangueira é substituída se a capa tiver sido separada, se ela apresentar excessiva dilatação, ou se estiver enrijecida.

Permanentes impressões da braçadeira e rachaduras no tubo, ou na cobertura de armazenamento, indicam excessiva dilatação. As mangueiras que entraram em colapso são substituídas, como resultado do desalinhamento de suportes ou linhas.

Algumas mangueiras tendem a alargar-se nas extremidades além das braçadeiras. Isto não é uma condição insatisfatória a não ser que haja vazamento.

Bolhas podem se formar na cobertura externa de borracha sintética da mangueira. Essas bolhas não afetam necessariamente o seu uso. Quando a bolha é descoberta, ela é furada logo após ser removida do avião. Se o fluido (óleo, combustível ou hidráulico) emergir do furo da bolha, condena-se a mangueira. Se apenas ar emergir, é feito um teste de pressão.

Se não ocorrer vazamento de fluido, a mangueira pode ser considerada como utilizável. Furos na cobertura externa podem permitir a entrada de elementos corrosivos, como água, que poderá atacar a fiação de cobertura e, finalmente, resultar em sua falha. Por esta razão, furação na cobertura externa da mangueira, que a expõe para os elementos, devem ser evitados.

A superfície externa da mangueira pode desenvolver pequenas rachaduras, usualmente pequenas e curtas, que são causadas pela ação do tempo na superfície. O conjunto da mangueira pode ser considerado como utilizável, desde que estas rachaduras não penetrem para a primeira lona.

Válvula seletora

Gira-se as válvulas seletoras, e verifica-se quanto a operação livre, excessiva trepidação e corretos pontos de indicação. Se a trepidação é excessiva, verifica-se o mecanismo de operação quanto as junções gastas, falta de pinos e orelhas de acionamento quebrados. Qualquer parte defeituosa é substituída.

Os sistemas de cabos de controle são inspecionados quanto a desgastes, roldanas danificadas, ou rolamentos de roldanas gastos.

Bombas

Durante uma inspeção de bombas ("BOOSTER") auxiliares, verifica-se as seguintes condições: (1) operação apropriada; (2) vazamentos e condição das conexões elétricas e de combustível; e (3) desgaste das escovas.

As linhas de dreno devem estar livres de obstruções, dobradas ou com restrições. É preciso que a bomba seja acionada pelo motor quanto a vazamentos e segurança dos montantes. Verifica-se, também, as linhas de ventilação e dreno quanto a obstruções.

Filtros das linhas principais

Drena-se a água e sedimentos do filtro da linha principal a cada inspeção de pré-vôo. A tela é removida e limpa em períodos especificados no Manual de Manutenção do Avião. Partículas de borracha são frequentemente avisos prematuros de deterioração de mangueira. Verifica-se quanto a vazamentos e danos nas gaxetas.

Indicadores de quantidade de combustível

Se o indicador visual (*SIGHT GAGE*) é usado, o vidro tem que ficar claro e sem vazamentos nas conexões. As linhas de condução quanto a vazamentos e segurança nas fixações devem permanecer.

Os indicadores mecânicos são verificados quanto a liberdade de movimento do braço da bóia, e a apropriada sincronização do ponteiro com a posição.

Nos indicadores elétricos, ou eletrônicos, o indicador e as unidades do tanque precisam ficar montados, e suas conexões elétricas apertadas.

Indicador de pressão de combustível

Verifica-se o ponteiro para tolerância zero e excessiva oscilação; a cobertura de vidro, quanto a perda das marcações de limitações; e as linhas e conexões quanto a vazamentos. Não deve haver obstrução na ventilação.

Sinal de aviso de pressão

Inspeciona-se a instalação quanto a segurança de montagem e condição das conexões de ar, combustível e elétrica.

Verifica-se a lâmpada através da pressão da chave de teste; a operação que liga a chave da bateria; e o aumento de pressão com a bomba "BOOSTER", observando a pressão que deverá apagar a luz. Se necessário, ajusta-se o mecanismo de contato.’

Sistema de injeção de água para motores convencionais

São poucos os que ainda estão sendo usados, mas o sistema de injeção de água disponibiliza mais tração, que será obtida do motor em potência de decolagem. O carburador (operando em ajustes de alta tração) libera mais combustível do que o motor realmente precisa.

O empobrecimento da mistura deverá produzir mais força; contudo, o combustível adicional é necessário para prevenir superaquecimento e detonação.

Com a injeção de um fluido anti detonante, a mistura pode ser mais empobrecida do que àquela que produz a máxima tração, e a vaporização da mistura água/álcool, que provê a refrigeração formada pelo suprimento em excesso de combustível. (Figura 3-42).

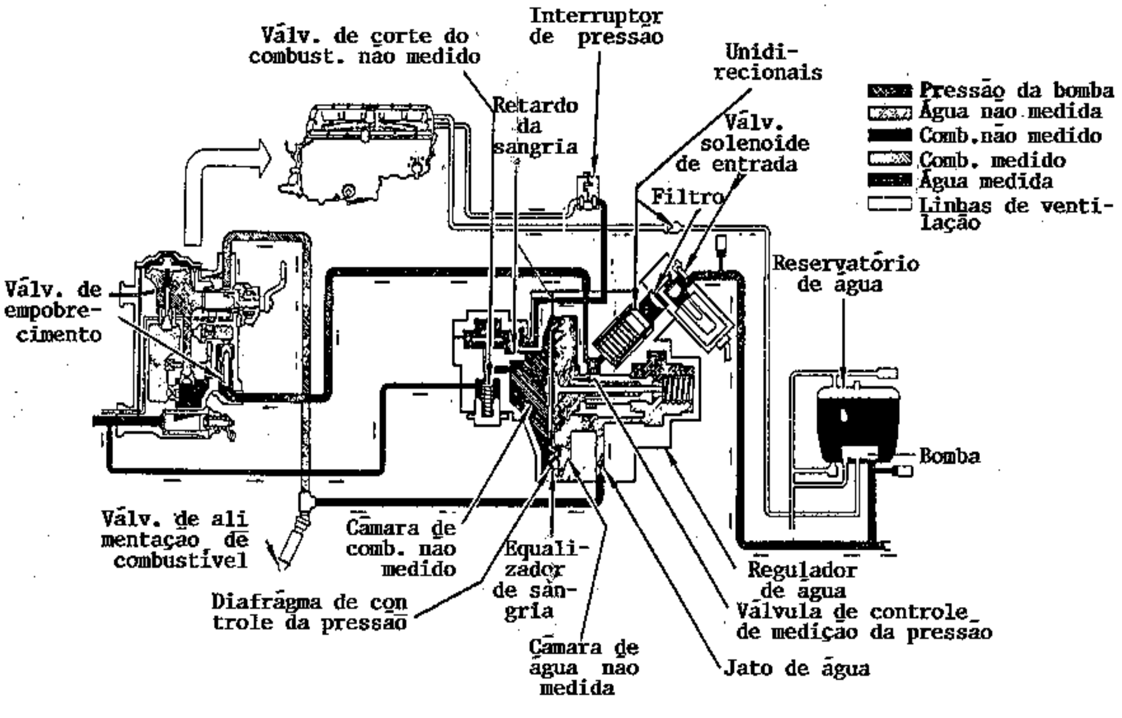

Interruptor de pressão
Válv. de corte do combust. não medido
Unidi-recionais
Retardo da sangria
Válv. solenoide de entrada
Filtro
▬ Pressão da bomba
▨ Água não medida
▬ Comb. não medido
▨ Comb. medido
▬ Água medida
▭ Linhas de venti-lação
Reservatório de água
Válv. de empobre-cimento
Bomba
Válv. de ali mentação de combustível
Câmara de comb. não medido
Equali-zador de san-gria
Diafragma de controle da pressão
Câmara de água não medida
Regulador de água
Válvula de controle de medição da pressão
Jato de água

Figura 3-42 Diafragma esquemático de um típico sistema ADI.

Operando nesta melhor mistura para tração, o motor desenvolve mais força, nivelado através da pressão do duto principal e ajuste de RPM sem variação. Em adição a isto, a pressão do duto principal pode ser aumentada para o ponto que poderá causar detonação sem injeção da mistura água/álcool.

Desse modo, o aumento da tração com a injeção anti detonante é duplamente vantajosa: o motor pode ser operado na mistura de melhor potência, e a pressão máxima do duto principal pode ser aumentada.

SISTEMA DE COMBUSTÍVEL PARA MOTORES A TURBINA - REQUISITOS GERAIS

O sistema de combustível é um dos aspectos mais complexos do motor de turbina a gás. A variedade dos métodos usados para atender as mais variadas necessidades do motor a turbina, fazem com que a carburação do motor convencional se torne simples na comparação.

É possível aumentar ou diminuir a potência, para ser obtida a tração requerida a qualquer condição operacional. Nos aviões equipados com turbina, este controle é provido pela variação do fluxo de combustível para as câmaras de combustão. Contudo, aviões turboélice podem usar hélices de passo variável; deste modo, a seleção de tração é alcançada através de duas variáveis controláveis, o fluxo de combustível e o ângulo da pá da hélice.

A quantidade de combustível fornecida deve ser ajustada automaticamente para corrigir as trocas na pressão ou temperatura ambiente. Se a quantidade de combustível se tornar excessiva em relação a massa do fluxo de ar através do motor, a limitação de temperatura das palhetas da turbina pode ser excedida, ou poderá produzir a queda de pressão do compressor (*compressor stall*), e, uma condição de corte do motor por mistura rica, referida como "*Rich Blowout*".

Essa condição ocorre quando o volume de oxigênio no ar de suprimento não é suficiente para manter a combustão, e quando a mistura é resfriada abaixo da temperatura de combustão através do excesso de combustível. No outro extremo, o corte por mistura pobre, "*Lean dieout*", ocorre se a quantidade de combustível é reduzida proporcionalmente abaixo da quantidade de ar.

O sistema deve liberar combustível para a câmara de combustão, não apenas na quantidade certa, mas também na condição certa, para satisfazer a combustão. Os injetores de combustível formam parte do sistema de combustível, e atomizam ou queimam o combustível que deverá ser eficiente. O sistema deve, também, suprir combustível para que o motor possa ser facilmente colocado em funcionamento no solo e no ar.

Estes são os meios que deverão injetar o combustível dentro das câmaras de combustão, em condições para queimar, quando o motor estiver sendo operado lentamente pela sistema de partida. Essa combustão deve ser sustentada até que o motor seja acelerado para sua velocidade normal.

Outra condição crítica que o sistema de combustível deve responder ocorre durante uma aceleração rápida. Quando o motor é acelerado, energia deve ser fornecida para a turbina acima do que é necessário para manter a RPM constante. Contudo, se o fluxo de combustível aumentar muito rapidamente, uma mistura super rica poderá ser produzida, com a possibilidade de uma "*RICH BLOWOUT*". Motores Turbojato, Turbofan e Turboélice são equipados com uma unidade de controle de combustível que satisfaz automaticamente as necessidades do motor.

Através de necessidades básicas aplicavéis, geralmente para todos os motores de turbina a gás, o meio com o qual os controles individuais de combustível necessitam não podem ser convenientemente generalizados.

Cada fabricante de unidade de controle de combustível tem sua própria peculiaridade de reunir as demandas para o motor.

CONTROLE DE COMBUSTÍVEL DOS JATOS

Os controles de combustível podem ser divididos em dois grupos básicos: (1) Hidromecânico; e (2) Eletrônico.

O controle de combustível eletrônico é uma combinação dos dois grupos básicos. A maioria dos controles de combustível em uso são do tipo completamente hidromecânico.

Indiferentemente do tipo, todos os controles de combustível executam essencialmente as mesmas funções, apenas alguns sensores a mais nos motores variam dos outros.

O controle de combustível sente a posição da manete de potência , RPM do motor, cada uma das pressões de entrada do compressor ou temperatura, e pressão de queima ou pressão de descarga do compressor.Essas variações afetam o volume de tração que o motor poderá produzir pela demanda do fluxo de combustível.

Controle hidromecânico

Os controles dos jatos de combustível são dispositivos complexos. Os tipos hidromecânicos são compostos por governadores de velocidade, sistema de servos, válvulas piloto e luvas, sinal de retorno ou meios de verificação, e sistemas de medição. Em adição, os controles eletrônicos de combustível incorporam amplificadores, termopares, relés, sistemas servo-elétricos, chaves e solenóides.

Cada controle de combustível deve ser estudado para poder ser entendido. Um sistema de controle eletrônico de combustível e um outro típico de controle de combustível hidromecânico serão discutidos. Para informações específicas necessárias para inspeção ou manutenção de instalações particulares, ou da unidade, consulte as instruções do fabricante, devem ser consultadas.

Controle eletrônico

Os principais componentes do sistema "*Temperature datum*" do Turboélice (ALLISON 501-D13) são as válvulas T.D., o coordenador, controle de combustível, *SPEED SENSITIVE CONTROL*, válvula DRENO do duto de combustível, e o *ELETRONIC TEMPERATURE DATUM CONTROL*.

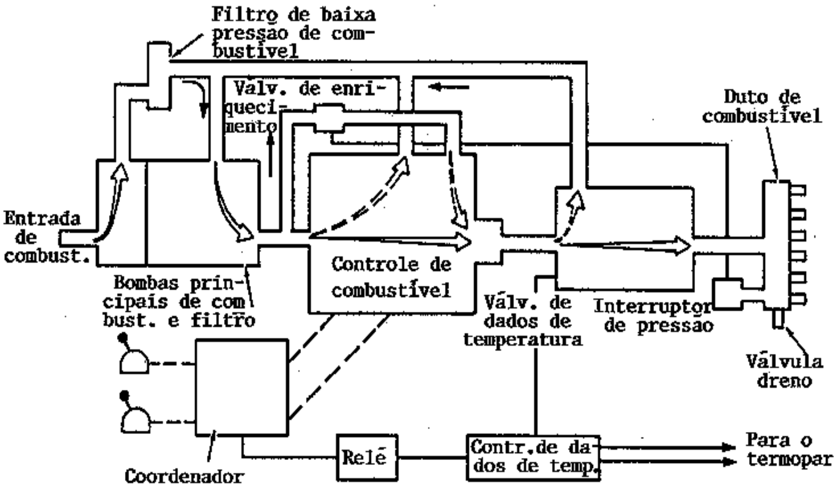


Figura 3-43 Esquema do sistema de combustível do motor allison 501-d13.

"*Temperature datum valve*"

A válvula de controle de dados de temperatura (figura 3-44) ou válvula T.D. (*Temperature Datum Valve*) é o meio de ajuste fino no fluxo do sistema de combustível do motor, entre o controle principal e o duto de combustível.

A *DATUM VALVE*, opera em conjunto com o controle eletrônico associado da válvula T.D., ajusta o combustível fornecido do controle principal para manter a temperatura pré-selecionada na entrada da turbina.

A válvula consiste de um venturi, uma válvula reguladora, uma válvula medidora com um conjunto de luvas e uma válvula pressurizadora. A válvula T.D. apresenta um parafuso de batente variável, atuado através de uma válvula solenóide e de um pistão de acionamento. Isto limita a quantidade total de fluxo de combustível do motor que pode ser reduzido.

A válvula reguladora mantém uma pressão ao redor do orifício da válvula medidora, proporcional a quantidade montante de combustível que está sendo suprido para a válvula T.D.

A válvula medidora é posicionada por suas luvas e orifícios através do motor da válvula T.D., em resposta aos sinais do controle eletrônico associado. A rotação do motor é aplicada através de uma engrenagem de redução para o pino de acionamento da válvula medidora; esta determina a percentagem de combustível que deve ser ajustado (*TRIMMED*) do suprimento de combustível do motor e do derivado para as bombas.

A válvula pressurizadora está localizada imediatamente acima da saída de combustível da válvula T.D., ela é carregada por mola para manter uma pressão residual no sistema de combustível. O lado de baixa pressão da válvula pressurizadora é ventilada através de uma saída de sangria, para derivar a pressão da saída da bomba "*BOOSTER*".

A sangria de saída minimiza os efeitos da variação de pressão do combustível na operação da válvula pressurizadora. O parafuso de batente variável permite a redução no fluxo de combustível nominal para o motor. O batente é posicionado através do pistão de acionamento. A válvula solenóide de duas posições direciona o fluido sob pressão para o pistão de acionamento, para estabelecer uma tomada de posição do parafuso batente.

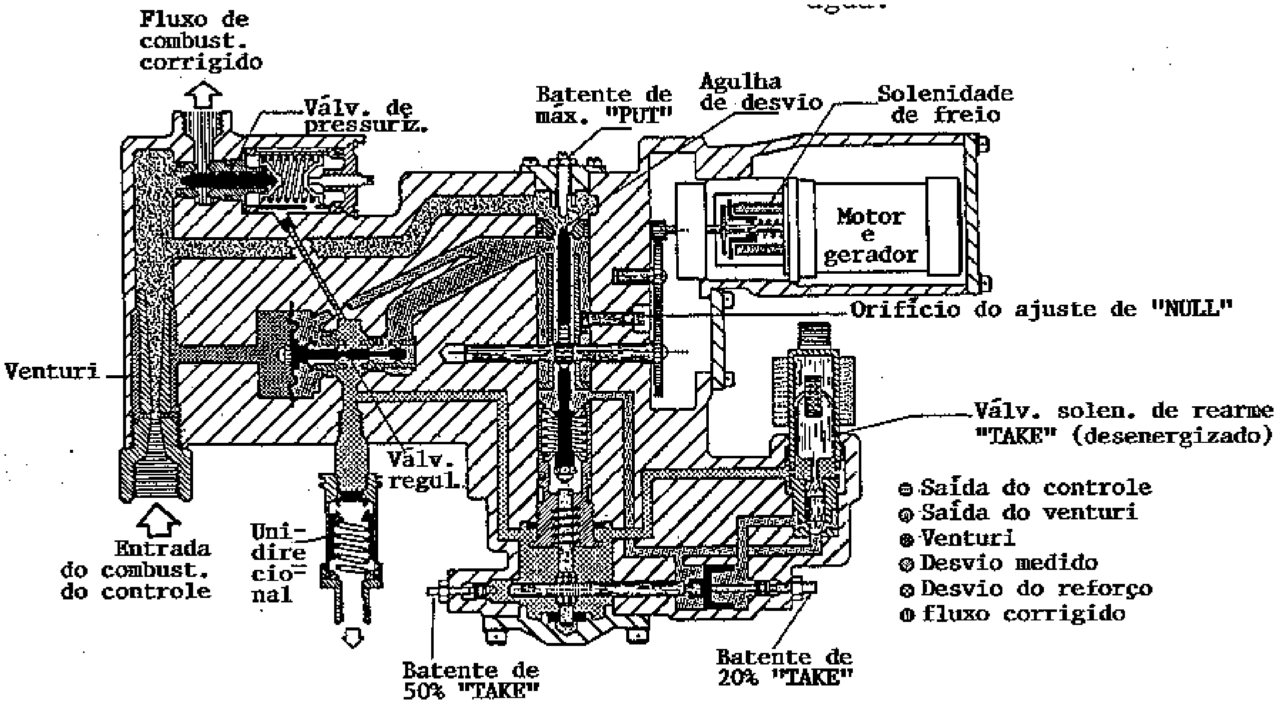

Fluxo de combust. corrigido
Válv. de pressuriz.
Batente de máx. "PUT"
Agulha de desvio
Solenidade de freio
Motor e gerador
Orifício do ajuste de "NULL"
Venturi
Válv. solen. de rearme "TAKE" (desenergizado)
Válv. regul.
Saída do controle
Saída do venturi
Venturi
Desvio medido
Desvio do reforço
fluxo corrigido
Entrada do combust. do controle
Uni-dire-cio-nal
Batente de 50% "TAKE"
Batente de 20% "TAKE"

Figura 3-44 diagrama esquemático da válvula T.D.

Venturi e válvula reguladora

Combustível medido sob pressão, do controle principal, ao sair entra na válvula T.D. através de um venturi. A pressão de combustível na garganta do venturi é uma amostra para prover um sinal de pressão, inversamente proporcional, para o volume de combustíel que entra na válvula T.D.

O combustível sob pressão na garganta do venturi é aplicado para um lado do diafragma da válvula reguladora, para prover uma força de posicionamento da válvula, inversamente proporcional ao fluxo de combustível através da entrada do venturi.

O combustível da saída do venturi é canalizado diretamente para a válvula pressurizada na saída da T.D. A válvula medidora faz o ajuste fino do combustível em excesso do fluxo de combustível do motor, e direciona este combustível em excesso para a válvula reguladora. O combustível sob pressão na saída do venturi flui para a válvula medidora e, através do orifício dessa válvula, para a válvula reguladora. Este combustível é derivado através da abertura da válvula para a saída de derivação da entrada da bomba do motor. Simultaneamente, a pressão medida derivada é reduzida até que chegue a equalizar a pressão da garganta do venturi no lado oposto do diafragma.

Quando a pressão medida derivada equaliza a pressão na garganta do venturi do lado oposto do diafragma da válvula reguladora, um orifício regulado deriva o excesso de combustível do motor que é estabelecido pela válvula reguladora. Simultaneamente, a queda de pressão apropriada pela regulagem fina do suprimento de combustível na garganta do venturi é conseguido em torno do orificio da válvula medidora. Nesta condição balanceada, a elevação de pressão da entrada da garganta do venturi para a saída do venturi equaliza a queda de pressão em torno do orifício da válvula medidora.

Quando a válvula medidora está na posição "NULL", aproximadamente vinte por cento (20%) do total do combustível medido e suprido pela válvula T.D., é retornado para as bombas do motor.

Válvula medidora (*metering valve*)

A válvula medidora é reposicionada em seu orifício da posição "NULL" para variar a percentagem de combustível ajustado do venturi de combustível na válvula T.D., desse modo ajustando o montante de combustível liberado para as câmaras do motor.

A válvula medidora é acionada em ambas as direções para "PUT ou TAKE" da posição "NULL", de acordo com a necessidade de temperatura do motor.

A válvula medidora posiciona sinais que são enviados para o controle eletrônico associado que sente as temperaturas no motor.

Quando a válvula medidora é acionada na direção de seu orifício, move-se na direção de "PUT" para reduzir o fluxo de retorno. Isto faz com que o fluxo de combustível para as câmaras do motor seja aumentado acima de cem por cento (100%), nominal de alimentação, quando a válvula medidora está na posição "NULL".

Simultaneamente, a pressão de retorno é reduzida, permitindo que a pressão na garganta do venturi seja também reduzida pela abertura da válvula, através da qual o combustível é derivado para as bombas do motor.

O orifício da válvula medidora fechando pode continuar até que os contatos da válvula atinjam o batente máximo de "PUT". O batente máximo de "PUT" é ajustado durante a calibração da válvula T.D.

Quando a válvula medidora é acionada para fora do seu orifício de assentamento, ela se move na direção de "TAKE" para aumentar o fluxo da garganta do venturi para o retorno, causando uma redução do fluxo de combustível para as câmaras do motor, abaixo daquele normalmente fornecido quando a válvula medidora está na posição "NULL".

Concomitantemente, a pressão de retorno é aumentada para mover o diafragma da válvula reguladora contra a pressão na garganta do venturi, desse modo, aumentando a abertura da válvula reguladora através da qual o combustível é retornado para as bombas do motor. A abertura do orifício da válvula medidora pode continuar até que a válvula medidora faça batente, no variável "*TAKE STOP*".

O batente variável "*TAKE STOP*" permite ser acionado através da válvula T.D. O fluxo de combustível para o motor pode ser reduzido permitindo a proteção de temperatura máxima do motor durante a partida.

Quando a velocidade do motor atinge e excede um valor pré-selecionado, a válvula solenóide da válvula T.D. é desenergizada. A ação da válvula solenóide reposiciona o batente variável de "TAKE".

O fluxo de combustível pode então ser reduzido o suficiente para diminuir qualquer condição de super aquecimento durante a operação do motor.

Operação do motor

A válvula medidora é posicionada em seus orifícios através de um motor bifásico com a válvula T.D. A voltagem de operação do motor é fornecida pela operação do controle eletrônico em combinação com a válvula T.D. A fase da voltagem suprida para o motor determina a direção da rotação do motor e o subsequente movimento da válvula medidora. A fase de voltagem, em curso, é determinada pelo tipo de correção de temperatura requerida, isto é, o fluxo de combustível do motor precisa ser aumentado para aumentar a temperatura, ou precisa ser reduzido para abaixar a temperatura.

A RPM do motor é transmitida através de engrenagens de redução para a engrenagem de acionamento da válvula medidora em uma das extremidades do eixo. A extremidade oposta do eixo-pino é soldada a um tubo que carrega o pino de acionamento da válvula medidora. Este tipo de construção de "EIXO-PINO" provê um eixo de torção, que reduz o choque mecânico no trem de engrenagens de redução e no motor, se a válvula medidora é acionada contra algum batente.

Operação do motor gerador

O motor da válvula T.D. possui um gerador acoplado no eixo do motor. Enquanto o motor está acionando a válvula medidora para trocar a posição da válvula, este gerador acoplado produz voltagem A.C., proporcional a velocidade do motor.

A voltagem A.C. é o retorno para o controle eletrônico associado. A fase desta voltagem A.C. é determinada pela direção da rotação do motor/gerador.

A magnitude da voltagem A.C. é proporcional a velocidade de rotação. Desse modo, o retorno da voltagem provê um sinal de troca de razão, enviando ao controle eletrônico a razão que a válvula medidora é movimentada.

Com o controle eletrônico, esta voltagem amortece, ou reduz, o sinal de erro de temperatura, que inicia a rotação do motor. A razão de redução do sinal de erro é proporcional a razão em que o motor gerador está girando. A redução do sinal de erro causa a correspondente redução da variação de fase da voltagem suprida para o motor da válvula T.D.

O sinal desviado de erro lança a ação para obter a estabilidade da válvula T.D., pela redução da força de inércia, sem perda do torque sob condições de perda de sustentação. Deste modo, a temperatura de entrada da turbina aproxima-se do valor correto, a voltagem para o motor é reduzida e o motor estola. Quando o motor estola, a válvula medidora deverá ser devidamente reposicionada para prover a temperatura correta do fluxo de combustível.

.Freio do motor

Um freio operado por solenóide está incorporado no eixo de saída do motor, entre o motor e a caixa de engrenagem redutora. O freio é desacoplado quando o solenóide é energizado, e acoplado quando o solenóide é desernegizado. A voltagem de operação do freio é controlada pelo motor do avião e circuito de controle eletrônico. Quando o solenóide do freio é desenergizado e o freio acoplado, a pressão de mola segura a sapata do freio contra o disco, no eixo de transmissão de força através do freio.

Esta ação previne que o motor nivele a rotação através do ajuste do variador de fase suprida para o motor. Quando o solenóide é energizado e o freio liberado, a armadura do freio, no qual a sapata é localizada, é levantada contra a força de mola no alojamento do solenóide. Isto libera a força do eixo de transmissão, permitindo que a rotação do motor seja aplicada para a caixa de engrenagem de redução.

COORDENADOR

O coordenador está fixado na face traseira do controlador de combustível, e possui alojamentos do eixo da manete de tração, discriminador mecânico, eixo de corte manual de combustível, chaves e ressaltos atuadores, potenciômetro seletor de temperatura, potenciômetro acionador de engrenagens e fiação elétrica necessária.

A unidade coordena a hélice, o controle eletrônico de "*Temperature Datum*" e o controle de combustível; ela recebe sinais através da haste da manete de tração e da manete de emergência na cabine de comando, e transmite estes sinais para o controlador de combustível e o regulador da hélice através de um sistema de manetes e hastes. O potenciômetro no coordenador é acionado do eixo da manete de força através de um conjunto de engrenagens.

Acima de certa posição nominal do coordenador, o potenciômetro esquematiza a temperatura de entrada da turbina através do envio de sinal elétrico, da temperatura desejada para o controle da T.D.

A chave no coordenador é atuada através de um ressalto no eixo da manete de tração, para transferir a função de controle de T.D. do limitador de temperatura para o controlador de temperatura, em certa posição nominal do coordenador.

CONTROLADOR DE COMBUSTÍVEL

O controlador de combustível está montado no alojamento de acionamento de acessórios, e ligado mecanicamente ao coordenador. O controle de combustível é projetado para executar as seguintes funções:

(1) Prover os meios para variação do fluxo de combustível para permitir a seleção de força que é coordenada entre o ângulo das pás da hélice e a RPM do motor.

(2) Regular a razão do combustível medido durante a aceleração para prevenir excesso de TIT.

(3) Controlar a razão do combustível medido durante a desaceleração do motor para prevenir o seu apagamento (*FLAME OUT*).

(4) Controlar o motor e a velocidade de RPM da hélice para o limite de operação do governador da hélice. Isto inclui tração "REVERSA", baixa RPM de operação no solo, lenta de vôo e alta RPM e lenta de solo.

(5) Prover meio de proteção do motor durante condições de disparo, através de redução do fluxo de combustível e TIT.

(6) Prover o esquema do início do fluxo de combustível que, em conjunto com válvula T.D. previne super aquecimento e “surge” no compressor.

(7) Compensar as mudanças na densidade do ar, causadas pelas variações de temperatura e pressão na entrada de ar do compressor.

(8) Prover os meios de corte de fluxo de combustível, elétrica e manualmente.

O controle de combustível sente a pressão de entrada do compressor, temperatura da entrada do compressor e RPM do motor. Usando esses três fatores e o ajuste da manete de tração, o controle de combustível mede o volume apropriado de combustível através do limite de operação do motor.

Sistemas compensadores de pressão e temperatura são projetados para manter constante a temperatura da entrada da turbina (TIT), quando as condições de entrada do compressor variarem.

O controle de combustível é projetado para enriquecer a mistura, depois que as necessidades nominais do motor são acomodadas a válvula T.D., que deriva parte do controle de saída quando estiver na posição "NULL". Este excesso de fluxo para a válvula T.D. lhe dá a capacidade de adicionar tão melhor quanto subtrair o combustível, para manter a temperatura pré-fixada pelo potenciômetro do coordenador e o controle da válvula T.D. O controle inclui uma válvula de corte para interromper o fluxo de combustível ao motor.

A válvula de corte, que pode ser manual ou eletricamente controlada, é atuada através de uma ligação mecânica e um atuador elétrico. O corte mecânico está combinado com a entrada da ligação de controle de emergência. Mas, ambos, devem estar na posição "OPEN" para permitir o fluxo de combustível.

Durante a partida do motor, a válvula operada permanece fechada até que o motor chegue a velocidade onde atua o controle de sensibilidade de velocidade (*SPEED SENSITIVE CONTROL*) para abrir a válvula moto operada, permitindo o fluxo de combustível para o motor.

CONTROLE SENSITIVO DE VELOCIDADE

O controle de sensibilidade de velocidade (figura 3-45) é montado na base do tacômetro na caixa de acessórios. Ele contém três chaves (SW) que são atuadas a certas velocidades através de contrapesos centrífugos.

Durante a partida, uma chave (SW) aciona o combustível e a ignição, colocando em paralelo os elementos da bomba de combustível, energizando o sistema de enriquecimento de combustível (PRIMER) da partida quando está atuado, e fechando a válvula dreno.

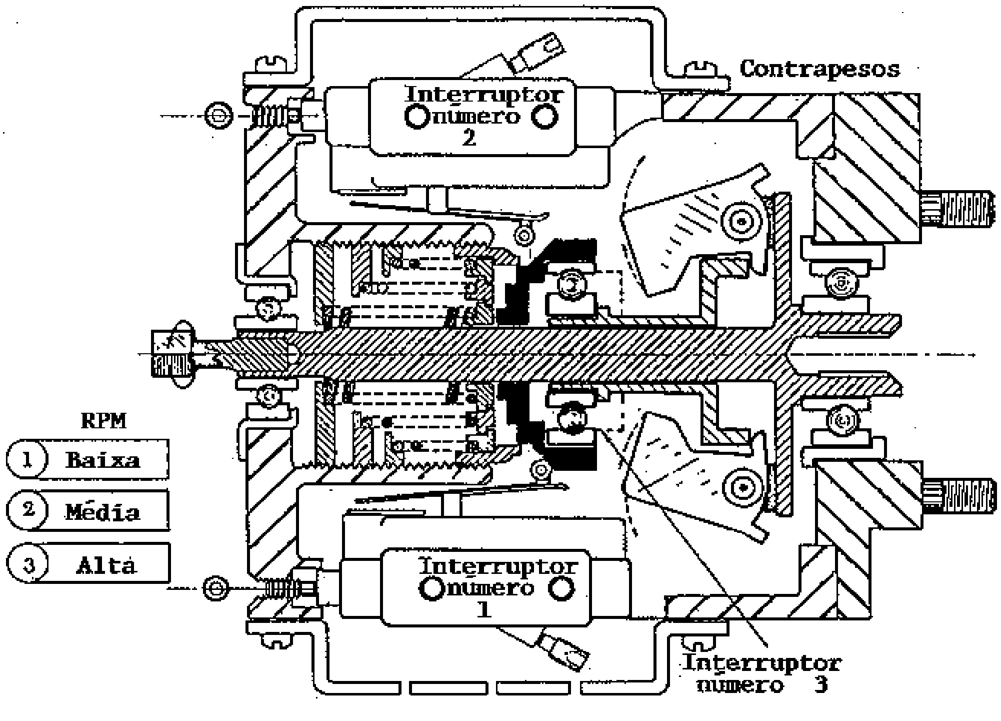


Figura3-45 Controle sensitivo de velocidade.

VÁLVULA DRENO DA LINHA PRINCIPAL DE COMBUSTÍVEL (*DRIP)*

O combustível de saída da válvula T.D. é conectado para o duto principal de combustível. O duto principal consiste de seções de mangueiras flexíveis, blindadas com malhas de aço, que conectam a parte inferior do motor para a válvula dreno.

Essas seções conectam diretamente para os injetores de combustível. Uma válvula dreno operada por solenóide, e carregada por mola, é localizada na parte inferior no duto principal de combustível. Isso é projetado para drenar o duto principal quando a pressão de combustível cair abaixo de certo volume, enquanto o motor estiver parado para prevenir que o combustível fique gotejando dentro das câmaras.

Durante o ciclo de partida, a válvula é fechada através da energização do solenóide, que é mantida fechada pela pressão do combustível, vindo do duto principal quando o motor está funcionando.

OPERAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de controle da T.D. é essencialmente um sistema servo. Deste modo, a operação do sistema é baseada em algum erro, ou variação para determinar as condições de temperatura do motor. O controle eletrônico da T.D. sente qualquer erro de temperatura, e envia um sinal de correção para o servo-motor bifásico na válvula T.D. associada.

A referência para que as temperaturas do motor sejam comparadas é estabelecida pelo controle eletrônico. Essa referência é equivalente a milivoltagem para o gerador do termocouple do motor para uma temperatura determinada.

Qualquer variação entre a referência do gerador de milivoltagem do termocouple causa um sinal de correção de erro, –para ser mandado para o servo-motor da válvula T.D.

Três diferentes referências nas condições de temperatura são usadas durante a operação do sistema T.D.

Essas condições são limites normais, limite de partida, e controle. O valor de temperatura de referência de controle é projetado em função do ângulo da manete de tração.

A temperatura de referência do limite normal é disponível em todas as condições de operação do motor. O que se torna segurança máxima da temperatura de operação do motor.

Durante a limitação de operação, a temperatura do motor é resguardada de exceder este valor através do sistema de controle da válvula T.D.

A temperatura de limite normal é efetuada através de todo o curso de variação da manete de tração, abaixo do ângulo em que ocorre uma super posição de comando de operação, e sempre que a chave de controle na cabine do avião é movida para a posição "*LOCKED*", como durante o pouso do avião.

A temperatura limitadora de partida é efetiva apenas durante a partida do motor e da operação acima da velocidade pré-selecionada. O valor da temperatura do limite de partida é menor do que o limite normal de temperatura.

O limite de temperatura de partida protege o motor de temperaturas transitórias excessivas durante a partida do motor.

A temperatura de referência é projetada de acordo com o ângulo da manete de tração, controlando a variação de operação do motor. O valor da temperatura de referência é projetado de acordo com a necessidade de tração do motor.

Tanto a temperatura limite como a temperatura controlada de operação são selecionadas pelo motor e chaves no avião. As chaves do motor incluem: a chave de sensibilidade de velocidade; e dois interruptores atuados pela manete de tração no coordenador do motor. A chave do avião atuada pelo piloto é a chave de controle do sistema T.D.

As chaves do motor selecionam o valor limite de temperatura, "NORMAL ou PARTIDA" e troca o sistema de controle T.D. de operação limite para operação controle.

A chave seletora de sensibilidade de velocidade seleciona a referência desejável para limitação de partida (*START LIMITING*) durante a partida inicial do motor.

O controle eletrônico permanece na condição de limitador de partida, até que a chave de velocidade abra. Quando a chave de velocidade abrir, o controle eletrônico é comandado para a operação de limitação normal de temperatura.

As chaves (SW) atuadas pela manete de tração estabelecem o ângulo destas, que vão sobrepujar o limite de temperatura para ocorrer o controle da temperatura de operação.

Nos ângulos da manete de tração menores que o ponto de ultrapassagem, (*CROSS OVER*) essas chaves mantêm o controle de T.D. no limite operacional. Depois que o ângulo de ultrapassagem é atingido e ultrapassado, elas realinham oQuando a chave de controle de T.D. está na posição "*LOCKED*", é comandada de partida para o limite normal de operação.

Quando a chave está colocada na posição "*AUTOMATIC*" outra condição ocorre. O sistema de controle da T.D. é trocado da operação de controle para limite sempre que a chave de controle da T.D. é movida para a posição "*LOCKED*".

CONTROLE HIDROMECÂNICO DE COMBUSTÍVEL

O JFC (*Jet Fuel Control*) projeta a quantidade de fluxo de combustível necessária para o motor Turbojato.

Isto provê combustível para as câmaras de combustão em pressão e volume necessários, –para manter o desempenho do motor programado pela posição da manete de tração. Ao mesmo tempo, limita o fluxo de combustível para manter as condições operacionais.

O JFC 12-11 é um controlador de combustível totalmente mecânico para o motor Turbojato *PRATT AND WHITNEY*. O diagrama esquemático de operação é mostrado.

O propósito do JFC é medir combustível para o motor, para controlar a RPM, prevenir superaquecimento e excesso de combustível, ou parada do motor por falta de combustível.

Isto é conseguido pelo suprimento de sinais da RPM do motor (N2) e pressão de queima (PB). O controle, então, projeta fluxo de combustível (Wf) em Libras/Hora, para manter o motor funcionando no ajuste desejado através da manete de potência, e dentro dos limites operacionais do motor.

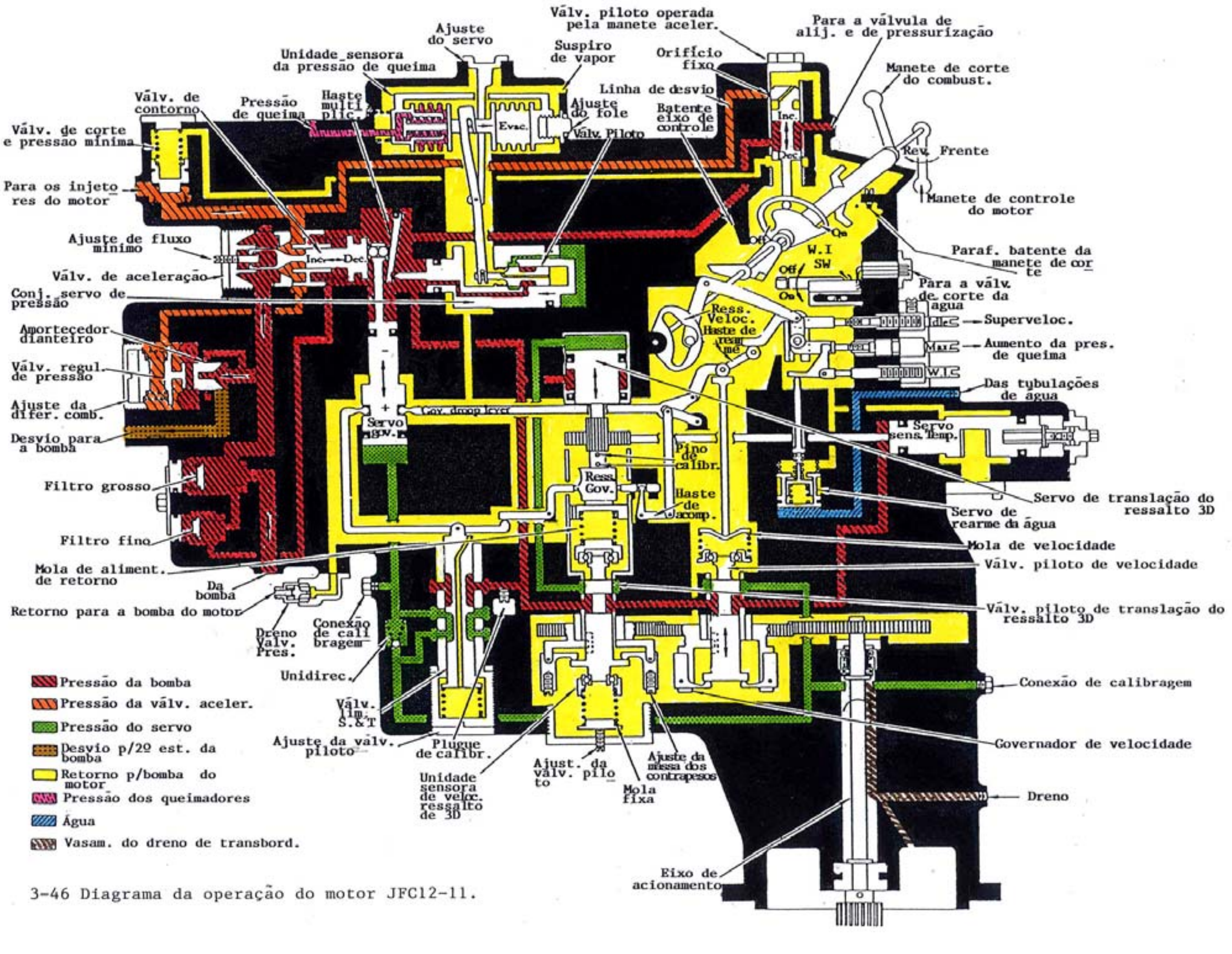

Válv. piloto operada pela manete aceler.
Ajuste do servo
Suspiro de vapor
Orifício fixo
Para a válvula de alij. e de pressurização
Unidade sensora da pressão de queima
Manete de corte do combust.
Linha de desvio
Válv. de contorno
Pressão de queima
Haste multiplic.
Ajuste do fole
Batente eixo de controle
Evac.
Inc.
Dec.
Válv. Piloto
Válv. de corte e pressão mínima
Rev.
Frente
Para os injetores do motor
Manete de controle do motor
Ajuste de fluxo mínimo
Inc.
Dec.
Off
On
W.I SW
Paraf. batente da manete de corte
Válv. de aceleração
Conj. servo de pressão
Para a válv. de corte da agua
Superveloc.
Ress. Veloc.
Haste de rearme
Amortecedor dianteiro
Aumento da pres. de queima
Válv. regul. de pressão
W.I.
Das tubulações de agua
Ajuste da difer. comb.
Gov. droop lever
Servo gov.
Servo sens. Temp.
Desvio para a bomba
Pino de calibr.
Filtro grosso
Ress. Gov.
Haste de acomp.
Servo de translação do ressalto 3D
Servo de rearme da água
Filtro fino
Mola de velocidade
Mola de aliment. de retorno
Válv. piloto de velocidade
Da bomba
Retorno para a bomba do motor
Dreno Valv. Pres.
Conexão de calibragem
Válv. piloto de translação do ressalto 3D
Unidirec.
Conexão de calibragem
Pressão da bomba
Pressão da válv. aceler.
Válv. lim. S.&T
Pressão do servo
Governador de velocidade
Ajuste da válv. piloto
Plugue de calibr.
Desvio p/2º est. da bomba
Ajust. da válv. piloto
Ajuste da massa dos contrapesos
Retorno p/bomba do motor
Unidade sensora de veloc. ressalto de 3D
Mola fixa
Pressão dos queimadores
Dreno
Água
Vasam. do dreno de transbord.
Eixo de acionamento
3-46 Diagrama da operação do motor JFC12-11.

Figura 3-46 Diagrama da operação do controlador de combustível JFC12-11.

Duas manetes de controle estão disponíveis. A manete de tração controla a RPM do motor durante toda as operações de aceleração e reverso.

Uma manete de corte do combustível controla, através da operação do corte de combustível. O sinal da válvula "DUMP" do duto principal tem a sequência própria.

Quando a manete de potência é movida para um ajuste selecionado, uma certa percentagem de força disponível é esperada do motor.

A tração resulta da aceleração conferida a massa de ar, fluindo através do motor. Consequentemente, qualquer variação da densidade do ar através de trocas de pressão ou temperatura afetarão a tração devido a mudança na massa do fluxo de ar.

No limite da operação do motor ao nível do mar para a altitude, as variações de pressão atmosférica têm um maior efeito na densidade do ar do que a mudança na temperatura ambiente.

Por qualquer condição constante de operação do motor (massa do fluxo de ar através do motor constante), um volume definido de combustível é necessário, e, por este motivo, a razão combustível/ar será constante (Wf / Pb).

A medição de fluxo de ar através do motor é dada pela pressão de queima (Pb). A pressão de queima é uma medição desigual do fluxo de ar, sendo usada para programar o fluxo de combustível durante a desaceleração, prevenindo um corte do motor por falta de combustível.

Durante a aceleração, o fluxo de ar é programado em função da RPM e a pressão de queima, para prevenir uma parada por enriquecimento (BLOW OUT) de ar, ou superaquecimento por excesso de combustível.

A curva de equilíbrio de um motor, conforme a figura 3-47, indica o trabalho que o controle de combustível deve fazer.

O fluxo de combustível durante a partida é limitado pela linha de aceleração, e deverá cair para o valor necessário de operação de lenta quando a RPM do motor aumentar.

A diminuição para o fluxo de combustível ocorre ao longo do declínio da curva, que é uma característica governada de fabricação dentro do controle de combustível para um melhor controle de RPM, sem aumento de pressão.

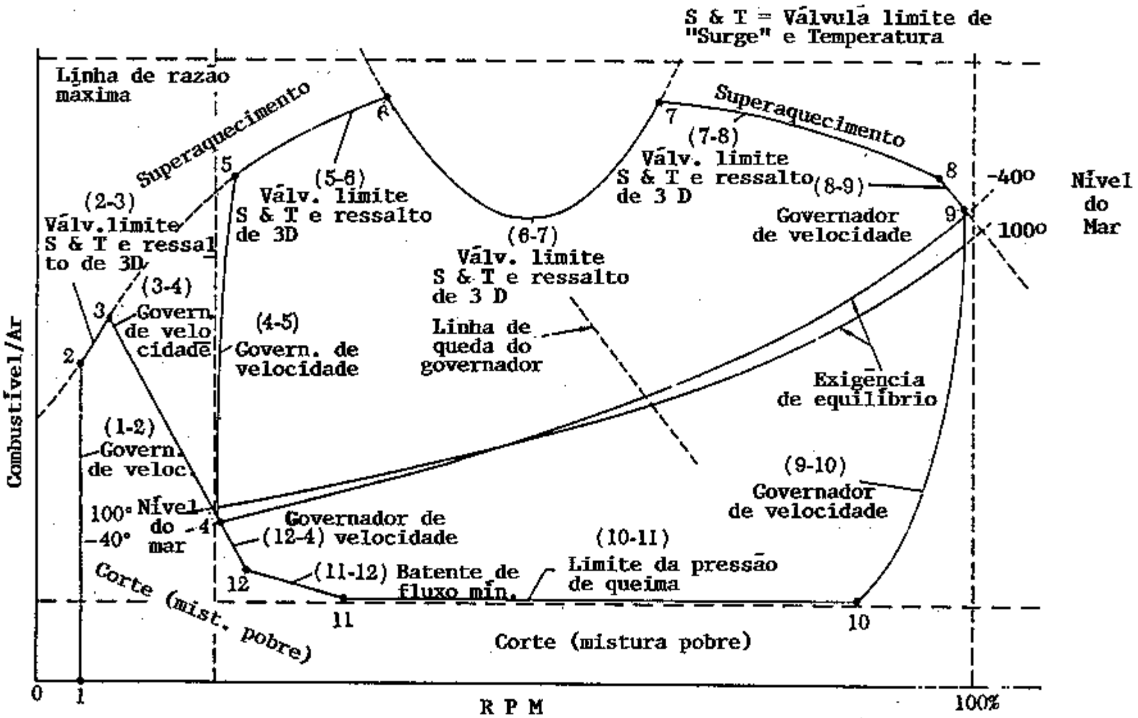

S & T = Válvula limite de "Surge" e Temperatura
Linha de razão máxima
Superaquecimento
Superaquecimento
(2-3) Válv.limite S & T e ressalto de 3D
(3-4) Govern. de velocidade
(1-2) Govern. de veloc
100° Nível do mar -40°
(5-6) Válv. limite S & T e ressalto de 3D
(4-5) Govern. de velocidade
(6-7) Válv. limite S & T e ressalto de 3 D
(7-8) Válv. limite S & T e ressalto de 3 D
(8-9)
Governador de velocidade
-40° 100°
Nível do Mar
Linha de queda do governador
Exigência de equilíbrio
(9-10) Governador de velocidade
Governador de (12-4) velocidade
(11-12) Batente de fluxo min.
(10-11) Limite da pressão de queima
Corte (mist. pobre)
Corte (mistura pobre)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Combustível/Ar
0
R P M
100%

Figura 3-47 Condições de operação do motor (curva de equilíbrio).

A posição da manete de tração varia a compressão da mola de velocidade para selecionar o ajuste próprio do declínio da curva...

Para acelerar de lenta para máxima, a manete de tração é movida para frente. O fluxo de combustível aumenta rapidamente no início e, então, mais gradualmente, de acordo com o programa de aceleração que deverá resguardar as condições de alta pressão e super aquecimento do motor.

Pouco antes do máximo ser atingido, o fluxo de combustível começa a decrescer ao longo da linha de declínio para que o nível de RPM não chegue ao máximo sem afogar.

Para a desaceleração da potência, o fluxo de combustível cai rapidamente para o programa mínimo, e retorna para lenta.

Embora a razão do fluxo mínimo de combustível seja mostrado através de linha reta na Figura 3-47, o fluxo de combustível varia com a pressão de queima e, deste modo, é mais alta na RPM de máxima do que na RPM de lenta.

DESCRIÇÃO DO CONTROLE DE COMBUSTÍVEL

Operação do sistema de medição

O combustível é fornecido para a entrada da unidade de controle, vindo dos tanques do avião através de uma série de bombas de reforço.

O combustível é passado através de telas e filtros no sistema de combustível do avião, antes de ir diretamente para o controle de combustível.

O combustível entra no porte de entrada da unidade de controle, e passa através de uma tela filtro de 200 MICRONS (figura 3-48).

Se o filtro se obstruir, permitirá que o combustível não filtrado o derive, devido a tensão de mola, e a válvula será levantada de sua sede se a pressão diferencial em torno da tela for maior de 25 a 30 PSID. Algum combustível que passar através do filtro comum é filtrado diretamente.

Todo o combustível de alta pressão usado nas válvulas e servos do controle de combustível passa através do filtro fino. Esse filtro é uma tela de 35 MICRONS e é também carregado por mola. Se ocorrer um entupimento, o combustível não filtrado deverá derivar do filtro quando a pressão diferencial for de 10 a 17 PSID.

Válvula reguladora de pressão

O diafragma da válvula reguladora de pressão, mostrado na figura 3-48, é exposta em um lado para a pressão de saída da bomba e, no outro lado, para o efeito combinado da pressão da descarga da válvula aceleradora e a força da mola pré-regulada, para manter a queda de pressão desejada em torno da válvula aceleradora.

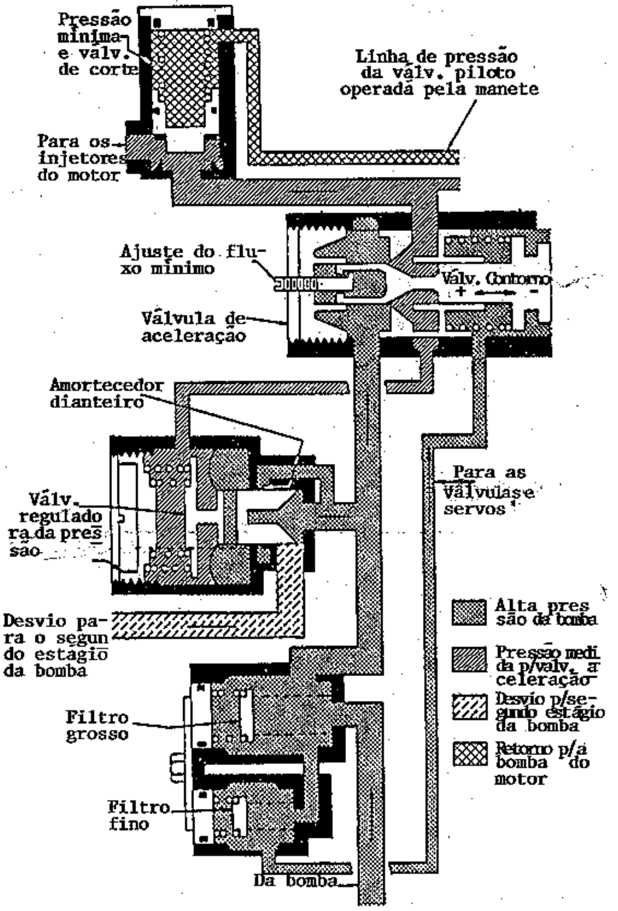
A força da mola é ajustada para permitir a compensação para uso de vários combustíveis.

Com uma queda de pressão constante em torno da válvula aceleradora, o fluxo através dela deverá ser proporcional a área de seu orifício.

Qualquer excesso de combustível acima do requerido, para manter a pressão diferencial ajustada, é derivado de volta para a seção entre estágios da bomba de suprimento. O orifício de alijamento na passagem para a válvula reguladora de pressão minimiza vibração da válvula.

Válvula aceleradora

A válvula aceleradora, figura 3-48, é a válvula medidora principal. E consiste em uma mola tensionada e uma válvula de contorno cilíndrico, que se move com um flape em um orifício.



Pressão mínima e válv. de corte
Linha de pressão da válv. piloto operada pela manete
Para os injetores do motor
Ajuste do fluxo mínimo
Válv. Contorno
+
-
Válvula de aceleração
Amortecedor dianteiro
Válv. reguladora da pressão
Para as válvulas e servos
Desvio para o segundo estágio da bomba
Alta pressão da bomba
Pressão medida p/valv. aceleração
Desvio p/segundo estágio da bomba
Retorno p/a bomba do motor
Filtro grosso
Filtro fino
Da bomba

Figura 3-48 Sistema de medição.

Essa válvula controla o fluxo principal de combustível, que vem da bomba do motor para os injetores de combustível.

Assim, uma pressão diferencial constante é mantida em torno da válvula aceleradora através da válvula reguladora de pressão.

Cada posição da válvula representa um definido fluxo de combustível, indiferentemente da pressão de descarga da válvula aceleradora. Um fluxo mínimo positivo de ajuste é feito na válvula aceleradora. A válvula é carregada por mola para a sua posição de fluxo mínimo, mas nunca fecha completamente.

A mola da válvula aceleradora a move na direção para diminuir o fluxo, e a ação combinada da pressão do servo do compressor e do servo do governador move a válvula na direção para aumentar o fluxo.

A saída da válvula aceleradora direciona o combustível medido para a pressão mínima e a válvula de corte.

O combustível medido também atua do lado da mola da válvula reguladora de pressão, e é liberado para a válvula piloto, onde ele pode derivar para o dreno, quando a manete de corte de combustível é colocada na posição "OFF".

Válvula de pressão mínima e de corte

A válvula de corte e pressão mínima é uma válvula tipo "lançadeira", atuada para cima em um lado pela pressão de descarga da válvula aceleradora; e do outro pela combinação da força da mola, tanto pela alta pressão de combustível durante o corte, como pela pressão do dreno do corpo do J.F.C. durante a operação normal.

A mola também mantém a válvula fechada após o corte do motor. Durante a operação normal, quando o lado da válvula é jogado para cima pela pressão do dreno do corpo, se a pressão de descarga da válvula aceleradora cair abaixo de um valor pré-regulado, ela deverá se mover na direção da posição "CLOSED", restringindo o fluxo do controle de combustível, até que a pressão de descarga da válvula aceleradora aumente novamente para o valor pré-ajustado. Isto assegura que pressão suficiente seja mantida disponível para operação dos servos e válvulas.

O fluxo de combustível medido vem da válvula de corte e pressão mínima para a saída do controle de combustível, e então para a válvula dreno do duto principal e dos dutos do motor.

Válvula piloto e operação da válvula aceleradora

O sinal de pressão que atua a válvula de corte e pressão mínima origina-se da válvula piloto e operação da aceleradoras (Figura 3-49). Em adição a este sinal de pressão, a válvula piloto e a operação da válvula aceleradora fazem duas outras funções. O porte desta válvula determina a sequência destas funções. Essa válvula piloto é posicionada através de um ressalto, montado no eixo rotativo da manete de corte na cabine.

Em operação ou na posição "ON", a válvula piloto direciona a alta pressão de combustível para a válvula de pressurização e "DUMP" do motor, onde ela trabalha contra a mola para manter a válvula "DUMP" fechada. Como anteriormente mencionado, o lado da mola da válvula, de corte de pressão mínima, é exposto para a cavidade do dreno do corpo, mantendo o fluxo de baixa pressão da válvula aceleradora para forçar a abertura. A terceira função da válvula piloto, e a operação da válvula aceleradora, é para bloquear a linha de derivação do ar de impacto.

Quando a manete de corte de combustível é movida para a posição "OFF", a válvula piloto é reposicionada pelo resssalto. Primeiro, a linha de derivação de ar de impacto é aberta. A válvula piloto, operada pela válvula aceleradora, também direciona a alta pressão de combustível para o lado da mola da válvula de corte e pressão mínima; assegurando o fechamento da válvula.

A válvula mantém a linha de pressão para a válvula "DUMP" e pressurizadora do motor, para drenar para dentro da cavidade do corpo, permitindo que a mola abra a válvula; e qualquer combustível no duto principal do motor seja drenado.

Durante o corte do motor em vôo, o ar de impacto do motor, e a bomba de combustível, continuam a operar. Desde que o fluxo externo do controle de combustível seja cortado, a saída da bomba deve ser aliviada. Isto não pode ser feito pela válvula de alivio da bomba (1000 PSI) ou pelo controle de combustível. Para evitar as condições de alta carga na bomba e alta temperatura que acompanham a operação da válvula de alívio, a função de derivação é feita com o controle de combustível em pressão mínima.

A linha de derivação de ar de impacto traz pressão de combustível medido (pela válvula aceleradora) para um porte no alojamento da válvula piloto e de aceleração. Se a válvula piloto é posicionada para cortar o fluxo de combustível para o motor, a pressão do combustível medido é sangrada através da linha de derivação e do alojamento da válvula piloto, para a baixa pressão da cavidade do corpo.

A diminuição da pressão do combustível medido também reduz a força do lado da mola do diafragma regulador de pressão. Isto mantém a válvula reguladora totalmente aberta, derivando a saída da bomba.

Se um corte do motor é feito durante a condição de alta pressão (posição de manete em máxima tração), um orifício na linha de derivação de ar de impacto é colocado, para que a pressão na cavidade do corpo não possa aumentar para valores que possam danificar o controle de combustível.

Operação do sistema de computação

Através do posicionamento da válvula principal de medição, o sistema de computação seleciona um fluxo de combustível para cada condição operacional do motor. Esse fluxo de combustível é estabelecido através da válvula cilíndrica.

A figura 3-50 é uma representação esquemática do sistema de computação. As unidades que compõem esse sistema e sua operação são descritas nos parágrafos seguintes.

Conjunto servo de pressão de queima

Os conjuntos de controle do servo de pressão de queima controlam a posição do servo.

A posição do servo de pressão do compressor provê a entrada para a multiaplicação das ligações que atuam sobre a válvula aceleradora. O conjunto queimador consiste em duas cápsulas, uma que é ventilada para a pressão da câmara e outra que é evacuada.

As duas cápsulas estão instaladas, diametralmente opostas, em uma estrutura rígida, com seus terminais móveis conectados em uma haste comum.

Se a pressão de queima aumenta durante a operação, a cápsula esquerda se distende. Esse movimento é transmitido através da manete, conectada para a haste da cápsula, movendo a válvula piloto no servo de pressão do compressor.

O movimento da válvula piloto direciona alta pressão de combustível para a câmara servo do governador.

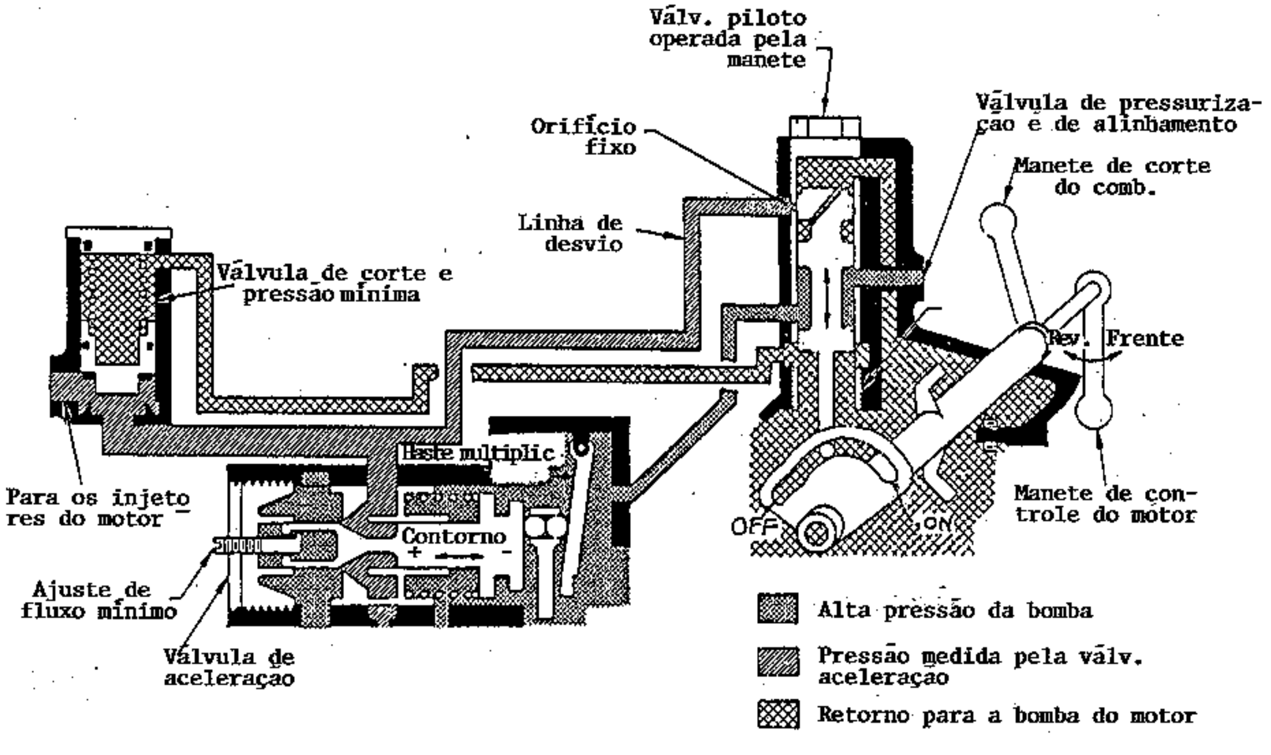

Válv. piloto operada pela manete
Orifício fixo
Linha de desvio
Válvula de corte e pressão mínima
Válvula de pressurização e de alinhamento
Manete de corte do comb.
Rev.
Frente
Haste multiplic
Contorno
+
-
OFF
ON
Para os injetores do motor
Ajuste de fluxo mínimo
Válvula de aceleração
Manete de controle do motor
Alta pressão da bomba
Pressão medida pela válv. aceleração
Retorno para a bomba do motor

Figura 3-49 Válvula piloto atuada pela aceleração.

A seção transversal da válvula servo do governador é maior que o terminal da câmara servo que está na extremidade oposta, o qual é atuado para cima pela alta pressão de combustível. Por este motivo, o aumento de pressão na câmara causa o movimento na válvula servo do governador, deste modo trocando a entrada da ligação da multiaplicação da válvula aceleradora. Assumindo que o servo do governador é estacionário, um aumento na pressão de queima deverá causar um aumento no fluxo de combustível. Quando o servo de pressão do compressor se move, a passagem de combustível aberta pelo movimento da válvula piloto é gradualmente fechada, até que o servo, seguido pelo acompanhamento da válvula piloto, assuma nova posição de equilíbrio. Se a pressão de queima diminui, a cápsula contrai, movendo a válvula piloto para que a câmara servo do governador seja drenada para a pressão do corpo. A alta pressão de combustível atuando no terminal da área menor do servo da válvula do governador, movimenta-o, portanto, há uma mudança na entrada para a ligação de multiaplicação da válvula aceleradora. Assumindo que o servo do governador é estacionário, a diminuição da pressão de queima causa uma diminuição no fluxo de combustível. A pressão da válvula servo do compressor se move para uma nova posição de equilíbrio, e isto é acompanhado novamente pela válvula piloto.

Servo do governador

O servo do governador controla o fluxo de combustível com a função de ajustar a velocidade do motor, levando em consideração do CIT (Compressor Inlet Temperature) e as limitações operacionais do motor.

O servo do governador (Figura 3-50) atua sobre a válvula aceleradora através da ligação de multiaplicação, em conjunto com o servo de pressão do compressor.

Para uma discussão da operação do servo do governador, deverá ser assumido que a válvula servo de pressão do compressor é estacionária. O governador servo é uma válvula "lançadeira", que atua com alta pressão de combustível em uma pequena área da extremidade do servo de pressão da válvula piloto do governador de velocidade atuando na outra extremidade.

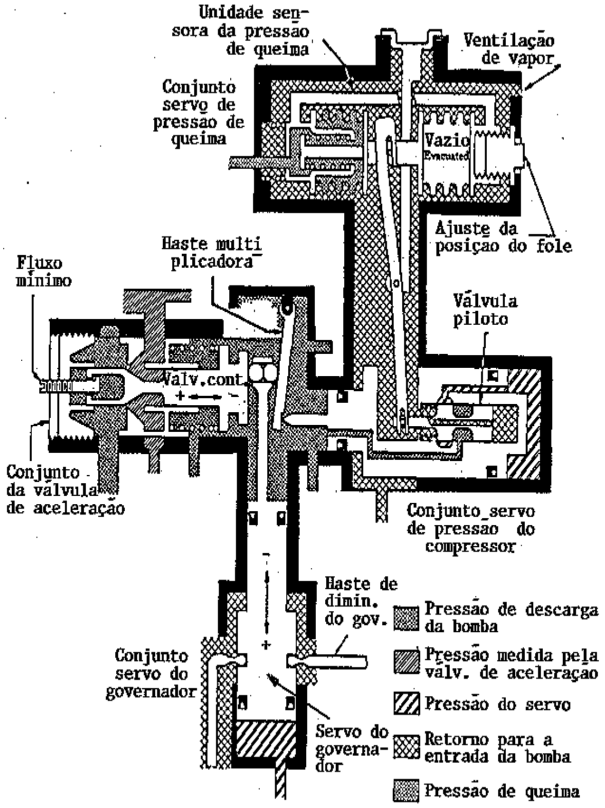

Unidade sensora da pressão de queima
Ventilação de vapor
Conjunto servo de pressão de queima
Vazio
Evacuated
Ajuste da posição do fole
Haste multiplicadora
Fluxo mínimo
Válvula piloto
Valv.cont.
+
-
Conjunto da válvula de aceleração
Conjunto servo de pressão do compressor
Haste de dimin. do gov.
Conjunto servo do governador
Servo do governador
Pressão de descarga da bomba
Pressão medida pela válv. de aceleração
Pressão do servo
Retorno para a entrada da bomba
Pressão de queima

Figura 3-50 Sistema de computação.

Se, devido a mudança da pressão do servo, a força exercida através desta pressão na extremidade da área maior do governador servo é maior que aquela exercida pela alta pressão na extremidade oposta, o servo do governador move-se e, através da ligação de multiaplicação, mantém a válvula aceleradora para o curso em direção a diminuição de fluxo. Inversamente, se a força exercida pela pressão do servo é menor do que a exercida pela alta pressão, o governador servo se move e aciona a válvula aceleradora na direção de aumentar o fluxo. O fluxo de combustível do servo para o servo do governador é controlado por

(1) governador de velocidade; e
(2) (2) pela válvula piloto limitadora de temperatura e "SURGE".

SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Regulagem do governador de velocidade

A regulagem do governador de velocidade (Figura 3-51) controla a posição do servo do governador, – ele é um governador tipo curva permanente centrífugo, acionado pelo rotor de alta velocidade do motor (N2), através de um trem de engrenagens. Quando a velocidade do motor aumenta, os contrapesos centrífugos tendem a se mover para fora, levantando a válvula piloto de seu ajuste de velocidade. Inversamente, quando a velocidade do motor diminui, os contrapesos centrífugos se movem para dentro e a válvula piloto é abaixada.

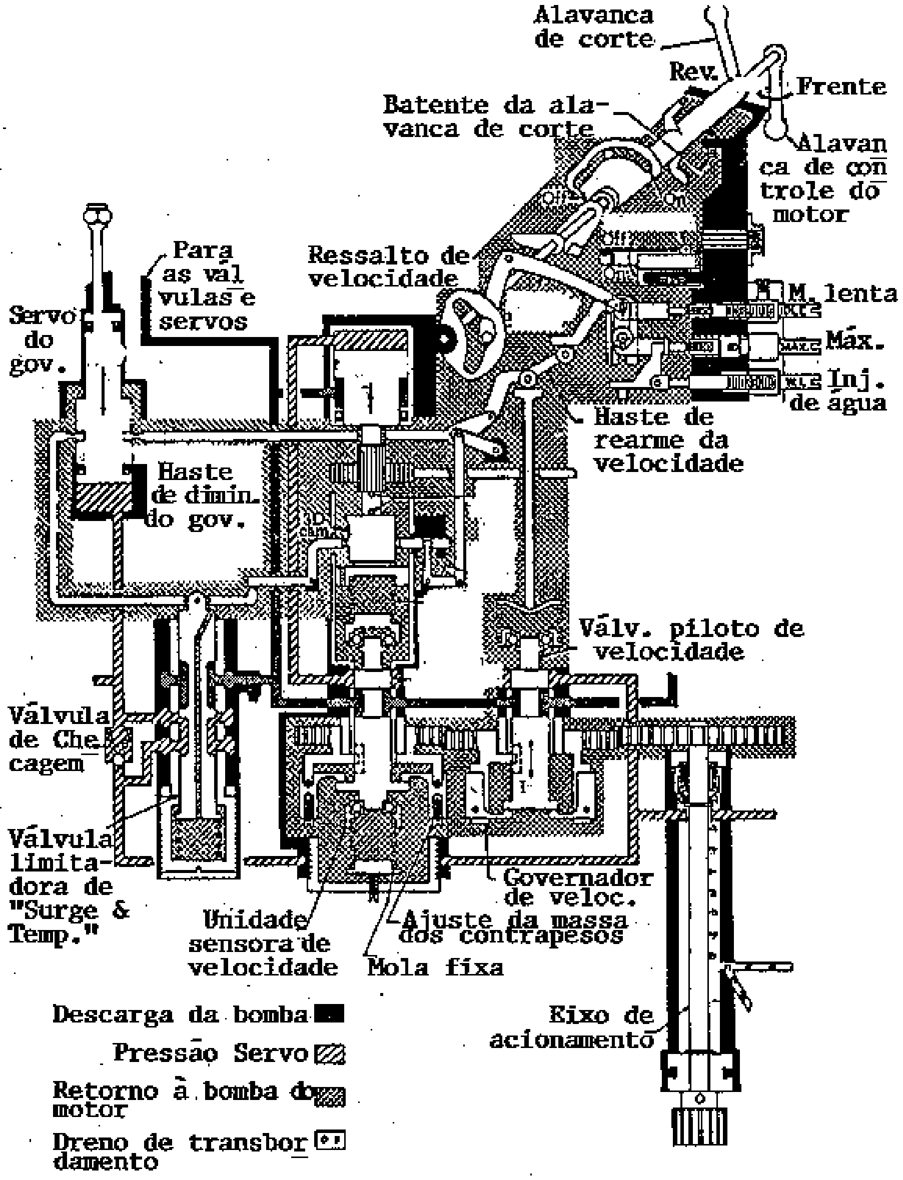

Alavanca de corte
Rev.
Frente
Batente da alavanca de corte
Alavanca de controle do motor
Para as válvulas e servos
Ressalto de velocidade
Servo do gov.
M. lenta
Máx.
Inj. de água
Haste de rearme da velocidade
Haste de dimin. do gov.
Válv. piloto de velocidade
Válvula de Checagem
Válvula limitadora de "Surge & Temp."
Governador de veloc.
Unidade sensora de velocidade
Ajuste da massa dos contrapesos
Mola fixa
Eixo de acionamento
Descarga da bomba ■
Pressão Servo ▨
Retorno à bomba do motor ▩
Dreno de transbordamento ⊡

Figura 3-51 Sistema de programação.

A manete de tração na cabine de comando posiciona os ressaltos de ajuste de velocidade na unidade de controle de combustível, para manipular o sistema de manetes e, desse modo, controlar a compressão da mola de velocidade. Esta, exerce força na válvula piloto de regulagem de velocidade.

A condição de "*ON SPEED*" indica que a força da mola de velocidade e a força dos contrapesos centrífugos estão iguais.

Quando a RPM excede àquela que a manete de tração ajustou, os contrapesos centrífugos do governador de velocidade se movem para fora, levantando a válvula piloto. Isto mede o combustível de alta pressão para o servo do governador, através da válvula "*OVERRIDE CHECK*".

O servo se move para cima, causando a diminuição da razão combustível/ar. Como a posição do governador servo é alterada, a manete se move em torno do ponto de pivotamento. O movimento da manete altera a compressão da mola de velocidade, que força a válvula piloto, enquanto o "centrífugo" de RPM força o balanceamento dos contrapesos, resultando na condição de equilíbrio "*ON SPEED*".

Inversamente, se a RPM do compressor de "ALTA" é mais baixa do que a demanda reguladora da manete de tração, os contrapesos se movem para dentro, permitindo a pressão do servo do governador drenar para a pressão de reforço. Isto permite qua a alta pressão de combustível no terminal oposto do servo desloque-o para baixo, aumentando a razão combustível/ar.

O reposicionamento da manete altera a força da mola de velocidade.

Os contrapesos e a força da mola de velocidade irão novamente equilibrar para a condição "*ON SPEED*".

As condições operacionais não são constantes. Portanto, a posição da curva de equilíbrio pode mudar. (Esta curva é ilustrada na figura 3-47).

As características de declínio da regulagem de velocidade do governador são utilizadas para prover novas regulagens - "*ON SPEED*". Por exemplo, a densidade do ar pode pressionar o compressor do motor, causando um decréscimo de velocidade. E, neste caso, a força dos contrapesos é menor do que a força da mola de velocidade, e a válvula piloto se move para baixo, aumentando o fluxo de combustível. Isto corrige a queda na RPM.

A manete diminui a força da mola de velocidade na válvula piloto. A manete ajusta levemente para baixo a RPM final, quando o sistema vai para "ON SPEED" para uma nova condição de equilíbrio.

As condições operacionais podem causar um aumento de velocidade no motor.

O fluxo de combustível é diminuído para esta condição, mas a manete reajusta o governador de velocidade para a condição "*ON SPEED*", e aumenta, ligeiramente, a RPM.

As características de declínio de curva indiretamente controlam a temperatura máxima da turbina através da limitação da RPM desta.

Partida

Durante a partida, um volume apropriado de combustível deve ser suprido, para assegurar que ela seja rápida e, durante algum tempo, mantenha as temperaturas na entrada da turbina dentro dos limites especificados.

Quando o motor parte, a manete de corte de combustível não é movida até aproximadamente 12 a 16% da RPM que é indicada no tacômetro. Nesta velocidade, a manete de corte é movida para a posição "ON". A velocidade de ignição está agora sendo obtida, mas o giro do motor deve continuar até que o motor possa acelerar além da velocidade de auto sustentação.

Quando a manete de corte está sendo avançada para a posição "ON", os procedimentos de aceleração devem ser os seguintes: (1) a manete de tração deve ser levada para o aumento máximo do fluxo de combustível; e (2) o ressalto de ajuste posiciona a haste de velocidade até que a mola do ajuste do governador seja comprimida além da força necessária, para contrabalançar a força centrífuga dos contrapesos.

Na partida, os contrapesos estão girando tão lentamente que a força da mola de velocidade é maior que a força dos contrapesos, e o ajuste de velocidade da válvula piloto é movido para baixo. Isto expõe a linha de pressão do governador servo para o dreno do corpo; e a alta pressão na extremidade oposta do servo do governador aciona o servo para baixo, aumentando o fluxo de combustível. Essa ação é representada pelos pontos 1 e 2 na figura 3-47.

Válvula de limite de temperartura e "*surge*"

A válvula limitadora (figura 3-51) sobrepuja a ação do governador de velocidade durante as rápidas acelerações, para assegurar que o "*SURGE*" e os limites operacionais de temperatura do motor não sejam excedidos.

A posição da válvula piloto limitadora é controlada através de uma haste. A haste é atuada pela posição do servo do governador, pela RPM do motor e pela temperatura de entrada do compressor.

Durante o estado de operação constante, uma passagem através da válvula limitadora está aberta entre o governador de velocidade e o governador servo, mantendo um fluxo de combustível com o qual o governador servo poderá ser controlado pelo governador de velocidade. Durante as rápidas acelerações, a válvula piloto limitadora é movida para restringir ou bloquear esta passagem.

A pressão é, deste modo, medida em torno do piso da válvula piloto limitadora, que deverá mover o servo do governador para controlar o fluxo de combustível numa razão máxima segura.

Quando o motor atingir a RPM ajustada, o governador de velocidade deverá dirigir o combustível de alta pressão para o servo do governador, para diminuir o fluxo de combustível.

Desde que a passagem através da válvula piloto limitadora possa ser bloqueada, uma válvula unidirecional é mantida para que o combustível em alta pressão possa ser derivado da passagem bloqueada, chegando ao governador servo, e diminuindo o fluxo de combustível para evitar um excesso de velocidade. Quando o servo do governador se move para diminuir o fluxo de combustível, a válvula piloto limitadora retornará à posição operacional de "*STEADY STATE*".

Ressalto tridimensional e unidade de translação

Os ressaltos tridimencionais operam através de hastes para prover uma limitação de velocidade de "*SURGE*" para a válvula "*SURGE*", limitação de temperatura e uma entrada de força para a mola do governador de velocidade.

O ressalto 3D são realmente dois ressaltos em um eixo comum.

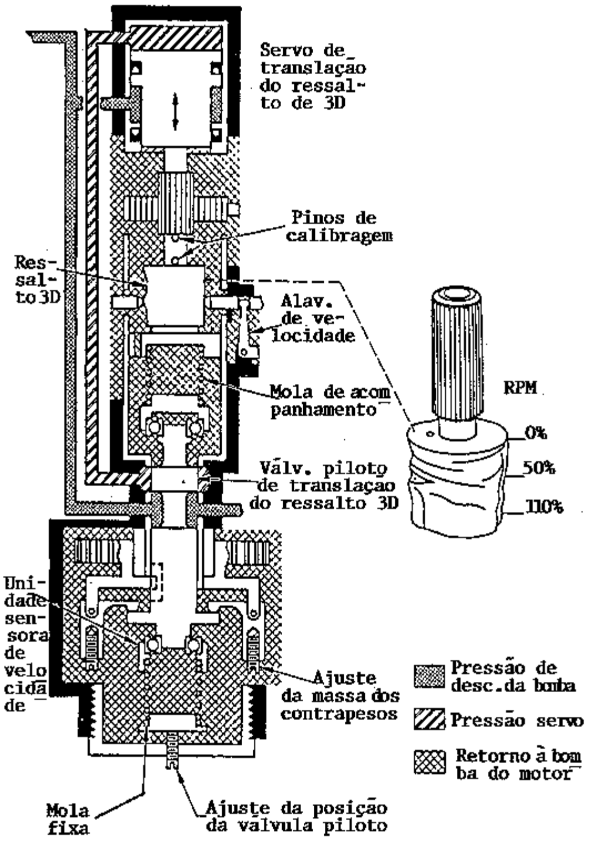

Servo de translação do ressalto de 3D
Pinos de calibragem
Ressalto 3D
Alav. de velocidade
Mola de acompanhamento
RPM
0%
50%
110%
Válv. piloto de translaçao do ressalto 3D
Unidade sensora de velocidade
Ajuste da massa dos contrapesos
Pressão de desc.da bomba
Pressão servo
Retorno à bomba do motor
Mola fixa
Ajuste da posição da valvula piloto

Figura 3-52 Unidade de translação e ressalto 3d.

Dois ressaltos cilíndricos (*CAMS*) foram mecanizados em sua superfície. Uma superfície cilíndrica inclinada posiciona a válvula "surge" e a limitadora de temperatura.

A outra superfície do ressalto não é usado no controle de combustível JFC-12-11. O ressalto 3D e a unidade de translação são mostradas na figura 3-52.

A RPM do motor é sentida pelos contrapesos centrífugos, e aciona a unidade sensível de velocidade através do motor por um trem de engrenagens.

A válvula piloto é balanceada entre uma mola fixa e as forças dos contrapesos.

Os contrapesos não movem o ressalto 3D diretamente, ele é posicionado através de outro ressalto 3D do servo de translação, conectado ao primeiro ressalto.

O servo do ressalto possui uma alta pressão de combustível (7 a 50 PSI), atuando em sua menor área durante todo tempo.

A área maior do servo do ressalto 3D, tanto é atuado para cima pela alta pressão do combustível da bomba do motor, ou é ventilado para o dreno do corpo de controle de combustível.

Quando a velocidade do motor aumenta, os contrapesos se movem para fora. A força dos contrapesos, mais a mola de retorno, movem a válvula piloto para baixo, comprimindo a mola fixa. A válvula piloto abre o porte da área maior do servo do ressalto 3D.

Quando a pressão do servo na câmara é direcionada para o dreno da cavidade do corpo, a alta pressão de combustível atua na área menor, levantando o ressalto do pistão do servo e o ressalto superior.

Como o ressalto se translada (move-se verticalmente), a força na mola de retorno é diminuida. Isto aumenta a força em cadeia, em oposição a força dos contrapesos. O resultado é que a própria válvula piloto retorna para a posição neutra, e o servo do ressalto pára de moverse.

Quando a velocidade do motor é reduzida, a força fixa da mola força os contrapesos para dentro, permitindo que se desloque a válvula piloto para cima. Isto dirige a alta pressão de combustível para a câmara do servo do ressalto.

O servo e o ressalto se movem para baixo. Como o ressalto se movimenta, o aumento da força da mola de retorno traz para neutro a válvula piloto.

Proteção do motor contra disparo (*overspeed*)

Se o sinal de RPM para o controle de combustível é rompido, o ajuste de velocidade do governador deverá reagir através das condições existentes de baixa velocidade do motor. A mola de velocidade força a válvula piloto para baixo, e alija a pressão do servo do governador; este último solicita mais combustível, que tende a causar disparo do motor.

O ressalto 3D desloca a válvula piloto, que também é posicionada pelo sinal de RPM. Com o sinal de RPM interrompido, a mola fixa empurra a válvula piloto para cima.

Alta pressão de combustível é dirigida através da válvula piloto, e força o ressalto servo e o 3-D para baixo, na posição 0% de RPM. O ressalto circular de 0% de RPM provê um conhecido fluxo constante de combustível. Esta ação previne o programa de excesso de combustível, protegendo o motor contra disparo, se o acionamento do controle de combustível falhar.

Aceleração do motor

O programa de aceleração é mostrado nos pontos 4,5,6,7,8 e 9 na figura 3-47.

O posicionamento do servo do governador é similar àquele do programa de partida. Em "lenta", o motor é operado na extremidade esquerda da curva de equilíbrio do ponto quatro (4). Para iniciar a aceleração, a manete de tração na cabine de comando é movida na direção "*TAKE OFF*", causando um imediato salto no fluxo de combustível.

Quando a manete de tração é movida, o ressalto de ajuste aumenta a carga na mola de velocidade. Esse aumento causa um outro aumento de velocidade na válvula piloto do governador para mover-se para baixo, permitindo a pressão certa para dreno, da extremidade de área maior do servo do governador. A alta pressão na extremidade oposta força o servo do governador para baixo, aumentando a razão combustível/ar.

Esta ação é representada entre os pontos quatro e cinco (4 e 5).

O programa de combustível, durante a aceleração dos pontos cinco e oito (5 e 8), é similar para a operação discutida sobre a partida com a manete de potência ajustada em "lenta". Após o ponto oito (8), as características de declínio do governador reduzem a razão combustível/ar, quando a velocidade do compressor aumenta até que a operação de equilíbrio é alcançada no ponto nove (9).

Desaceleração do motor

Quando a desaceleração é desejada, a manete de potência na cabine de comando é retardada, reduzindo a compressão na mola de velocidade.

A válvula piloto de velocidade do governador se move para cima (da força centrífuga); e alta pressão de combustível é dirigida para o lado de baixo do servo do governador através da válvula "unidirecional". O governador servo é movido para cima à razão mínima, representado pelo ponto dez (10) na figura 3-47. O fluxo de combustível do ponto dez/onze (10/11) é determinado pela posição do servo de pressão do compressor.

A pressão de queima programa o fluxo de combustível como se o motor perdesse RPM, continuando até que a própria válvula aceleradora se encaminhe contra o batente de fluxo mínimo, onde ela pode fechar sem problema.

Esses são os pontos onze e doze na curva (11 e 12). O limite de fluxo mínimo representa a condição mínima de auto sustentação do motor. A razão combustível/ar mínima é projetada para evitar o apagamento por pouco combustível nas áreas.

SISTEMA DE REARME COM INJEÇÃO DE ÁGUA

Em dias quentes, a tração é reduzida por causa da diminuição na densidade do ar. Isto pode ser compensado através da injeção de água na entrada do compressor ou no alojamento do difusor; baixando a temperatura e aumentando a densidade do ar.

Um contator (Micro Switch) no controle de combustível é atuado pelo eixo de controle, quando a manete de tração é movida para posição de tração máxima.

A injeção de água reajusta a velocidade do servo (figura 3-53), recalibrando a velocidade ajustada para valores mais altos durante a injeção de água.

Sem este ajustamento, o controle de combustível iria diminuir a RPM para que nenhum adicional de tração fosse realizado durante a injeção.

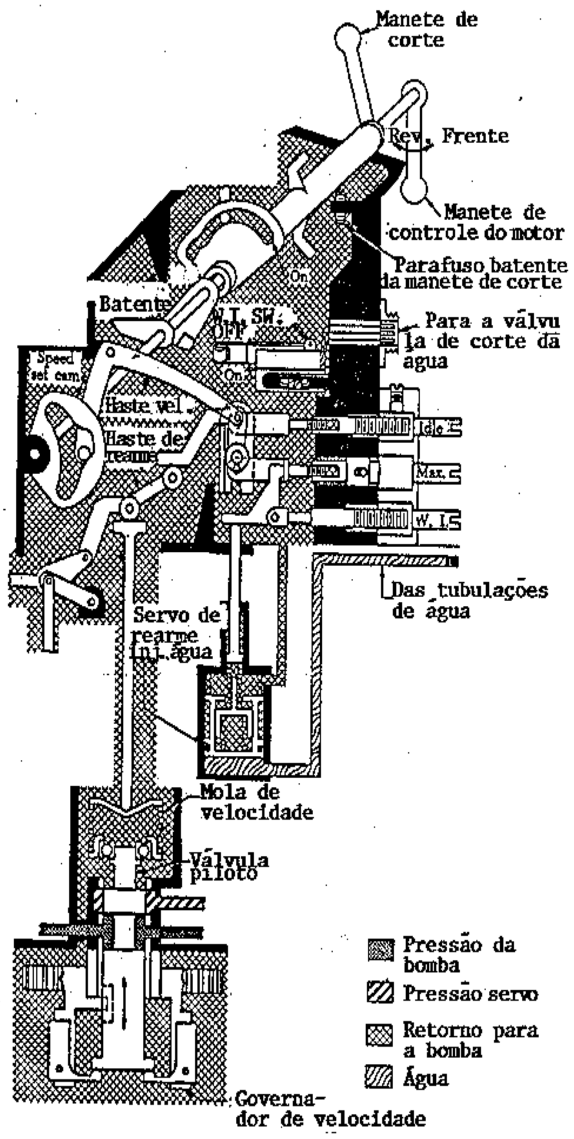

Manete de corte
Rev.
Frente
Manete de controle do motor
Parafuso batente da manete de corte
On
Batente
W.I. SW.
OFF
Para a válvula de corte da água
On
Speed set cam
Haste vel.
Haste de rearme
Idle
Max.
W.I.
Das tubulações de água
Servo de rearme inj. água
Mola de velocidade
Válvula piloto
Pressão da bomba
Pressão servo
Retorno para a bomba
Água
Governador de velocidade

Figura 3-53 Sistema de rearme com injeção de água.

O servo é uma válvula "SHUTTLE" que é atuada para cima pela pressão de água durante a injeção de água.

O movimento do servo desloca uma manete na operação da haste de ressalto para a mola de velocidade no governador, aumentando a força da mola e a calibragem.

Devido a resultante RPM ser maior enquanto a água está fluindo, o aumento da tração durante a injeção da água é assegurado.

Se o sistema de injeção de água não é armado na cabine de comando, ou, se não houver disponibilidade de água, nada acontece quando a chave de injeção de água na unidade de controle de combustível é atuada. Quando a água é disponível, uma porção é direcionada para o reajuste de velocidade do servo.

MANUTENÇÃO DO CONTROLE DO COMBUSTÍVEL DOS JATOS

O reparo do controle do jato de combustível é muito limitado. Os reparos permitidos na pista são de substituição do controle e ajustes após serviços. Esses ajustes são limitados para a RPM de lenta e ajustes de velocidade máxima, comumente chamada "*TRIMMING*" do motor. Ambos os ajustes são feitos no limite normal de operação.

Durante o "*Trimming*" do motor, o controle de combustível é verificado quanto a RPM de lenta, máxima, aceleração e desaceleração. Os procedimentos usados para verificar o controle de combustível variam, dependendo do avião e da instalação do motor.

O motor é "ajustado" de acordo com os procedimentos do manual de manutenção, ou revisão, para cada motor em particular. Em geral, o procedimento consiste na obtenção da temperatura do ar ambiente e da pressão barométrica na pista (não ao nível do mar). Deve-se obter a temperatura real, lida e comparada, do ar que deverá entrar no motor. Usando essas leituras, a pressão de descarga da turbina desejada, e lida, é computada de cartas publicadas no manual de manutenção.

O motor é operado em tração máxima (ou no controle de combustível no batente de "TRIM") por um período suficiente de tempo, para assegurar-se que está completamente estabilizado.

Cinco minutos é o período usualmente recomendado para a estabilização. Uma verificação deve ser feita para se assegurar de que as válvulas de sangria de ar do compressor estão totalmente fechadas, e que todos os acessórios acionados por sangria de ar (como a curva "TRIM") não estão sendo corrigidos.

Quando o motor estiver estabilizado, uma comparação é feita, a pressão de descarga da turbina (ou EPR) é computada para determinar o volume aproximado de calibragem necessária.

Se uma calibragem é necessária, o controle de combustível do motor é então ajustado para obter a pressão de descarga da turbina desejada, ou "EPR", no manômetro. Imediatamente, seguindo o ajuste do controle de combustível, a leitura do tacômetro é observada e gravada. O fluxo de combustível e as leituras de temperatura dos gases de descargas também devem ser medidos.

Nos motores Pratt and Whitney, que usam compressor duplo, é observado a leitura do tacômetro de N2, em seguida corrigido pela velocidade parcial por meios da curva de temperatura/RPM.

A observação da leitura do tacômetro é dividida pela velocidade percentual do "TRIM" obtida da curva. O resultado é um novo ajuste de velocidade em percentagem do motor, corrigido para a temperatura do dia STANDARD (59F ou 15°C). A nova velocidade de ajuste na RPM pode ser calculada, quando a RPM lida no tacômetro for 100%.

Esse valor pode ser obtido no manual do motor apropriado. Se todos estes procedimentos tiverem sido concluídos satisfatoriamente, o motor foi calibrado.

O ajuste fino do motor deve sempre ser conduzido sob condições precisas e controladas, com o avião virado para o vento. O controle preciso é necessário para assegurar a manutenção de nível mínimo de tração sobre a qual o desempenho do avião é baseado.

Em adição, o controle preciso do ajuste fino do motor contribui para melhorar em termos, como o máximo tempo entre revisões e o tempo mínimo fora de operação, devido as necessidades de manutenção do motor. Motores jamais devem ser ajustados se existirem condições de gelo.

COMPONENTES DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL DO MOTOR

Bombas principais de combustível (acionadas pelo motor)

As bombas principais de combustível liberam um suprimento contínuo, a uma pressão apropriada em todo o tempo durante a operação do motor do avião.

As bombas de combustível, acionadas pelo motor, devem ser capazes de liberar o máximo de fluxo necessário em alta pressão, para obter um jato satisfatório no injetor, assim como apurada regulagem de combustível.

As bombas de combustível para motores turbojato são geralmente do tipo engrenagem e de descarga, positiva ou pistão.

O termo descarga positiva (Positive Displacement) significa que a engrenagem, ou o pistão, deverão suprir uma quantidade fixa de combustível para o motor a cada revolução das engrenagens da bomba ou cada golpe do pistão.

Essas bombas de combustível podem ser divididas em duas categorias distintas de sistema: descarga constante; e descarga variável. O seu uso depende da regulagem do fluxo de combustível para o controle.

Isto tanto pode ser uma válvula de alívio de pressão (unidade barométrica) para uma descarga constante das bombas (tipo engrenagem) como um método para regular a saída do combustível nas bombas de descarga variável (tipo pistão).

Bomba de descarga constante

As bombas tipo engrenagem possuem aproximadamente a mesma característica nas linhas de fluxo, onde houver necessidade de flutuação de combustível em condições de vôo ou ar ambiente.

Portanto, a bomba de capacidade adequada a todas as condições operacionais dos motores deverá ter excesso de capacidade acima do limite de operação.

Esta é a caracteristica que requer o uso de uma válvula de alívio de pressão para descarregar o excesso de combustível. Uma típica bomba tipo engrenagens, de descarga constante, é ilustrada na figura 3-54. O impelidor, que é acionado a uma maior velocidade que os elementos de alta pressão, aumentam a pressão do combustível de 15 a 45 PSI, dependendo do aumento da velocidade do motor. O combustível é descarregado do elemento da bomba (impelidor) para a engrenagem dos elementos de alta pressão.

Cada um desses elementos descarrega combustível através de uma válvula unidirecional para um porte de descarga comum. Os elementos de alta pressão liberam aproximadamente 51 "galões" por minuto a uma pressão de descarga de 850 PSIG.

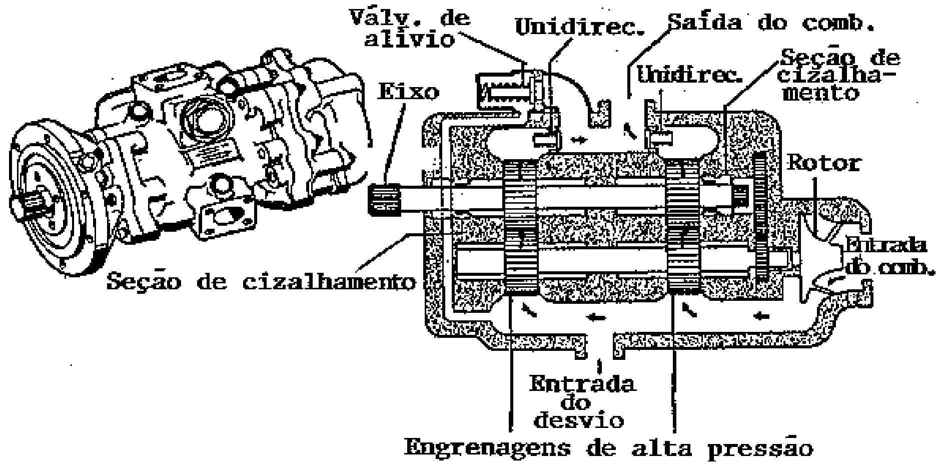


Figura 3-54 Bomba de combustível acionada pelo motor.

Seções de lâminas são incorporadas no sistema de acionamento de cada elemento. Deste modo, se um elemento falhar o outro continua a operar. A válvula unidirecional previne a circulação através do elemento inoperante. Um elemento pode suprir combustível suficiente para manter velocidades moderadas do avião.

Uma válvula de alívio é incorporada no porte de descarga da bomba. Essa válvula abre com aproximadamente "900 PSI", e é capaz de derivar o total do fluxo as "960 PSI". Isto permite que o excesso de combustível necessário para a operação do motor seja recirculado. A derivação do combustível é dirigida para o lado de entrada dos dois elementos de alta pressão.

Bomba de descarga variável

O sistema da bomba de descarga variável difere do sistema de descarga constante. A descarga da bomba é trocada para manter a variação necessária no fluxo de combustível; isto é, a quantidade de combustível descarregada da bomba pode ser feita para variar em qualquer velocidade.

Com uma bomba de fluxo variável, a aplicação da unidade de controle de combustível pode, automatica e precisamente, regular a pressão da bomba e liberar para o motor.

Onde as bombas de descarga variáveis são instaladas, duas bombas similares são necessárias, conectadas em paralelo. Cada uma pode transmitir a pressão, se a outra em paralelo falhar durante as operações normais. Neste tempo, uma bomba pode ser insuficiente para manter a força necessária.

A duplicação das bombas aumenta a segurança em operação, especialmente durante as decolagens e pousos.

Na descarga positiva, a bomba tipo impacto variável incorpora um rotor, um pistão, um governador de velocidade máxima, e o mecanismo da válvula de alívio.

Aquecedor de combustível

O sistema de combustível de motores de turbina a gás são muito sucetíveis a formação de gelo nos filtros de combustível.

Quando o combustível nos tanques do avião resfriarem a 32°F, ou abaixo, a água residual do combustível tende a congelar quando está em contato com a tela do filtro.

O aquecedor de combustível (*Fuel Heater*) opera como um trocador de calor. O aquecedor pode usar ar sangrado ou óleo de lubrificação do motor como fonte de aquecimento.

Este tipo de formação é chamado um trocador “ar para líquido”, e o último tipo é conhecido como trocador de “líquido para líquido”.

A função do aquecedor é proteger o sistema de combustível do motor da formação de gelo. Contudo, estando o gelo formado, o aquecedor pode também ser usado para descongelar a tela do filtro de combustível.

Em algumas instalações, o filtro de combustível é equipado com uma chave de alarme de queda de pressão, que ilumina uma luz de aviso no painel de instrumentos da cabine de comando. Se o gelo começar a se formar na superfície do filtro, a pressão através dele deverá lentamente cair.

Quando a pressão chegar a um valor prédeterminado, a luz de aviso acenderá. Os sistemas de degelo de combustível são projetados para serem usados intermitentemente. O controle do sistema pode ser manual, através de uma chave na cabine de comando, usando um elemento sensível termostático no aquecedor de combustível, para abrir ou fechar o ar ou a válvula de corte do óleo. O aquecedor de combustível que tem operação automática é ilustrado na figura 3-55.

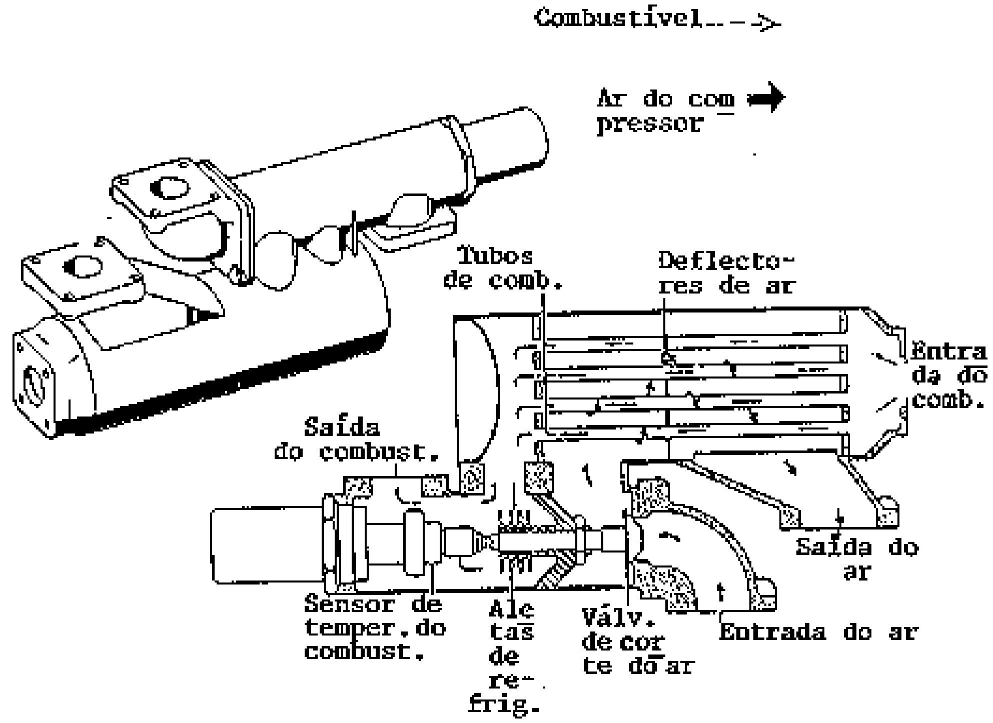

Combustível
Ar do compressor
Tubos de comb.
Deflectores de ar
Entrada do comb.
Saída do combust.
Saída do ar
Sensor de temper. do combust.
Aletas de refrig.
Válv. de corte do ar
Entrada do ar

Figura 3-55 Aquecedor de combustível.

Filtros de combustível

Um filtro de baixa pressão é instalado entre o suprimento dos tanques e o sistema de combustível do motor, para proteger a bomba de combustível acionada pelo motor e vários outros mecanismos de controle. Um filtro adicional de alta pressão é instalado entre a bomba e o controle de combustível, para proteger o controle de contaminações.

Os três tipos mais comuns de filtros em uso são: o micro filtro, filtro de tela tipo colméia, e o filtro tipo malha peneira. O uso individual de cada um desses filtros é ditado pela necessidade do tratamento de filtragem em cada lugar.

O micro filtro (Figura 3-56) tem a maior ação de filtragem de qualquer tipo de filtro até o presente momento e, como o nome diz, a razão é em "MICRONS" (um micron é a milésima parte de um milímetro). A porosidade do material de celulose, frequentemente usado na construção dos cartuchos filtros, é capaz de remover material estranho medindo de 10 a 25 MICRONS. As pequenas passagens tornam este tipo de filtro de fácil obstrução; por este motivo, uma válvula de derivação (Bypass) é necessária como fator de segurança.

O papel do microfiltro é fazer um trabalho completo de remoção de material estranho, especialmente necessário entre o tanque de combustível e o motor.

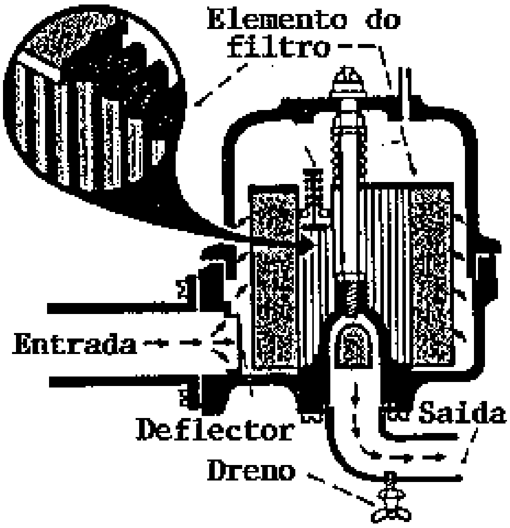

Elemento do filtro
Entrada
Deflector
Saída
Dreno

Figura 3-56 Filtro de combustível do avião.

O material de celulose (Papel) também absorve água, prevenindo que esta passe através das bombas. Se a água conseguir passar através do filtro, que acontecerá quando o filtro começar a ser saturado com água, ela pode, e causará, rápido dano ao elemento de trabalho da bomba e da unidade de controle (desde que estes elementos dependam somente do combustível para sua lubrificação).

Para reduzir os danos produzidos pela água nas bombas e unidades de controle, periodicamente é imperativa a verificação e substituição dos elementos do filtro. Se, diariamente o combustível dos alojamentos dos tanques e dos filtros de baixa pressão for drenado muitos problemas com filtros serão eliminados. Não se pode deixar de prevenir a manutenção indevida das bombas e unidades de controle de combustível.

A maior grandeza (capacidade filtrante), usada nos filtros, é a malha 200 e a de 35 MICRONS. Elas são usadas nas bombas e controle de combustível; e, entre a bomba e o controle de combustível, onde a remoção de partículas de tamanho micrométricas for necessária. Esses filtros, usualmente feitos de uma fina malha de fio de aço, são uma série de camadas.

O filtro tipo colméia (Figura 3-57) possui um elemento substituível, que é feito em discos de camada de tela de bronze, latão, aço ou material similar. Esse tipo de filtro é capaz de remoção de partículas tamanho micrométricas, e também possui resistência para alta pressão. O filtro tipo tela de malha é o mais comum, usado em motores de combustão interna para todos os tipos de combustível e de óleo.

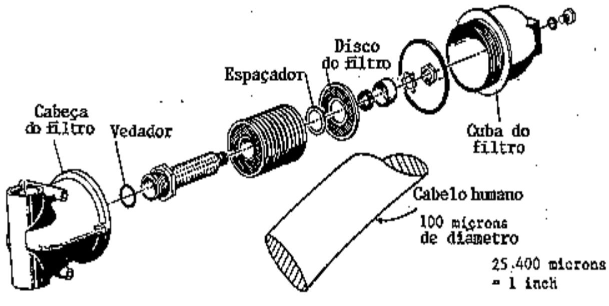


Figura 3-57 Filtro colméia.

Hoje em dia, motores turbojato estão usando esse filtro em unidades onde a ação filtrante não é muito crítica, assim como em linhas de combustível antes dos filtros das bombas de alta pressão.

O tamanho da malha deste tipo de filtro varia de acordo com o propósito para o qual este será usado.

Injetores de combustível e duto principal de combustível

Embora os injetores de combustível sejam uma parte integral do sistema, seu projeto é rigorosamente ligado ao tipo de câmara de combustão, na qual eles serão instalados.

Os injetores levam combustível à área de combustão em alta atomização, para que a queima seja completada igualmente, no menor tempo e espaço possível.

É muito importante que o combustível seja igualmente distribuído e melhor centrado na área da chama com os queimadores. Isto é para excluir a formação de qualquer ponto quente nas câmaras de combustão, e para prevenir e expansão da chama através da câmara.

Os tipos de injetores de combustível variam consideravelmente entre os motores, embora a maior parte do combustível seja injetado na área de combustão sob pressão, através de pequenos orifícios nos injetores. Os dois tipos de injetores de combustível geralmente usados são das configurações simples e a dupla.

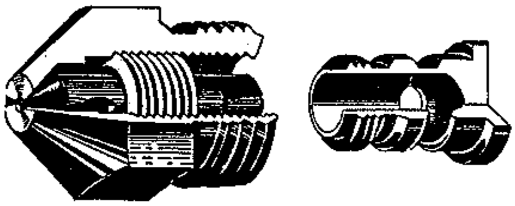


Figura 3-58 Injetor simples.

O injetor duplo usualmente requer um duto duplo e uma válvula pressurizadora ou divisora de fluxo, para dividir os fluxos primário e principal, mas o injetor simples requer apenas um duto simples para liberação adequada de combustível.

Os injetores de combustível podem ser construídos para serem instalados de várias maneiras. Os dois métodos usados freqüentemente são: (1) montagem externa, onde a espera de montagem é providenciada para fixação dos injetores no alojamento ou no cotovelo de entrada de ar com o injetor próximo ao domo; ou

(2) montagem interna na linha do domo, no qual a cobertura do alojamento da câmara deve ser removida para a substituição ou manutenção do injetor.

Injetor de combustível simples

O injetor de combustível simples foi o primeiro tipo de injetor usado em motores turbojato, e foi substituído em muitas instalações pela injetor duplo, que proporcionava melhor atomização nas partidas e em velocidades lentas.

O injetor simples (figura 3-58) está sendo usado para uma determinada condição, ele consiste de um bico injetor, um inseridor, e um filtro feito de uma fina malha de tela e um suporte.

Injetor duplo de combustível

O injetor duplo de combustível é o injetor mais usado em motores de turbina a gás. Como mencionado anteriormente, seu uso requer uma divisora de fluxo, mas ao mesmo tempo ele oferece uma atomização desejável, para a combustão ao redor de uma larga faixa de pressões de operação. Um injetor deste tipo é ilustrado na figura 3-59 .

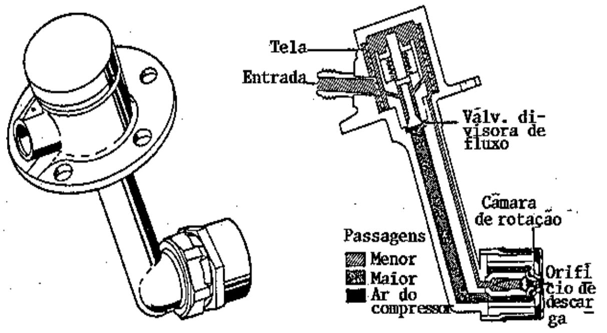


Figura 3-59 Injetor de combustível duplo.

Divisor de fluxo

Um divisor de fluxo em cada injetor cria um suprimento de combustível primário e secundário, os quais são descarregados separadamente, e os bicos e atomizadores concêntricos, desse modo, proporcionando uma atomização no ângulo adequado para todos os fluxos de combustível.

O combustível chega na entrada do injetor e passa através da tela.

A passagem furada no injetor mantém a direção do combustível através da segunda tela dentro da câmara primária.

Os portes de entrada para a câmara são furados para causar uma mudança brusca na direção do combustível ao entrar na câmara, conferindo um movimento rotativo para o combustível.

O movimento rotativo do combustível estabelece o ângulo e ajuda a atomização do combustível para melhor combustão. O combustível da câmara é descarregado através do bico primário do atomizador para dentro da câmara de combustão.

Princípio de operação

Quando a pressão do combustível atingir aproximadamente 90 PSIG, ela abre o divisor de fluxo, e o combustível é direcionado para dentro da segunda passagem furada na haste. O combustível da passagem secundária é direcionado para dentro da câmara.

O combustível rotativo da câmara secundária é descarregado, através do bico injetor secundário, para dentro da câmara de combustão. A figura 3-60 ilustra um atomizador de um típico injetor duplo.

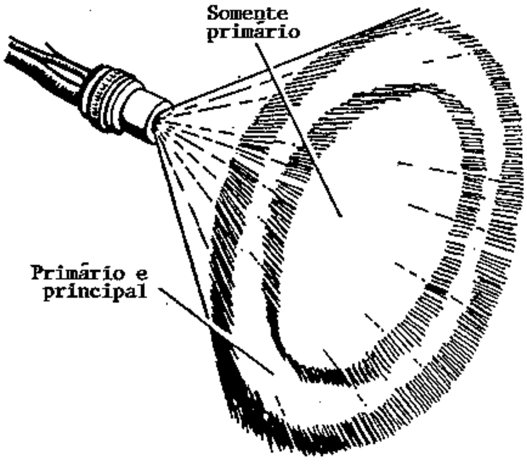


Figura 3-60 Jato do injetor duplo.

Uma pequena quantidade de ar é jogada para fora da massa de ar principal pela estrutura ao redor do bico injetor, para refrigerar. Em adição, o fluxo de ar de refrigeração ajuda a combustão pelo retardamento da acumulação dos depósitos de carvão na face do injetor, e, por providenciar, algum ar para a combustão, o qual ajuda a conter o fogo no centro da câmara.

Válvula pressurizadora e de drenagem

A vávula pressurizadora de combustível é usualmente necessária em motores que possuem injetores de combustível duplo, para dividir o fluxo para dentro dos dutos primário e principal.

Nos fluxos de combustível, necessários para a partida e marcha lenta de vôo, todo o combustível passa através da linha primária. Quando há o aumento do fluxo de combustível, a válvula começa a abrir para a linha principal, até que o fluxo máximo da linha esteja passsando aproximadamente 90% de combustível.

As válvulas de pressurização de combustível deverão, usualmente, apanhar o combustível na parte fronteira do duto principal, dando um corte positivo.

Este corte previne que o combustível fique gotejando no duto principal e, através das injetoras de combustível, eliminando o maior grau de pós-queima e carbonização dos injetores de combustível.

A carbonização ocorre porque as temperaturas na câmara de combustão se tornam mais baixas, e o combustível não é completamente queimado.

Um típico exemplo deste arranjo na válvula pressurizadora e "*DUMP*" é usado no motor "*PRATT and WHITNEY J.T3*". Esta válvula executa duas funções maiores, como indicado através de seu nome: (1) durante a operação do motor ela divide o fluxo de combustível medido em duas porções, primário e secundário, como requerido para a atomização nos injetores de combustível; (2) no corte do motor provê um sistema de drenagem que conecta o duto principal de combustível para um dreno no exterior.

Um divisor de fluxo executa, essencialmente, a mesma função que a válvula pressurizadora. Isto não é raro para unidades que executam funções idênticas para terem diferente nomenclatura entre motores.

Válvulas dreno

As válvulas dreno são unidades usadas para drenagem de combustível de vários componentes do motor, onde o combustível acumulado é mais propenso a apresentar problemas na operação.

É um problema, com risco de fogo, a possibilidade de acumulação na câmara de combustão; outro problema é o depósito de borra depois da evaporação, em alguns lugares como: duto principal e injetores de combustível.

Em alguns instantes, o duto principal de combustível é drenado através de uma unidade individual, conhecida como válvula "DRIP" ou "DUMP". Este tipo de válvula pode operar através da pressão diferencial, ou também pode ser operada por solenóide.

A válvula dreno da câmara de combustão drena todo combustível que se acumula na câmara após cada parada do motor; ou drena combustível que foi sendo acumulado durante uma falsa partida. Se a câmara de combustão é tipo caneca, o combustível será drenado pela gravidade através dos tubos de chama ou tubos interconectores, até serem colhidos da parte inferior da câmara, onde são fixados com linhas para a válvula dreno.

Se a câmara de combustão é do tipo anular, o combustível deverá simplesmente drenar através dos orifícios de ar na câmara, e acumular no reservatório na parte inferior do alojamento, que está conectado para a linha dreno.

Depois que o combustível acumula na linha, a válvula dreno o mantém para ser drenado, –quando a pressão dentro do duto principal ou nos queimadores houver sido reduzida para perto da pressão atmosférica.

É imperativo que esta válvula seja mantida trabalhando em boas condições, para drenar o combustível acumulado em cada parada do motor.

De outro modo, uma partida quente, durante a próxima tentativa, ou uma pós-queima, depois do corte, é possível que ocorra.

UNIDADE INDICADORA DE QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL

As unidades de quantidade de combustível variam de uma instalação para outra. Um contador ou indicador de combustível, montado no painel de instrumento, é eletricamente conectado a um medidor de fluxo instalado na linha de combustível do motor.

O contador de combustível, ou totalizador, é similar em aparência a um odômetro de automóvel. Quando o avião é abastecido, o contador é manualmente ajustado para o número total de libras de combustível em todos os tanques.

Quando o combustível passa através do elemento medidor do indicador de fluxo, ele envia impulsos elétricos para o contador de combustível. Esses impulsos atuam o mecanismo do contador de combustível, a fim de que o número de libras, que passa para o motor, seja subtraído da leitura original.

Desse modo, o contador mostra continuamente a quantidade total de combustível, em libras, remanescente no avião. Contudo, existem certas condições que poderão fazer com que a indicação do contador de combustível não seja confiável.

Qualquer jateamento de combustível é indicado no contador, e considerado disponível para o uso. Qualquer combustível que vaze do tanque, assim como o montante da linha de combustível do medidor de fluxo, não são contados.

INJEÇÃO DE ÁGUA

A sensibilidade dos motores a turbina para com a temperatura de entrada do compressor, resulta em uma apreciável perda de tração disponível, ou força no alojamento do motor a jato, em um dia quente.

Em alguns momentos, é necessário o aumento da tração de saída. A injeção de água é um meio de aumentar a tração do motor. Isto reduz as temperaturas da seção quente, e o fluxo de combustível pode ser aumentado, obtendo-se grande tração por este meio.

O aumento de tração é particularmente desejável na decolagem, quando um motor de avião é solicitado para a maior resposta de força. Por isso, o sistema de injeção de água é projetado para funcionar apenas em alta tração do motor. O efeito sobre a tração do motor depende do tipo de refrigerante usado, a proporção dos ingredientes, e a quantidade do fluxo do refrigerante.

Para uma refrigeração efetiva, um líquido com uma alta temperatura de vaporização é necessário.A água é o refrigerante mais desejado. O álcool é adicionado ocasionalmente em variadas proporções, para baixar o ponto de congelamento do refrigerante ou para eliminar a necessidade de um enriquecimento, separado da mistura de combustível, que pode ser necessário se apenas água pura for usada.

Quando o álcool é adicionado, algum pequeno volume adicional de tração pode ser produzido com sua queima. Contudo, a eficiência da combustão do álcool é normalmente baixa.

O valor de aquecimento do álcool metílico ou etílico é apenas em torno da metade do querosene ou gasolina.

A maior parte do fluxo da mistura álcool/ar não passará pela zona de combustão, onde as temperaturas são bastante altas para suportar eficientemente a combustão da fraca mistura álcool/ar. Poucos motores usam injeção de água atualmente.

Operação do sistema de injeção de água

Um típico sistema duplo de injeção de água é ilustrado na figura 3-61.

O sistema duplo significa, atualmente, dois sistemas independentes. Um sistema injeta água na seção de entrada do compressor do motor; e a potência é grandemente aumentada através do efeito do aumento da massa do fluxo de ar.

O outro sistema injeta água dentro do alojamento do difusor do motor. Este sistema aumenta consideravelmente a tração através do princípio de refrigeração, que permite altos fluxos de combustível.

O sistema de injeção de água é projetado para operação dupla, em temperaturas ambientes acima de 5°C (40°F).

Em temperaturas acima de 5°C, a injeção na entrada do compressor não deve ser usada por causa do perigo da entrada de gelo que poderá ocorrer.

A água do sistema do tanque do avião é dirigida para as duas válvulas de corte, que governam o fluxo para os dois controles de injeção de água.

As válvulas de corte são armadas através da atuação de uma chave na cabine de comando. A(s) válvula(s) seletora(s) abrem ou fecham no momento que um sinal elétrico da chave do controle de injeção de água for recebido.

Com a manete de tração avançada para a posição de decolagem, a chave de controle de injeção de água supre um sinal "OPEN" para a (s) válvula (s) de corte selecionadas. Inversamente, quando a manete de tração é retardada abaixo do ponto de acionar a água, a chave supre um sinal "CLOSE" para a(s) válvula(s) de corte. Da válvula de corte aberta flui a água para os controles de injeção.

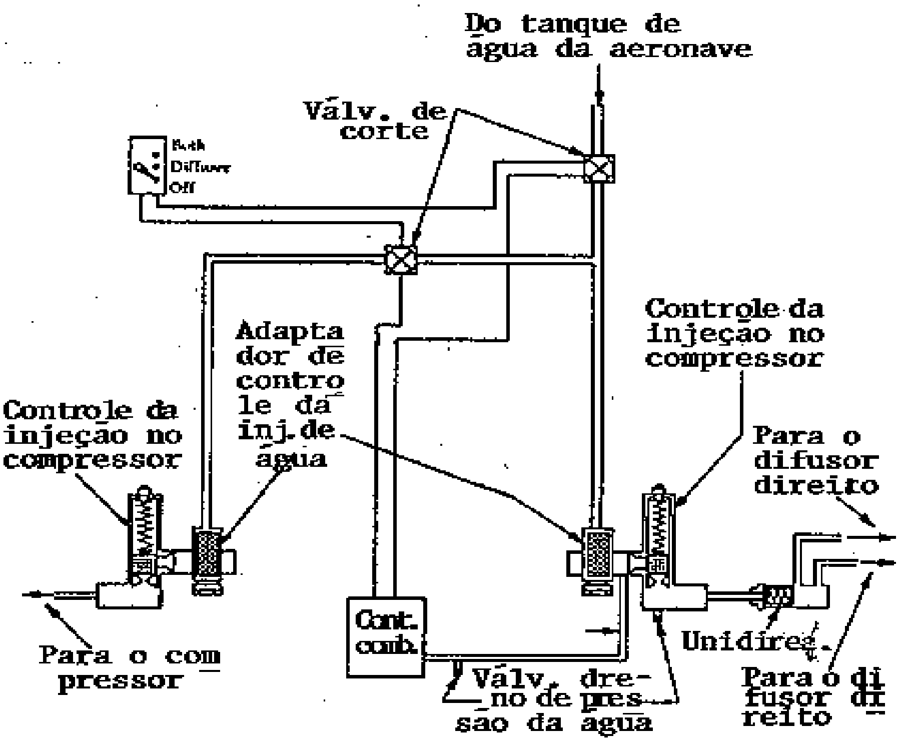

Do tanque de água da aeronave
Válv. de corte
Both
Diffuser
Off
Adaptador de controle da inj. de água
Controle da injeção no compressor
Controle da injeção no compressor
Para o difusor direito
Para o compressor
Cont. comb.
Válv. dreno de pressão da água
Unidirec.
Para o difusor direito

Figura 3-61 Sistema típico de injeção de água

Desde que o sistema de injeção de água seja usado apenas quando a tração estiver ajustada para o máximo, ou perto do máximo, os controles não fazem variação nem medem o fluxo de água. Em lugar disto, eles mantém uma pressão constante de saída através de um orificio fixo, deste modo mantendo o fluxo de água constante para o motor. A água do controle de injeção da entrada do compressor é direcionada para um duto principal, e atomizado diretamente dentro do compressor neste ponto.

Do controle do alojamento do difusor a água passa através de uma válvula unidirecional e, é então, direcionada para um duto principal divisor, do qual é atomizada dentro do alojamento do divisor.

Quando o sistema de injeção de água não está em uso, a válvula unidirecional também não estará, prevenindo que o ar com alta temperatura de descarga do compressor retorne pela tubulação do sistema de injeção de água.

Válvulas dreno, localizadas abaixo das válvulas de corte de água, drenam as linhas de água do motor quando o sistema de injeção é desligado; desse modo, evitando que a água congele nestas linhas.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE IGNIÇÃO E ELÉTRICO DO MOTOR

INTRODUÇÃO

Os requisitos básicos para o sistema de ignição de motores de combustão interna são sempre os mesmos, independente do tipo de motor envolvido ou do feitio dos componentes do sistema.

Esse sistema deve liberar uma centelha de alta energia para cada cilindro do motor na seqüência de ignição, com um número de graus de avanço predeterminado em relação ao ponto morto alto do pistão.

A voltagem de alimentação do sistema deve ser suficiente para garantir a ocorrência do centelhamento entre os eletrodos da vela, sob todas as condições de operação.

O sistema de ignição dos motores a reação é operado apenas durante o ciclo de partida do motor, sendo, portanto, menos complexo e estando sujeito a um menor número de problemas em comparação com os sistemas de ignição dos motores convencionais.

SISTEMA DE IGNIÇÃO DO MOTOR ALTERNATIVO

O sistema de ignição pode ser dividido em duas classes: ignição por bateria ou ignição por magneto. O sistema é também classificado como: simples ou de ignição dupla.

O sistema simples consiste em um magneto e fiação associada. Esse sistema foi usado em muitos motores pequenos de baixa rotação; atualmente é mantido em uso em pequenos motores de cilindro opostos de aeronaves.

SISTEMA DE IGNIÇÃO POR BATERIA

Poucas aeronaves ainda utilizam o sistema de ignição por bateria, onde o suprimento de energia elétrica provém de uma bateria ou de um gerador, ao invés do magneto.

Esse sistema é similar ao utilizado na maioria dos automóveis. Um excêntrico, acionado pelo motor, comanda a abertura de um contato elétrico diversas vezes para interromper o fluxo de corrente da bobina primária de um transformador. O resultado do colapso do campo magnético induz uma alta voltagem na bobina secundária, a qual é direcionada por um distribuidor para o cilindro apropriado. A figura 4-1 mostra o esquema simplificado deste sistema.

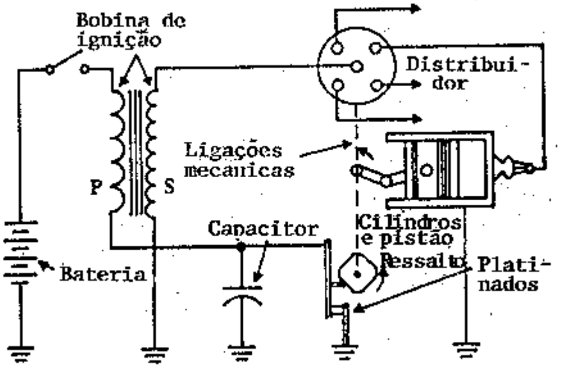


Figura 4-1 Sistema de ignição por bateria.

PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO POR MAGNETO

O magneto, um tipo especial de gerador de corrente alternada acionado pelo motor, usa um ímã permanente como fonte de energia.Ele desenvolve alta voltagem, forçando uma centelha que salta entre os eletrodos da vela em cada cilindro. Sua operação está sincronizada com o motor, de maneira que a centelha ocorra somente quando o pistão estiver no curso apropriado em um específico número de graus do eixo de manivelas, antes do ponto morto alto.

O sistema de ignição por magneto nos aviões pode ser classificado como: sistema por magneto de baixa ou de alta tensão.

O de baixa tensão (que será comentado posteriormente) gera uma baixa voltagem que é distribuída para uma bobina de transformador, próximo de cada vela, eliminando assim alguns problemas inerentes ao sistema de alta tensão.

O sistema por magneto de alta tensão é o mais antigo dos dois e, desprezando algumas desvantagens, ainda é o mais largamente usado na aviação.

Sistema por magneto de alta tensão

O sistema por magneto de alta tensão pode ser dividido, para efeito de discussão, em três circuitos distintos; são eles: o circuito magnético, o circuito elétrico primário e o circuito elétrico secundário.

O circuito magnético consiste em um ímã permanente rotativo de múltiplos pólos, um núcleo de ferro doce, e sapatas polares.

O ímã é acionado pelo motor, e gira na folga entre as sapatas polares, para fornecer linhas magnéticas de força (fluxo), necessárias para produzir uma voltagem elétrica. Os pólos do ímã estão arranjados com polaridades alternadas, de modo que o fluxo magnético consiga, saindo do pólo norte, passar através do núcleo de ferro doce, retornando ao pólo sul.

Quando o ímã está na posição mostrada em "A", da figura 4-2, o número de linhas de força através do núcleo da bobina é máximo, porque os dois pólos, magneticamente opostos, estão perfeitamente alinhados com os pólos da ferradura.

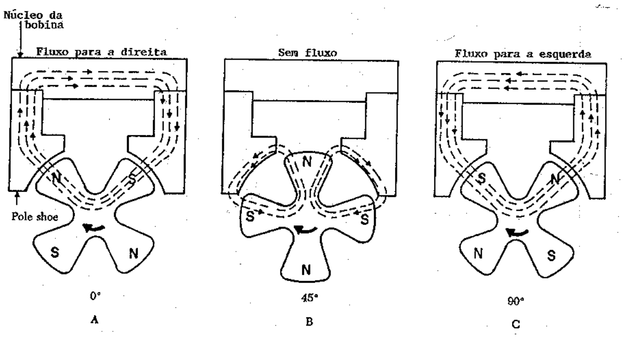


Figura 4-2 Fluxo magnético nas três posições do ímã rotativo.

Essa posição do ímã rotativo é chamada de "capacidade plena". Ela produz o número máximo de linhas de força magnética no sentido horário através do circuito magnético, partindo da esquerda para a direita do núcleo.

Conforme o ímã vai saindo da posição de capacidade plena, a quantidade de fluxo através do núcleo vai diminuindo. Isso ocorre devido os pólos do ímã serem afastados das sapatas polares, permitindo que apenas parte das linhas de fluxo passem através do núcleo.

Quanto mais o ímã se afasta da posição de capacidade plena, mais e mais linhas são curto-circuitadas através das extremidades das sapatas. Finalmente, na posição neutra (45° da posição de capacidade plena), todas as linhas estarão curto-circuitadas, e não haverá fluxo através do núcleo da bobina ("B" da figura 4-2).

Conforme o ímã gira de 0° para 45°, o número de linhas de fluxo através do núcleo da bobina diminui, da mesma maneira como ocorre o colapso gradual do fluxo do campo magnético de um eletroímã comum.

A posição neutra é aquela onde um dos ímãs permanentes encontra-se entre as sapatas polares. Como o ímã gira no sentido horário, as linhas de fluxo que haviam sido curto-circuitadas nas extremidades da ferradura começam a fluir novamente através do núcleo da bobina. Entretanto, desta vez, as linhas fluem no sentido contrário, conforme é mostrado em "C" da figura 4-2.

A inversão do fluxo se deve ao fato de que o ímã, saindo da posição neutra, deixa o pólo norte em frente à sapata direita em vez da esquerda. (Ilustrado em "A" da figura 4-2)

Quando o ímã é girado novamente num total de 90°, mais uma vez a posição de capacidade plena é atingida, conseqüentemente o fluxo máximo é obtido, mas em sentido contrário. A progressão de 90° do ímã é ilustrada graficamente na figura 4-3, onde a curva mostra como a densidade do fluxo magnético do núcleo da bobina (sem a bobina primária em torno do núcleo) muda ao passo que o ímã gira.

A figura 4-3 mostra que, conforme o ímã se afasta da posição de capacidade plena (0°), o fluxo vai diminuindo até atingir zero, exatamente na posição neutra (45°). Agora, à medida que o ímã se afasta da posição neutra, o fluxo aumenta, porém em sentido contrário, como indicado pela curva abaixo da linha horizontal.

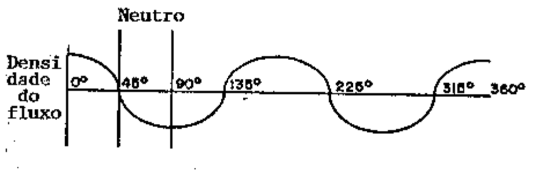


Figura 4-3 Mudança na densidade do fluxo durante a rotação do ímã.

Em 90°, mais uma vez o fluxo máximo é atingido. Desta forma, para cada volta completa (360°) do ímã de quatro pólos, existirá quatro posições de fluxo máximo, quatro posições de fluxo zero, e quatro posições de fluxo reverso.

Uma discussão do circuito magnético demonstra como o núcleo da bobina é afetado pela rotação do ímã permanente, ficando sujeito a uma elevação ou redução do campo magnético e a uma mudança na polaridade, a cada progressão radial de 90° do ímã.

Uma bobina que faz parte integrante do circuito elétrico primário do sistema de ignição por magneto de alta tensão, quando é enrolada em torno do núcleo de ferro doce, também é afetada pela variação do campo magnético.

O circuito elétrico primário (figura 4-4) consiste em um par de contatos chamados de platinado (visto receberem um banho de platina, melhorando a condução elétrica e evitando a corrosão dos mesmos), um condensador e uma bobina de fios eletricamente isolados.

A bobina é constituída de várias espiras de fio grosso em cobre, com uma de suas extremidades aterrada no próprio núcleo, e a outra conectada ao contato platinado que não se encontra aterrado (ver figura 4-4).

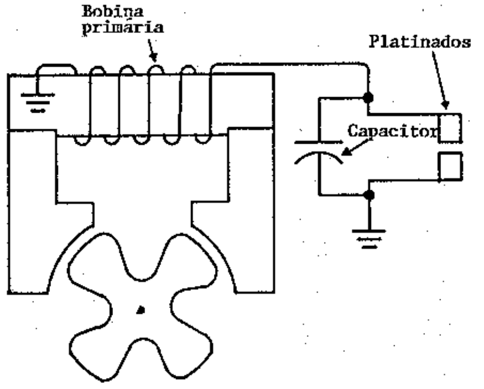


Figura 4-4 Circuito elétrico primário de um magneto de alta tensão.

O circuito primário é fechado somente quando os dois contatos se juntam. A terceira unidade no circuito, que é o condensador, está conectado em paralelo com o par de contatos. O condensador evita o arco voltaico entre os contatos quando o circuito está aberto, e acelera o colapso do campo magnético sobre a bobina primária.

O platinado será comandado próximo da posição de capacidade plena. Quando os contatos se tocam, o circuito elétrico primário está fechado e a rotação do ímã induz um fluxo de corrente na bobina.

Essa corrente, por sua vez, gera um campo magnético, que possui a tendência de se opor a qualquer mudança no fluxo gerado pelo circuito de ímãs permanentes.

Enquanto a corrente induzida estiver circulando no circuito primário (bobina), ela se opõe a qualquer redução do fluxo magnético no núcleo. Isso está de acordo com a Lei de Lenz, que afirma: "Uma corrente induzida, sempre que fluindo em uma determinada direção, faz com que o magnetismo (gerado por esta corrente) se oponha a qualquer alteração a ele induzido."

Para rever a Lei de Lenz, consulta-se o capítulo 8 de Matérias Básicas. Desta maneira, a corrente que passa pelo circuito primário mantém o fluxo magnético com um elevado valor e na mesma direção, até que o ímã em rotação tenha tempo de passar pela posição neutra para um ponto poucos graus à frente. Essa posição é chamada de folga “E”(onde “E” corresponde a eficiência e "folga" ao vão entre as sapatas polares).

Com o rotor de ímãs em posição de folga “E e a bobina primária mantendo o campo magnético do circuito em polaridade oposta, uma brusca mudança na direção do fluxo pode ser obtida pela abertura dos contatos.

A abertura dos contatos interrompe a circulação de corrente no circuito primário, e permite que o rotor de ímãs inverta rapidamente o sentido do fluxo magnético na bobina. Essa súbita reversão produz uma brusca mudança no sentido do fluxo no núcleo, que é sentida por uma segunda bobina chamada de secundária (exposta magneticamente, mas eletricamente isolada do núcleo), na qual será induzido um pulso de corrente de alta voltagem, pulso este necessário para provocar o centelhamento entre os eletrodos da vela.

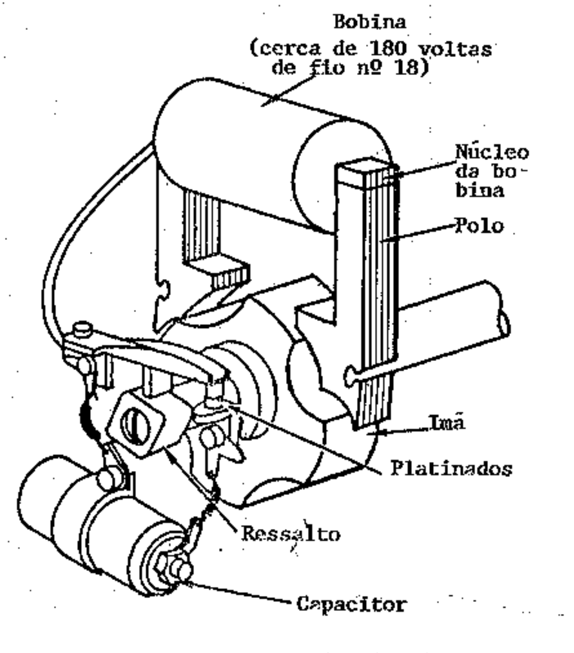


Figura 4 -5 Componentes do circuito com magneto de alta tensão.

Como o rotor está em movimento, na próxima vez em que estiver próximo de atingir a posição de capacidade plena, os contatos da bobina primária se fecharão novamente e o ciclo será repetido para provocar o centelhamento dos eletrodos da vela do pistão seguinte na seqüência de explosão.

A seqüência de eventos pode, agora, ser revista em maiores detalhes para explanar como a situação de indução magnética ocorre.

Com o platinado, o excêntrico (came) e o condensador conectados no circuito, como mostrado na figura 4-5, a ação cíclica é representada pela curva gráfica quando o rotor gira.

No topo “A” da figura 4-6, é mostrada a curva original do fluxo estático. Abaixo da curva é indicado o momento de abertura e fechamento do platinado.

Nota-se que essa abertura e fechamento são sincronizados pelo excêntrico.

Os contatos se tocam no momento em que a maior quantidade de fluxo estiver passando através do núcleo, e separam-se após a posição neutra.

Uma vez que existem quatro ressaltos no excêntrico, os contatos irão fechar e abrir quatro vezes, na mesma relação das quatro posições neutras do rotor magnético. Também, os intervalos de tempo entre os momentos de abertura e fechamento são aproximadamente os mesmos.

Partindo da posição de máximo fluxo (demarcada como 0° e que se encontra no topo da figura 4-6), a seqüência de eventos é descrita nos próximos parágrafos. Quando o rotor de ímãs é acionado em direção ao neutro, a quantidade de fluxo através do núcleo começa a diminuir (D da figura 4-6). Esta mudança do fluxo induz uma corrente na bobina primária (C da figura 4-6) que, por sua vez, induz um campo magnético em torno da própria bobina por onde circula. Esse campo magnético se opõe a qualquer alteração de seu fluxo.

Quando o rotor estiver em neutro nenhuma corrente circula pela bobina primária, conseqüentemente, o fluxo no núcleo cai a zero e começa a aumentar em direção oposta, conforme o ímã se afasta do neutro (a curva do fluxo estático é mostrada pela linha tracejada em “D” da figura 4-6).

No entanto, a ação eletromagnética da corrente primária evita que o fluxo se altere, e mantém o campo temporariamente inalterado (linha do fluxo resultante em “D” da figura 4-6).

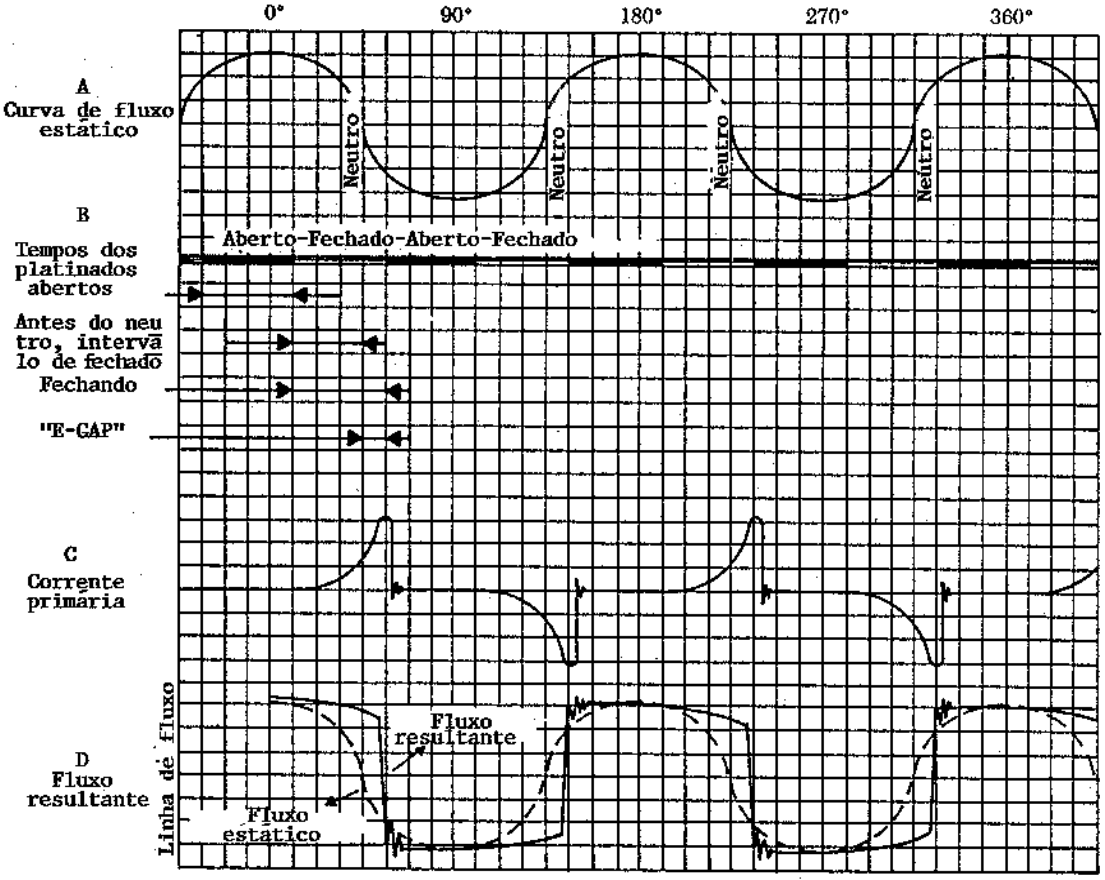


Figura 4-6 Curvas do fluxo magnético.

Como resultado desse processo, observa-se que ocorre um elevado colapso no circuito magnético, durante o tempo que o rotor de ímãs leva até atingir a posição na qual os contatos estavam próximos de abrir.

Os platinados, quando abertos, funcionam com o condensador para interromper o fluxo de corrente na bobina primária, causando uma mudança extremamente rápida no fluxo. A alta tensão na bobina secundária é descarregada através dos eletrodos da vela, para inflamar a mistura ar/combustível no cilindro do motor.

Cada centelha consiste em um pico de descarga, após o qual uma série de pequenas oscilações ocorrem. Isso continua até que a tensão se torne muito baixa para manter a descarga.

A corrente flui na bobina secundária, durante o tempo levado para descarregá-la completamente. A energia no circuito magnético é completamente dissipada, durante o tempo que os contatos se encontram fechados para a geração da centelha seguinte.

Conjunto de contatos platinados

Esse conjunto, usado em sistemas de ignição por magneto de alta tensão, abre e fecha automaticamente o circuito primário no devido tempo, em relação à posição do pistão no cilindro, no qual está ocorrendo o centelhamento.

A interrupção do fluxo da corrente primária é conseguida através de um par de contatos platinados, feito de uma liga resistente à corrosão e ao calor.

A maioria dos platinados utilizados em sistemas de ignição de aeronaves são do tipo desarticulados, no qual um dos contatos é móvel e o outro fixo (ver figura 4-7). O contato móvel, suportado por uma lâmina, está isolado da carcaça do magneto e conectado a bobina primária (figura 4-7).

O contato fixo está aterrado a carcaça para fechar o circuito primário quando os contatos se tocam; e o came rotativo está ajustado de maneira que os contatos se afastem no devido tempo.

Ainda fazendo parte deste conjunto, encontraremos o seguidor do came, suportado pela mesma lâmina, a qual o manterá com uma certa tensão contra o came rotativo. O seguidor do came composto de um aglomerado em mica (ou material similar) se encontra apoiado no came rotativo e afasta o contato móvel do contato fixo toda vez que o ressalto o empurra para cima. Um feltro com óleo, instalado sob a lâmina, lubrifica e evita a corrosão do came.

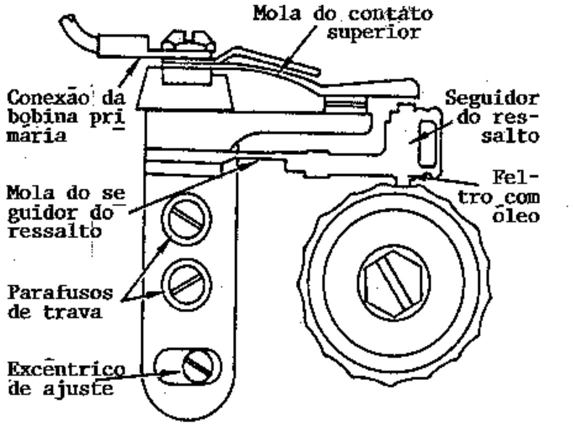


Figura 4-7 Platinado do tipo desarticulado e ressalto.

Um tipo simples de platinado pode ser encontrado em alguns motores de baixa potência. Esse tipo, chamado de articulado, possui uma dobradiça ou um pivô suportando uma alavanca, onde na extremidade oposta se encontra um dos platinados. O outro platinado está preso a uma lâmina estacionária.

Uma bucha de fricção, normalmente feita de materiais fibrosos, está instalada próximo ao centro da alavanca. Quando o motor aciona o came, os ressaltos exercem pressão contra a bucha, causando o movimento da alavanca no sentido de aproximar as extremidades pivotadas, conseqüentemente afastando os contatos platinados e abrindo o circuito.

O came rotativo pode ser acionado diretamente pelo eixo do rotor do magneto, ou através de uma caixa de engrenagens. A maioria dos motores radiais usa um came compensado, que já é desenhado para operar com um motor específico, possuindo um ressalto para cada cilindro em que ocorre a centelha. Os ressaltos são usinados em intervalos desiguais para compensar as variações do ponto morto superior de cada posição. Um came compensado de 14 ressaltos, junto com os outros não compensados de 02, 04 e 08 ressaltos são mostrados na figura 4-8.

O espaço desigual entre os ressaltos do came compensado, embora proporcione a mesma posição relativa do pistão para que a ignição ocorra, causa uma pequena variação da folga "E" do rotor de ímãs e, desta forma, uma pequena variação no impulso de alta tensão gerado pelo magneto.

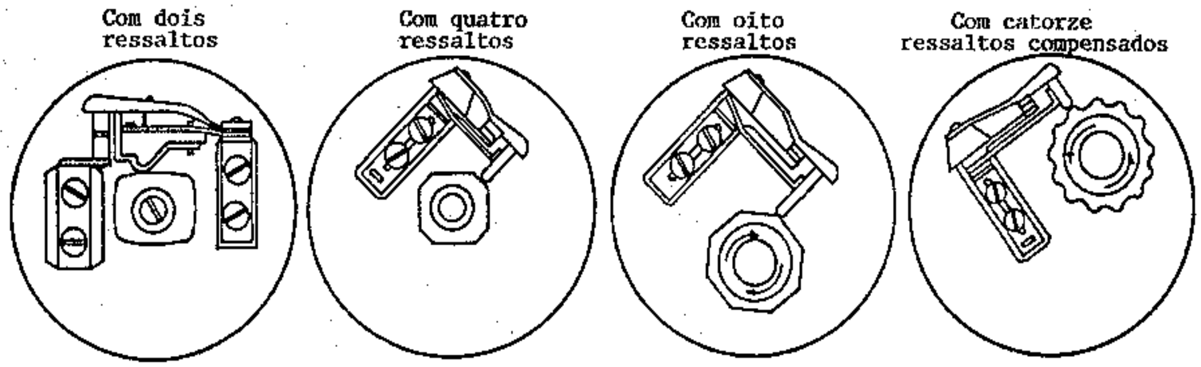


Figura 4-8 Platinados típicos.

Uma vez que o espaço entre os ressaltos é feito sob medida para cada cilindro de um motor em particular, os cames compensados são marcados para mostrar a série do motor e a localização da biela mestra ou bielas, o ressalto usado para regulagem do magneto, a direção de rotação do came, e a especificação da folga "E" do rotor em graus além de neutro. Em adição a estas marcas, o came recebe um corte, o qual, quando alinhado com o risco de marcação na carcaça do magneto, coloca o rotor na posição de folga "E" para ajuste do cilindro.

Uma vez que os contatos devem iniciar sua abertura quando o rotor se encontra na posição folga "E", o corte no came alinhado com a marca na carcaça proporciona um rápido e fácil método de estabelecer a exata posição de folga "E", para verificação e ajuste do platinado.

Conjunto de bobina

O conjunto das bobinas do magneto consiste em um núcleo em ferro doce, em torno do qual encontraremos as bobinas primária e secundária, sendo que a secundária se encontra enrolada sobre a primária.

A bobina secundária é feita de um enrola-mento contendo aproximadamente 13.000 voltas de fio fino e isolado, com um terminal eletricamente aterrado a bobina primária ou ao núcleo, e o outro terminal conectado ao rotor do distribuidor. Ambas as bobinas são revestidas com um material não-condutivo como baquelita, borracha rígida, ou cambraia envernizada. Por fim, o conjunto é fixado nas sapatas polares por parafusos e braçadeiras.

Quando o circuito primário está fechado, a corrente que flui através da bobina primária produz linhas de força magnética que atravessam o enrolamento secundário, induzindo uma força eletromotriz.

Quando o circuito primário é aberto, o campo magnético sobre o enrolamento primário entra em colapso, levando o enrolamento secundário a ser atravessado pelas linhas de força. A potência da tensão induzida no enrolamento secundário, quando todos os outros fatores permanecem constantes, é determinada pelo número de espiras do enrolamento. Uma vez que a maioria dos magnetos de alta tensão possui milhares de voltas na bobina secundária, uma voltagem muito alta, geralmente superior a 20.000 volts é gerada no circuito secundário para vencer o vão livre entre os eletrodos da vela.

Distribuidor

A alta tensão induzida na bobina secundária é enviada ao distribuidor, o qual consiste em duas partes. A parte rotativa é chamada de rotor do distribuidor e a estacionária, de bloco do distribuidor.

A parte rotativa, que pode ter o formato de um disco, tambor, ou lingueta, é confeccionada em material não-condutor com um condutor embutido. A parte estacionária consiste de um bloco também feito de um material não-condutor, que possui terminais e receptáculos para terminais, no qual a fiação para o distribuidor é conectada. Em alguns sistemas, o conjunto distribuidor é parte integrante do magneto, mas em outros, estão remotamente localizados e separadamente acionados.

No momento em que o rotor de ímãs encontra-se na posição de folga "E" para o cilindro N° 1 e o platinado aberto, o rotor do distribuidor alinha-se com o eletrodo N° 1 no bloco distribuidor.

A tensão secundária induzida no momento que o platinado abre, passa pelo rotor, onde ocorre o arco num pequeno vão de ar para o eletrodo N° 1 do bloco.

Já que o distribuidor gira com metade da velocidade do eixo de manivelas em todos os motores de quatro tempos, o bloco terá tantos eletrodos quantos cilindros existirem, ou tantos eletrodos como cilindros servidos pelo magneto.

Os eletrodos estão localizados circunferencialmente em torno do bloco distribuidor, de tal maneira que, conforme o motor gira, um circuito é completado para um diferente cilindro e uma vela, cada vez que ocorre o alinhamento entre a lingueta do rotor e um eletrodo no bloco distribuidor.

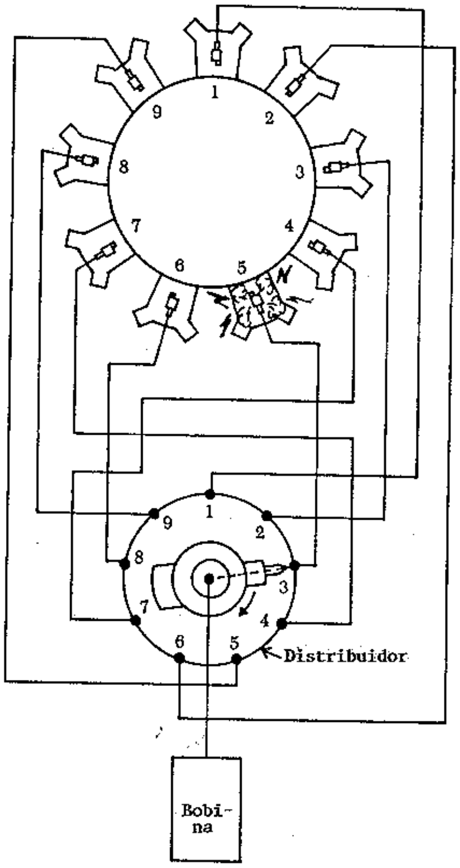


Figura 4-9 Relação entre os números dos terminais do distribuidor e os números dos cilindros.

Os eletrodos do bloco distribuidor são numerados na seqüência de rotação do rotor (figura 4-9). Os números do distriibuidor representam mais propriamente a ordem de centelha do magneto do que o número do cilindro do motor.

O eletrodo do distribuidor marcado com "1" é conectado à vela N° 1 no cilindro N° 1; o eletrodo marcado com "2" para o segundo cilindro a ser explodido; o eletrodo marcado com "3" para o terceiro cilindro a ser explodido, e assim por diante.

Na figura 4-9, a lingueta do rotor do distribuidor está alinhada com o eletrodo marcado "3", o qual explode o cilindro N° 5 de um motor radial de 9 cilindros.

Uma vez que a seqüência de explosão de um motor radial de 9 cilindros é 1-3-5-7-9-2-4-6-8, o terceiro eletrodo na ordem de centelhamento do magneto servirá o cilindro N° 5.

Nas instalações onde o magneto e o rotor do distribuidor são combinados em um único conjunto, a lingueta do distribuidor será ajustada na revisão ou na fabricação.

Nos motores onde o distribuidor está separado do magneto, o distribuidor assim como o magneto, devem ser manualmente ajustados para o cilindro na apropriada distribuição de alta tensão.

Ventilação do magneto e distribuidor

Uma vez que o magneto e o conjunto distribuidor são submetidos a rápidas mudanças de temperatura, os problemas de condensação e umidade são levados em consideração no projeto dessas unidades.

A umidade, em qualquer situação, é um bom condutor de eletricidade e, se absorvida pelos materiais não-condutores do magneto, como o bloco distribuidor, lingueta, e carcaças das bobinas, pode criar uma fuga na condução elétrica.

A corrente de alta tensão que normalmente flui pelos vãos de ar do distribuidor pode passar por uma superfície isoladora molhada para a massa, ou pode ser má orientada para alguma vela que não deveria ser ativada. Esta condição é chamada de "flashover" e, normalmente, resulta em explosão de cilindro fora de seqüência. Por esta razão, bobinas, condensadores, distribuidores e rotores são encerados de forma a reter a umidade em gotas isoladas, e não formando um circuito completo que permita o “flashover” (arco).

Esse arco pode carbonizar os contatos, os quais tomam a aparência de uma fina linha de lápis na unidade onde ocorreu o arco. A trilha de carbono é o resultado das partículas de poeira queimadas pela centelha que contém hidrocarbono.

A água no material hidrocarbonado é evaporada durante o arco, deixando o carbono formar uma passagem condutora de corrente. E mesmo quando a umidade não se faz presente, a centelha continua a seguir a trilha para a massa.

Os magnetos não podem ser hermeticamente fechados para evitar a entrada de umidade, pois estão sujeitos a mudanças de pressão e temperatura em altitude.

Entretanto, drenos adeqüados e apropriada ventilação, reduzem a tendência ao arco e à carbonização.

Boa circulação de ar no magneto também garante que os gases produzidos pelo arco normal, através dos vãos do distribuidor, sejam eliminados para o exterior.

Em algumas instalações, a pressurização de várias partes do sistema de ignição é essencial para manter uma elevada pressão absoluta e eliminar o arco.

Independentemente do método de ventilação empregado, os respiros ou válvulas devem ser mantidos livres de obstrução.

Além disso, a circulação de ar através dos componentes do sistema de ignição deve estar livre do óleo, uma vez que, mesmo em pequena quantidade nas unidades, resulta em formação de arco e carbonização nas mesmas.

Cabos de ignição

Os cabos de ignição possuem um fio isolado para cada cilindro que o magneto supre no motor. Uma extremidade de cada fio é conectada ao bloco distribuidor, e a outra é conectada à vela apropriada. O cabo de ignição tem um duplo propósito: ele suporta os fios e os protege de danos devido ao aquecimento do motor, vibração ou chuva e também serve como um condutor para campos magnéticos desviados, que circundam os fios enquanto estão carregados momentaneamente com corrente de alta-voltagem.

Através da condução destas linhas de força magnética à massa, os cabos de ignição eliminam a interferência elétrica com o rádio e outro equipamento sensível.

Quando o rádio e outro equipamento elétrico são protegidos desta maneira, diz-se que a fiação do cabo de ignição está protegida por blindagem. Sem essa blindagem, a rádio-comunicação se tornaria virtualmente impossível.

Um tipo comum de cabo de ignição é um tubo, com várias ligações para fixar em volta do cárter do motor com extensões flexíveis terminando em cada ignitor. Um típico cabo de ignição de alta tensão é mostrado na figura 4-10.

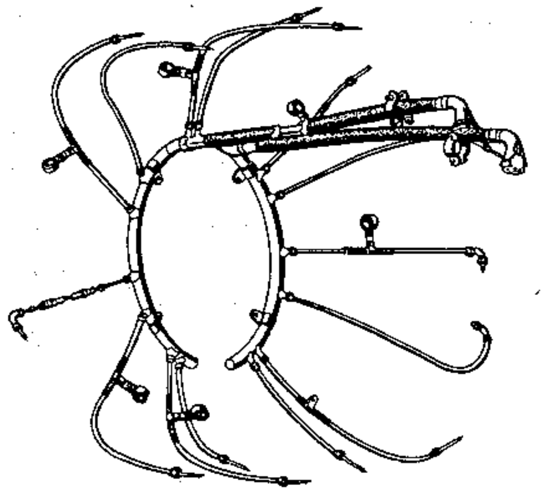


Figura 4-10 Cablagem de ignição de alta tensão.

Outro tipo é conhecido como tipo vedado ou enxertado. Um cabo desse tipo tem os fios de ignição colocados em uma tubulação anular, de maneira que cada extremidade do fio termine na saída da tubulação. Este conjunto é então enchido com uma gelatina isoladora que elimina atrito e condensação da umidade.

Cabos de ignitores separados são fixados às saídas da tubulação. Desta maneira, é possível recondicionar a extremidade do cabo do ignitor, evitando, assim, a substituição da cablagem completa entre o ignitor e o distribuidor.

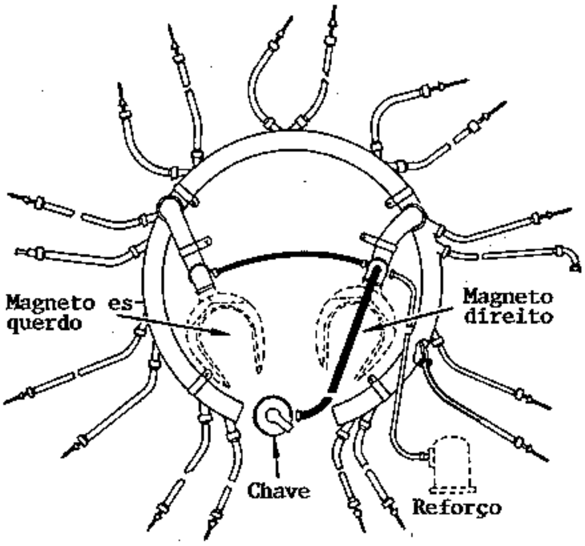


Figura 4-11 Cabos de ignição de motores de 9 cilindros com acessórios montados.

Em instalações onde os magnetos são montados na seção de acessórios do motor, dois conduítes flexíveis e longos, cada um contendo metade dos fios de ignição, levam da extremidade oposta até o ponto onde são conectados ao magneto (veja figura 4-11). Neste tipo de cablagem, os fios de ignição são contínuos desde o bloco do distribuidor até a vela. Se houver algum problema, o cabo inteiro deve ser substituído.

Interruptores de ignição

Todas as unidades do sistema de ignição de um avião são controladas por um interruptor localizado na cabine de comando.

O tipo de interruptor utilizado varia com o número de motores instalados no avião e o tipo de magneto utilizado. Todos os interruptores, entretanto, ligam e desligam o sistema da mesma maneira.

O interruptor de ignição se diferencia em pelo menos um aspecto de todos os outros tipos de interruptores, no fato de que, quando o interruptor é posicionado para "OFF", um circuito é fechado através dele para a massa. Em outros interruptores elétricos, a posição "OFF", normalmente abre o circuito.

O interruptor de ignição tem um terminal conectado ao circuito elétrico primário, entre a bobina e os platinados. O outro terminal do interruptor é conectado à massa do avião (estrutura).

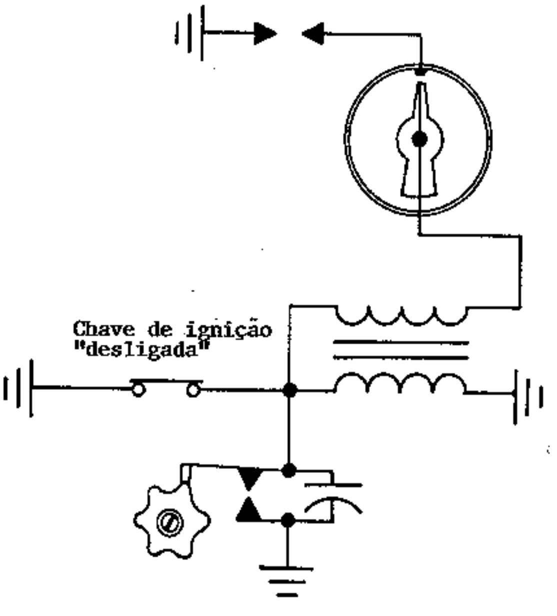


Figura 4-12 Chave típica de ignição na posição desligada.

Como mostra a figura 4-12, as duas maneiras de completar o circuito primário são: (1) através do platinado fechado para a massa; ou (2) através do interruptor de ignição fechado para a massa.

Na figura 4-12, pode ser visto que a corrente primária não fica interrompida quando os contatos se abrem, desde que haja um caminho mais curto para a massa através do interruptor fechado (off).

Uma vez que a corrente primária não está interrompida quando os pontos de contato abrem (figura 4-12), não poderá haver repentino colapso do campo magnético da bobina primária, e nenhuma alta voltagem induzida na bobina secundária para a queima da vela.

À medida que o magneto gira, passando pela posição folga "E", ocorre uma queda gradual do campo magnético primário. Mas essa queda ocorre tão lentamente, que a tensão induzida é muito baixa para que ocorra centelha na vela. Portanto, quando o interruptor está na posição "OFF" (fechado), os pontos de contato estão completamente curto-circuitados, como se tivessem sido removidos do circuito e o magneto fica inoperante.

Quando o interruptor de ignição é colocado na posição "ON" (aberto), como mostrado na figura 4-13, o interruptor de corrente primária e o rápido colapso do campo magnético da bobina primária são novamente controlados pela abertura do platinado. Quando o interruptor está na posição "ON", o mesmo não tem absolutamente efeito algum no circuito primário.

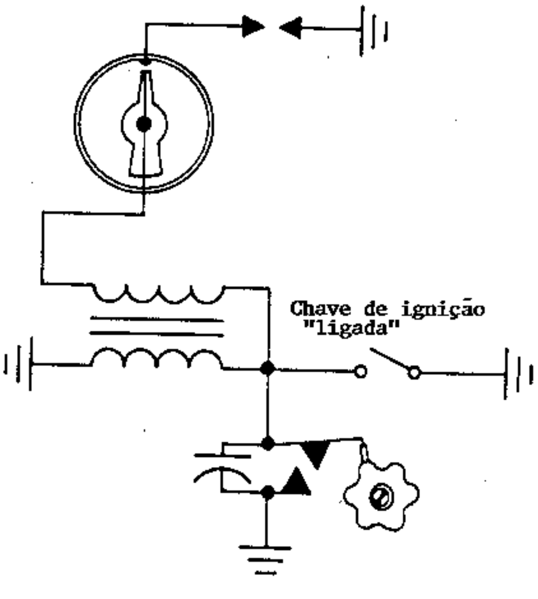


Figura 4-13 Chave tipica de ignição na posição ligada.

Muitos sistemas de ignição de aviões monomotores empregam um sistema de duplo-magneto, no qual o magneto direito fornece a centelha elétrica para as velas dianteiras em cada cilindro, e o esquerdo supre as velas traseiras. Um interruptor é utilizado para controlar ambos os magnetos. Um exemplo deste tipo é mostrado na figura 4-14.

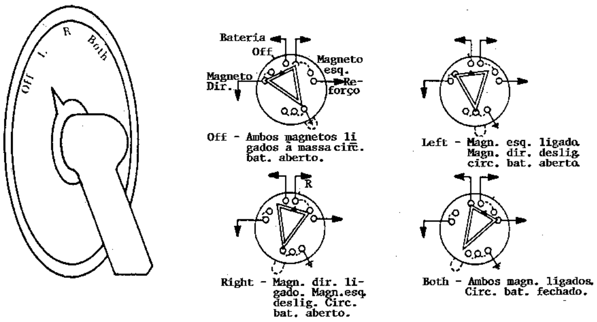

Off
L
R
Both
Bateria
Off
Magneto esq.
Magneto Dir.
Reforço
Off - Ambos magnetos ligados à massa circ. bat. aberto.
Left - Magn. esq. ligado. Magn. dir. deslig. circ. bat. aberto.
R
Right - Magn. dir. ligado. Magn.esq. deslig. Circ. bat. aberto.
Both - Ambos magn. ligados. Circ. bat. fechado.

Figura 4-14 Posição da seletora para uma chave de ignição que controla dois (2) magnetos.

Este interruptor possui 4 posições: "desligado", "esquerdo", "direito" e "ambos". Na posição "desligado", ambos os magnetos estão aterrados, portanto, ficam inoperantes.

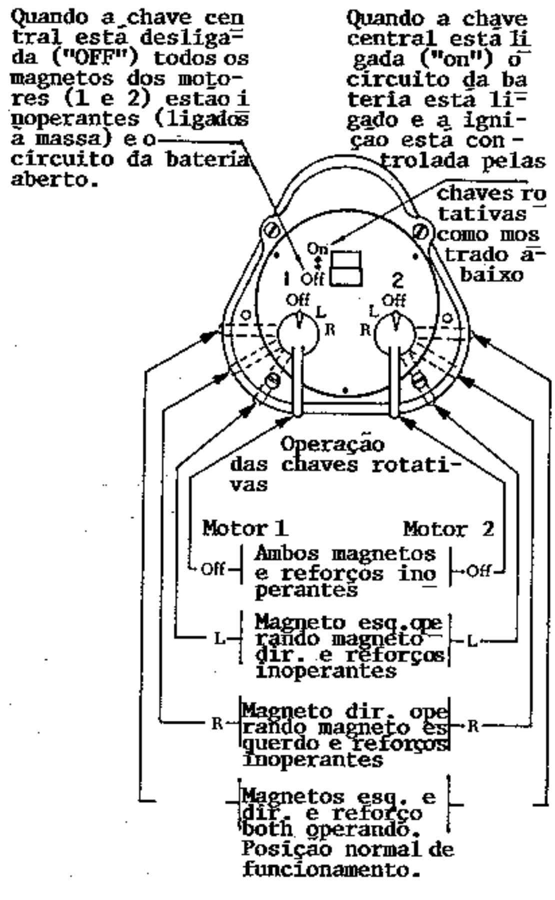

Quando a chave central está desligada ("OFF") todos os magnetos dos motores (1 e 2) estão inoperantes (ligados à massa) e o circuito da bateria aberto.
Quando a chave central está ligada ("on") o circuito da bateria está ligado e a ignição está controlada pelas chaves rotativas como mostrado abaixo
On
Off
1
2
Off
L
R
Off
L
R
Operação das chaves rotativas
Motor 1
Motor 2
Off
Ambos magnetos e reforços inoperantes
Off
L
Magneto esq. operando magneto dir. e reforços inoperantes
L
R
Magneto dir. operando magneto esquerdo e reforços inoperantes
R
Magnetos esq. e dir. e reforço both operando. Posição normal de funcionamento.

Figura 4-15 Chave de magneto para um avião bimotor.

Quando o interruptor é colocado na posição "esquerda", somente o magneto esquerdo funciona; na posição "direita", somente o direito funciona, e na posição "ambos", os dois magnetos funcionam.

As posições "direita" e "esquerda" são usadas para testar sistemas de ignição dupla, permitindo o desligamento de um sistema de cada vez.

A figura 4-14 também se refere ao circuito do sistema de ignição por bateria, que será discutido como unidade auxiliar de ignição na próxima seção.

Muitos interruptores de bimotores fornecem ao operador controle independente de cada magneto em um motor, pela rotação dos interruptores em cada lado do interruptor de ignição.

Em adição, um interruptor "master" de alavanca é geralmente incorporado para dar massa a todos os magnetos primários. Então, em uma emergência, toda ignição para ambos os motores (quatro magnetos primários) pode ser cortada pelo movimento desse interruptor (figura 4-15).

Magnetos com sistema simples e duplo de alta tensão

Magnetos em sistema de alta tensão, usados em motores radiais, são do tipo simples ou duplos.

O projeto do magneto simples incorpora o distribuidor no alojamento com o conjunto de contatos, ímã rotativo e bobina. O magneto duplo incorpora dois magnetos em um alojamento. Um ímã rotativo e um "came" são comuns para dois jogos de platinados e bobinas.

Duas unidades do distribuidor são montadas no motor, separadas do magneto.

Sistemas de montagem do magneto

Os magnetos do tipo simples podem ser projetados para montagem em base ou flange.

Os de tipo duplo são todos montados em flange.

Os magnetos montados em base são presos em um suporte no motor.

Magnetos montados em flanges são presos ao motor por um flange, em redor da extremidade acionadora do eixo rotativo do magneto. Fendas alongadas no flange de montagem permitem ajuste através de um alcance limitado, que auxilia na regulagem do magneto para o motor.

Sistema de magneto de baixa tensão

O sistema de ignição de alta tensão foi usado por mais de meio século.

Muitas melhorias no projeto têm sido feitas, mas certamente problemas fundamentais permanecem e outros se intensificaram, como:

1) O aumento do número de cilindros por motor.

2) A exigência de que todas as aeronaves equipadas com rádio tenham seus cabos de ignição blindados.

3) A tendência favorável a todas as condições de intemperies.

4) O aumento de operações em elevadas altitudes.

Sistemas de baixa tensão foram desenvolvidos para resolverem esses problemas.

Eletronicamente, o sistema de baixa tensão é diferente do sistema de alta tensão.

No primeiro, a tensão é gerada no magneto e flui para o enrolamento primário de uma bobina do transformador, localizado próximo da vela. Lá, a tensão é aumentada pela ação do transformador e conduzida para a vela pelos cabos muito curtos de alta tensão.

A figura 4-16 é um esquema simplificado de um sistema típico de baixa tensão.

O sistema de baixa tensão elimina centelha tanto no distribuidor como na cablagem, pois o vão dentro do distribuidor foi eliminado pelo uso de um outro distribuidor tipo escova, e a alta tensão está presente somente em cabos curtos entre o transformador e a vela.

Apesar de uma certa quantidade de fuga elétrica ser característica de todos os sistemas de ignição, ela se manifesta mais em instalações de rádio-blindagem, pois o conduíte metálico está aterrado e envolve os cabos de ignição em toda a sua extensão.

Em sistemas de baixa tensão, essa fuga é reduzida consideravelmente, porque a corrente através da maior parte do sistema é transmitida em um potencial de baixa tensão. Apesar dos cabos entre as bobinas do transformador e as velas serem curtos, eles são condutores de alta tensão, estando sujeitos às mesmas falhas que ocorrem em sistemas de alta tensão.

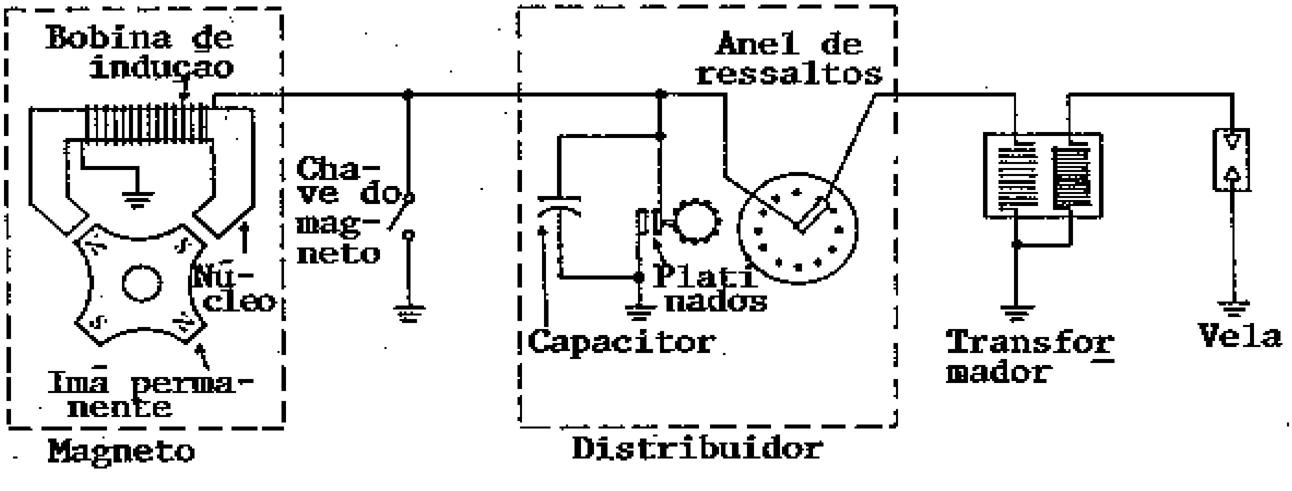


Figura 4-16 Esquema simplificado do sistema de ignição de baixa tensão.

-Operação do sistema de ignição de baixa tensão

O circuito magnético de um típico sistema de magneto de baixa tensão consiste em um ímã permanente rotativo, sapatas e o núcleo da bobina (figura 4-17). O ímã cilíndrico é constituído com 7 peças de uma polaridade, decaladas com 7 peças de polaridade oposta.

Quando o ímã é inserido no circuito magnético da figura 4-17, com 3 dos pólos norte do ímã perfeitamente alinhados com as sapatas, o fluxo magnético estático máximo é produzido da direita para esquerda no núcleo da bobina.

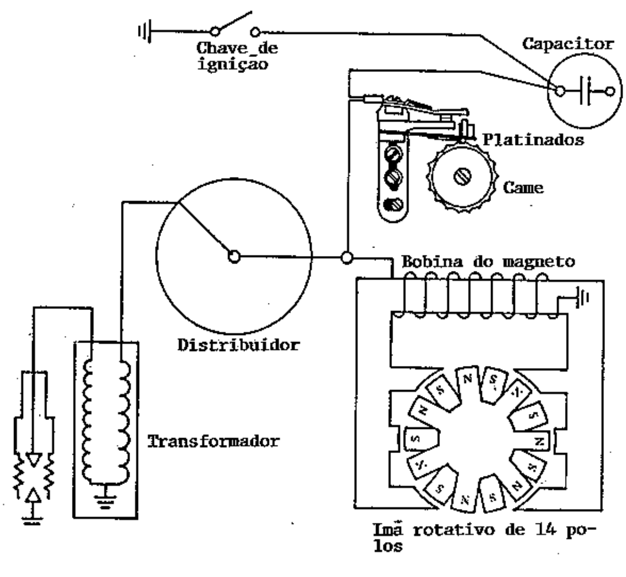

Chave de ignição
Capacitor
Platinados
Came
Bobina do magneto
Distribuidor
Transformador
Imã rotativo de 14 polos

Figura 4-17 Sistema de baixa tensão usando ímã rotativo de 14 pólos.

Quando o ímã é girado no sentido horário até que os pólos adjacentes se alinhem com as sapatas, o fluxo magnético no núcleo da bobina terá diminuído de um máximo para zero em uma direção, e então aumentado para um máximo na direção oposta. Isso constitui um fluxo reverso.

Catorze desses fluxos reversos ocorrem durante cada rotação do ímã, ou sete, para cada rotação do eixo de manivela do motor.

A produção de tensão na bobina do magneto de baixa tensão ocorre da mesma maneira como no circuito magnético primário de um magneto de alta tensão.

Distribuidor do sistema de baixa tensão

Cada pulso de corrente produzido pelo magneto de baixa tensão é direcionado para várias bobinas de transformador na adequada ordem de fogo, através do distribuidor do tipo escova (figura 4-18). O conjunto do distribuidor consiste em uma peça giratória, chamada de escova do distribuidor, e uma peça estacionária, chamada de bloco do distribuidor.

O rotor (figura 4-18A) tem duas partes separadas das escovas do distribuidor, que percorrem nos 3 trilhos concêntricos do bloco do distribuidor (figura 4-18B).

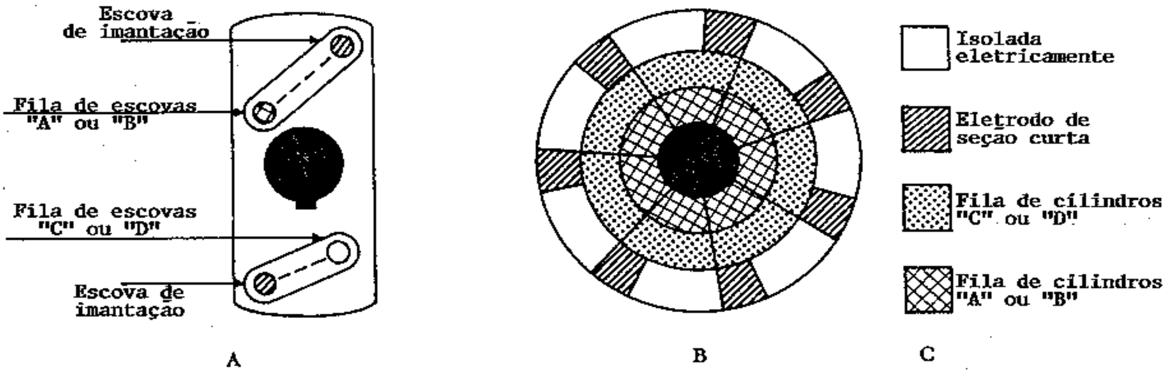

Escova de imantação
Fila de escovas "A" ou "B"
Fila de escovas "C" ou "D"
Escova de imantação
A
B
Isolada eletricamente
Eletrodo de seção curta
Fila de cilindros "C" ou "D"
Fila de cilindros "A" ou "B"
C

Figura 4-18 Distribuidor do tipo escova para um sistema de magneto de baixa tensão.

Esses trilhos são divididos em sete segmentos, cada qual isolado eletricamente um do outro.

O trilho externo consiste em uma série de seções de eletrodos alternados, longos e curtos. Essas sete longas seções de eletrodos do trilho externo são eletricamente isoladas, e servem somente para prover uma contínua passagem próxima às escovas do distribuidor.

A corrente de baixa tensão do magneto entra no distribuidor através de um fio, conectado em uma das curtas seções de eletrodo do trilho externo.

Uma vez que todas as curtas seções de eletrodos, apesar de separadas pelas seções isoladas eletricamente, estão conectadas juntas internamente, cada uma tem a tensão da bobina do magneto impressa sobre ela.

O rotor do distribuidor possui escovas de imantação (figura 4-18A), uma em cada extremidade do rotor. A escova de imantação inferior é eletricamente conectada à fileira de escova "D" ou "C", que percorre os trilhos intermediários do bloco do distribuidor (figura 4-18A, B e C).

Quando o platinado abre, a corrente da bobina do magneto está disponível no eletrodo de seção curta do trilho externo (figura 4-19). Nesse instante, somente uma das escovas de imantação do rotor do distribuidor está num eletrodo de seção curta; a outra escova de imantação está numa seção, que é isolada eletricamente do mesmo trilho.

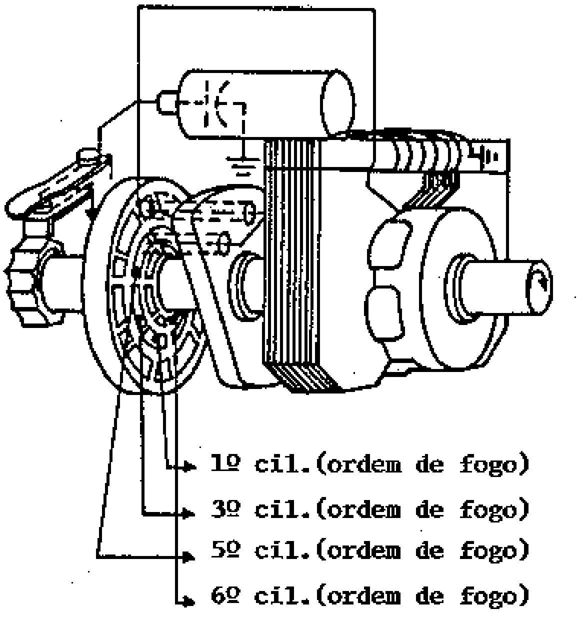


Figura 4-19 Operação do distribuidor do tipo escova.

A escova no eletrodo de seção curta capta a corrente da bobina do magneto, direcionando-a para uma seção do trilho intermediário. Se o magneto for o de N° 1 (R-1 ou L-1), o trilho intermediário servirá os sete cilindros na fila "D"; se for o N° 2 (R-2 ou L-2), esse trilho servirá os sete cilindros da fila "C" (figura 4-18).

Similarmente, o lado interno do trilho serve os sete cilindros da fila "B" – se ele for um magneto N° 1; ou os sete cilindros da fila "A" –se ele é um magneto N° 2. Desde que cada seção de eletrodo do lado interno e intermediário dos trilhos sejam conectados a uma bobina transformadora separada, a escova do distribuidor rotativo determina qual bobina do transformador recebe o pico de corrente auto-induzida.

Em operação, cada magneto servirá primeiro a um cilindro de uma fileira, e em seguida um cilindro na outra. Por exemplo, na figura 4-19, o transformador do 5° cilindro, na ordem de fogo, está recebendo o pico de corrente auto-induzida. O transformador seguinte ao receber um pico de corrente na ordem de centelhamento do magneto será o sexto cilindro, o qual é servido por uma seção de eletrodo nos trilhos internos.

A sexta bobina do transformador na ordem de centelhamento do magneto, é energizada à medida que a escova de imantação para o lado interno do trilho se move no sentido horário de uma seção isolada eletricamente, e no próximo eletrodo de seção curta. A corrente é captada do lado externo do trilho, e direcionada para a seção do eletrodo do trilho interno, que alimentará o transformador para o sexto cilindro na ordem de centelhamento.

Enquanto a bobina do transformador do sexto cilindro está recebendo seu pico de corrente, a escova de imantação para o trilho intermediário está numa seção isolada do lado externo, e não interfere com o fluxo do pico de corrente auto-induzido. Como a escova do distribuidor continua no sentido horário, a escova de imantação para o lado interno do trilho se movimenta para uma seção isolada eletricamente. Ao mesmo tempo, a escova de imantação para o trilho intermediário se movimenta para um eletrodo de seção curta, e entrega o pico de corrente ao transformador, servindo o sétimo cilindro na ordem de centelhamento do magneto. A corrente relativamente baixa auto-induzida deixa o distribuidor através das cablagens para o transformador. Os fios são conectados no tubo circular de ignição por um "plug".

Para este sistema de magneto existem 60 cabos dentro do tubo circular de ignição. Quatro cabos (um para cada um dos quatro magnetos) correm do interruptor de ignição ao terminal no "plug", conectado aos do interruptor de ignição.

Os outros 56 cabos conectam as seções do eletrodo do distribuidor, do lado interno e intermediário do trilho de quatro magnetos, às bobinas primárias dos transformadores das velas. A corrente da bobina secundária do transformador é conduzida a vela por um curto cabo de alta tensão blindado.

Os magnetos de baixa tensão são desligados e ligados da mesma maneira que os sistemas de alta tensão são controlados, isto é, por um interruptor conectado ao fio-massa do circuito da bobina do magneto.

Quando o interruptor é fechado (posição desligada), uma passagem de baixa resistência direcionada para a massa é alcançada para a bobina do magneto, se os platinados estiverem abertos ou fechados.

Como o interruptor de ignição fechado provê um caminho de baixa resistência para a massa, a corrente na bobina do magneto não é direcionada para a bobina primária do transformador. Ao contrário, a corrente é curto-circuitada pelo caminho do interruptor de ignição fechado.

UNIDADES AUXILIARES DE IGNIÇÃO

Durante a partida do motor, a saída de cada magneto, de alta ou baixa tensão, é baixa porque a velocidade de partida do motor também o é. Isto é aceitável quando os fatores que determinam a quantidade de tensão induzida em um circuito são considerados.

Para aumentar o valor de uma tensão induzida, a força do campo magnético deve ser aumentada pelo uso de um ímã mais poderoso, pelo aumento do número de voltas na bobina, ou aumentando a razão de movimento relativo entre o ímã e o condutor.

Uma vez que a força de rotação do ímã, e o número de voltas na bobina, são fatores constantes em ambos os sistemas de ignição por magneto de alta ou baixa tensão, a tensão produzida depende da velocidade com que o ímã gira. Durante a partida do motor, o ímã é girado a aproximadamente 80 RPM.

Uma vez que o valor da tensão induzida é muito baixo, uma centelha não pode saltar a fenda no ignitor.

Então, para facilitar a partida do motor, um dispositivo auxiliar é conectado ao magneto para suprir a alta tensão de ignição.

Ordenadamente, essas unidades auxiliares de ignição são energizadas pela bateria, e conectadas ao magneto direito, ou distribuidor. Os sistemas de partida dos motores alternativos, normalmente, incluem um dos seguintes tipos de sistemas auxiliares: dínamo, vibrador de indução (algumas vezes chamado vibrador de partida), acoplamento de impulso, e vibrador de sistemas de partida.

Dínamo

O conjunto dínamo (figura 4-20) consiste em duas bobinas enroladas em torno de um núcleo de ferro doce, um jogo de contatos, e um condensador.

O enrolamento primário possui um de seus terminais aterrado por meio de uma tira interna, e outro terminal conectado ao contato móvel.

O contato fixo é provido de um terminal, onde é aplicada a tensão da bateria quando a chave do magneto é colocada na posição "start", ou automaticamente quando o motor de arranque é engatado.

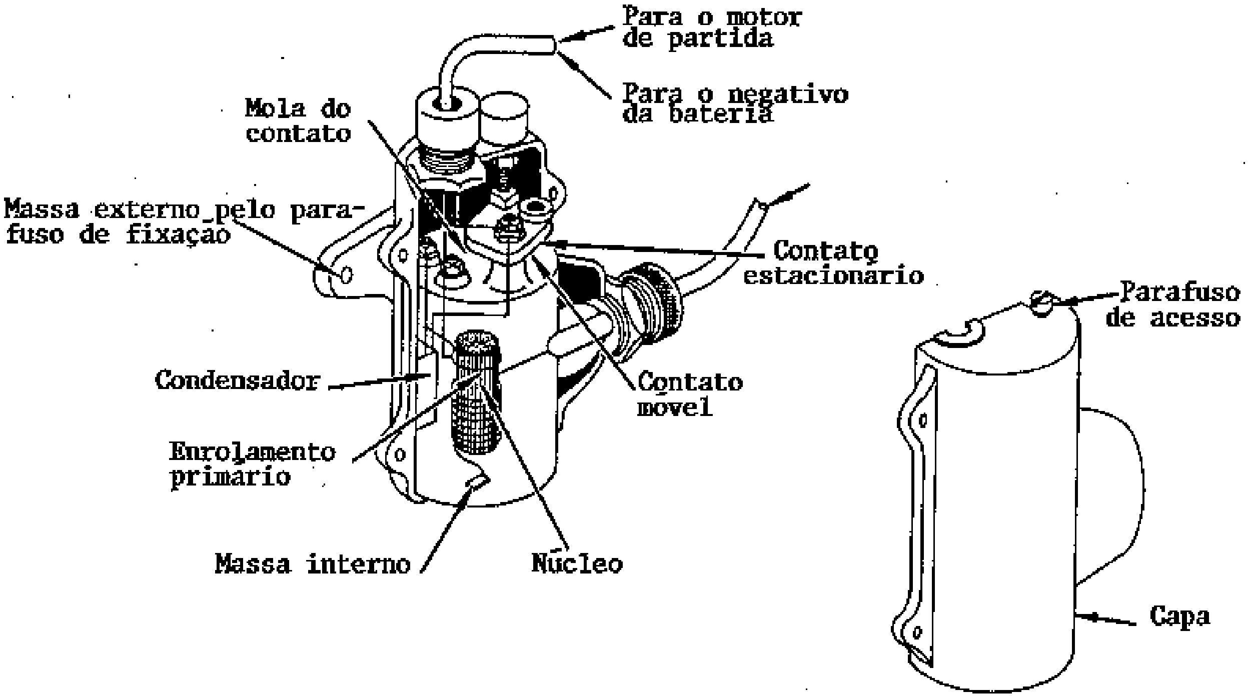

Para o motor de partida
Para o negativo da bateria
Mola do contato
Massa externo pelo parafuso de fixaçao
Contato estacionario
Parafuso de acesso
Condensador
Contato movel
Enrolamento primario
Massa interno
Núcleo
Capa

Figura 4-20 Dínamo.

A bobina secundária, a qual contém inúmeras vezes mais quantidade de voltas que a primária, possui também um de seus terminais aterrado por meio de uma tira interna, porém o outro está conectado com um terminal de alta tensão. O terminal de alta tensão está conectado para um eletrodo no distribuidor por meio de um cabo de ignição.

Uma vez que o terminal regular do distribuidor está aterrado através das bobinas primária ou secundária de um magneto de alta tensão, a alta tensão fornecida pelo dínamo deve ser distribuída por um circuito separado no rotor do distribuidor. Isso é obtido pelo uso de dois eletrodos em um único rotor.

O eletrodo principal, ou lingueta, descarrega a tensão do magneto e o eletrodo auxiliar distribui somente a descarga do dínamo. O eletrodo auxiliar está constantemente localizado como se fosse a cauda do eletrodo principal, dessa forma retardando a centelha durante o período de partida.

A figura 4-21 ilustra, de forma esquemática, os componentes do dínamo mostrado na figura 4-20. Em operação, a tensão da bateria é aplicada para o terminal positivo (+) do dínamo através da chave de partida. Isto causa um fluxo de corrente através dos contatos fechados (figura 4-21) para a bobina primária e a massa.

Esta corrente, fluindo através da bobina primária, produz um campo magnético sobre a bobina, magnetizando o seu núcleo.

Quando o núcleo se encontra magnetizado, ele atrai o contato móvel, o qual se encontra normalmente mantido contra o contato fixo por mola.

Quando o contato móvel é atraído pelo núcleo de ferro, o circuito primário é aberto, levando ao colapso o campo magnético da bobina e, conseqüentemente, o do núcleo.

Já que o núcleo atua como um eletroímã somente quando flui corrente pela bobina primária, ele perde seu magnetismo no momento em que ocorre a abertura dos contatos. Isso permite que a mola torne a fechar os contatos e, novamente, complete o circuito da bobina primária que por sua vez, remagnetiza o núcleo, atraindo o contato móvel, o qual novamente abre o circuito da bobina primária. Essa ação faz com que o contato móvel vibre rapidamente, enquanto for mantida a chave de partida na posição fechado ("on").

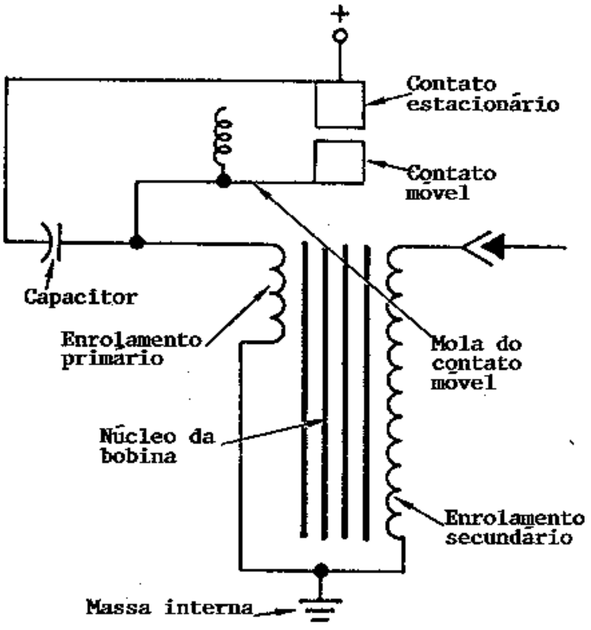


Figura 4-21 Esquema do dínamo.

O resultado desta ação é uma contínua expansão e retração (colapso) do campo magnético, transmitindo para a bobina secundária do dínamo. Como a bobina secundária possui muito mais espiras que a primária, a tensão induzida resultante dessas linhas de força sobre a bobina secundária é altíssima, o suficiente para o sistema de ignição do motor.

O condensador (figura 4-21), o qual está conectado através dos contatos, tem uma importante função no circuito.

Como o fluxo de corrente na bobina primária é interrompido pela abertura dos contatos, a alta tensão auto-induzida, que acompanha cada colapso do campo magnético, é absorvida pelo condensador.

Sem o condensador, ocorreria um arco através dos contatos a cada colapso do campo magnético. Isso poderia queimar e provocar covas nos contatos, reduzindo brutalmente a tensão de saída do dínamo.

Vibrador de indução

O vibrador de indução (ou vibrador de partida) mostrado na figura 4-22, consiste em um vibrador operado eletricamente, um condensador e um relé.

Essas unidades estão montadas em uma base, e estão envolvidas por uma carcaça metálica.

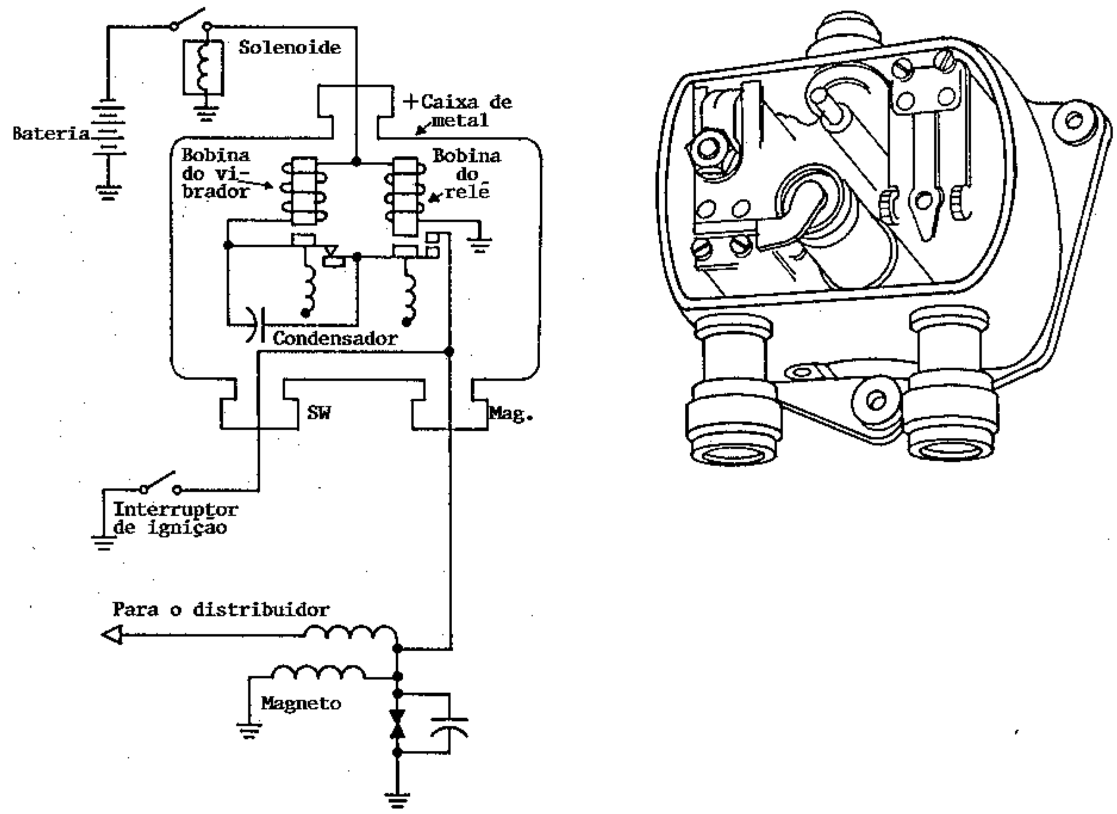


Figura 4-22 Vibrador de indução.

O vibrador de partida, ao contrário do dínamo, não produz a alta tensão de ignição dentro de sí.

A sua função é transformar a corrente contínua da bateria em corrente pulsante e fornecê-la para a bobina primária do magneto. Também funciona como um relé, desconectando o circuito auxiliar quando esse não estiver em uso.

Como mostrado na figura 4-22, o terminal positivo do vibrador de partida está conectado ao circuito solenóide de acoplamento do arranque.

Fechando a chave, o solenóide de acoplamento é energizado, permitindo a circulação de corrente através da bobina do relé para a massa. Ao mesmo tempo, a corrente flui através da bobina do vibrador e pelos seus contatos. Uma vez que a corrente flui através da bobina do relé estabelece um campo magnético que atrai e fecha os contatos do relé, o circuito vibrador é agora completado para o magneto.

A trajetória da corrente elétrica da bateria consumida pelo magneto é determinada pela posição do platinado primário; se os mesmos estiverem fechados, a corrente flui através deles para a massa, se estiverem abertos, a corrente flui através da bobina primária para a massa.

O fluxo de corrente na bobina do vibrador produz um campo magnético que atrai e abre os contatos do vibrador. Quando esses contatos abrem, a circulação de corrente é interrompida e o campo magnético que estava atraindo o contato móvel desaparece. Isso permite que os contatos do vibrador fechem e, novamente, conduzam a corrente da bateria através da bobina do vibrador, completando um ciclo de operação. Este ciclo, entretanto, ocorre várias vezes por segundo, tão rapidamente que os contatos do vibrador produzem um audível "buzz".

Cada vez que os contatos do vibrador fecham, flui corrente para o magneto. Se o interruptor primário está fechado, quase toda a corrente da bateria passa para a massa através deles, e pequena corrente passa pela bobina primária.

Deste modo, uma carga desprezível fluirá pela bobina primária.

Quando os pontos de contato do interruptor do magneto abrem, a corrente que antes passava por esses pontos agora segue direto através da bobina primária para a massa. Uma vez que essa corrente é interrompida muitas vezes por segundo, o campo magnético resultante é ligado e interrompido, através das bobinas primária e secundária do magneto, na mesma ordem. A rápida sucessão de voltagens distintas induzidas na bobina secundária produz uma "chuva" de centelhas, através dos pólos da vela de ignição selecionada.

A sucessão de voltagens distintas é distribuída através da saída de um distribuidor principal para várias velas de ignição, porque os pontos de contato do interruptor armam no mesmo instante em que o magneto está gerando a sua voltagem. O sistema de ignição que utiliza um vibrador por indução não possui provimentos para retardo de centelha; portanto, ele não possui um eletrodo guia auxiliar no distribuidor.

Quando se dá a partida num motor equipado com um vibrador indutivo, o interruptor de ignição pode ser mantido desligado até que o motor de partida tenha girado a hélice pelo menos uma volta.

Então, enquanto a hélice é mantida girando, o interruptor de ignição pode ser ligado. Se essa precaução não for observada, um impacto contrário no motor será o provável resultado da ignição antes da correta RPM de partida. Depois que a hélice tiver completado pelo menos uma volta, produzirá um momento suficiente para evitar o impacto contrário.

Tão logo o motor inicia o disparo e o interruptor de partida é liberado; e o circuito elétrico da bateria para o vibrador indutivo é aberto.

Quando a corrente da bateria é cortada do vibrador indutivo, os contatos do relé se abrem e interrompem a conexão entre o vibrador de indução e o magneto.

Essa conexão deve ser interrompida para evitar que o magneto fique fora do aterramento do relé da bobina.

Se os contatos do relé do vibrador indutivo não abrirem quando a corrente da bateria for cortada, a corrente primária do magneto não poderá ser interrompida quando os contatos abrirem; ao invés disso, a corrente primária pode fluir através do relé e dos contatos do vibrador indutivo, e então para o terra através da bobina do relé.

Nesse caso, o magneto estaria inoperante como se o interruptor de ignição estivesse em “OFF”.

Acoplamento de impulso

Motores que possuem um pequeno número de cilindros, algumas vezes são equipados com um acoplamento de impulso. Essa é uma unidade que, durante a produção da centelha, pega um dos magnetos ligados ao motor numa breve aceleração e produz uma centelha quente para a partida.

Esse dispositivo consiste em pequenos contrapesos e um conjunto de molas, localizados na carcaça que fixa o magneto ao eixo de acessórios.

O magneto é flexivelmente conectado através do acoplamento de impulso por meio de molas que, durante a baixa velocidade do magneto, é temporariamente mantido enquanto o eixo de acessórios é girado até que o pistão chegue aproximadamente ao ponto morto alto. Nesse ponto, o magneto é liberado e a mola retorna a posição original, resultando em um rápido retorno na rotação do magneto. Sendo equivalente à alta rotação do magneto, produzindo uma faisca quente.

Depois que o motor der a partida e o magneto alcançar uma velocidade suficiente para produzir corrente, os contrapesos no acoplamento voam devido a força centrífuga e bloqueiam os dois membros de acoplamento juntos. Isso torna a unidade sólida, retornando o magneto para a condição de sincronia relativa ao motor.

A presença do acoplamento de impulso pode ser identificada por meio de um curto estalo, quando o eixo de manivelas e girado até que a velocidade dos cilindros se estabilize após o ponto morto alto em cada cilindro.

O uso do acoplamento de impulso produz forças de impacto no magneto, partes acionadas do motor e várias partes das unidades acopladas.

Muitas vezes os contrapesos ficam magnetizados e não engatam os pinos batentes; e o óleo congelado durante o tempo frio produz o mesmo resultado.

Outra desvantagem do acoplamento de impulso é que esse pode produzir somente uma centelha por cada ciclo de movimento do cilindro.

Essa é uma desvantagem, especialmente durante condições adversas de partida.

Vibrador interruptor de retardo de alta tensão

O magneto interruptor de retardo e o sistema vibrador de partida são usados como parte do sistema de alta tensão na maioria das aeronaves pequenas. Projetado para sistemas de ignição de quatro ou seis cilindros, o magneto interruptor de retardo elimina a necessidade de um acoplamento de impulso em pequenas aeronaves. Esse sistema usa um interruptor adicional para obter o retardo da centelha para a partida.

O vibrador de partida é também adaptado para muitos sistemas de ignição de helicóptero.

O esquema do diagrama de um sistema de ignição, usando o magneto interruptor de retardo e o conceito de vibrador de partida, é mostrado na figura 4-23.

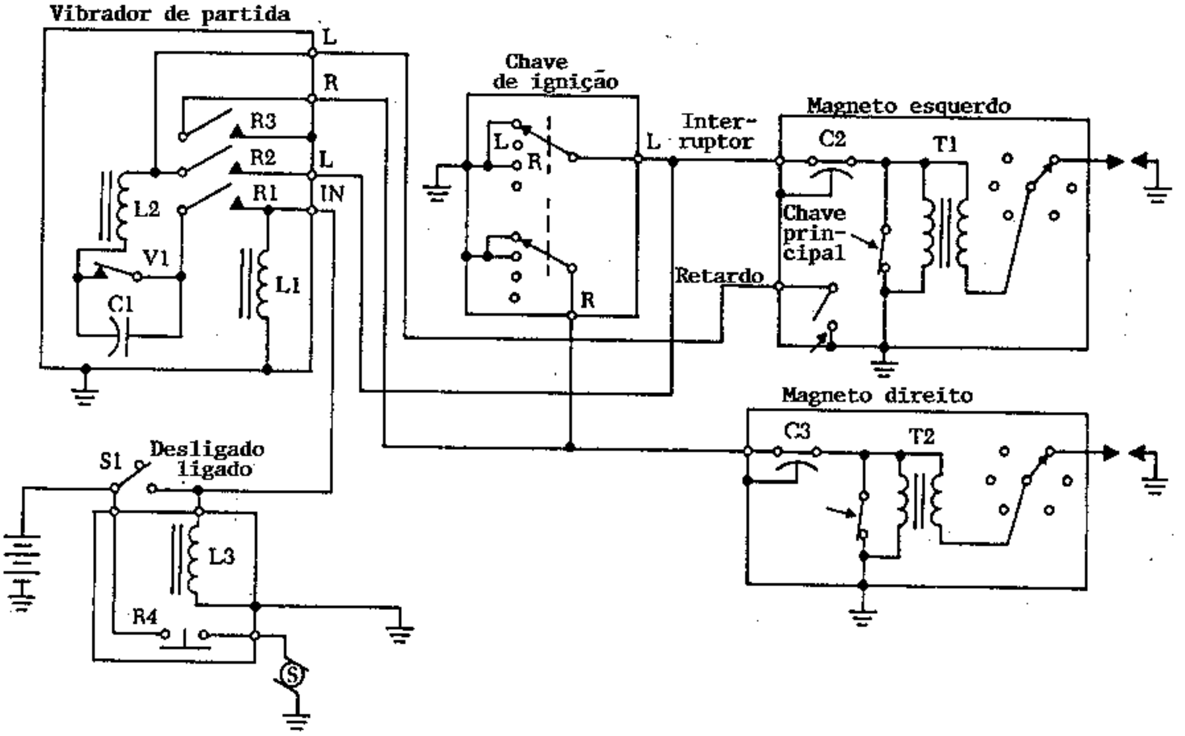


Figura 4-23 Circuito vibrador de partida e magneto interruptor de retardo de alta tensão.

Com o seletor do magneto na posição "ambos" (figura 4-23), e o interruptor de partida S1 ligado, o solenóide de partida L3 e a bobina L1 são energizados, fechando os contatos R4, R1, R2 e R3 do relé.

R3 liga o magneto direito ao aterramento, mantendo esse inoperante durante a operação de partida. A Corrente elétrica flui da bateria através de R1, pontos V1 do vibrador, bobina L2, através de ambos os pontos do interruptor de retardo, e através de R2 e o contato principal do interruptor do magneto esquerdo para a massa.

A bobina L2 energizada abre os contatos V1 do vibrador, interrompendo o fluxo de corrente através de L2. O campo magnético de L2 interrompe bruscamente, e os contatos V1 do vibrador fecham novamente. Uma vez mais, corrente flui através de L2, e novamente os contatos V1 do vibrador abrem. Este processo é repetido continuamente, e o fluxo de corrente interrompido da bateria flui para o aterramento, através dos contatos do interruptor principal e de retardo do magneto esquerdo.

Desde que o relé R4 é fechado, o motor de partida é energizado e o eixo do motor começa a girar. Quando o motor atinge sua posição normal de ignição, os contatos do interruptor principal do magneto esquerdo abrem.

A interrupção momentânea de corrente do vibrador pode manter um caminho para o aterramento através dos contatos do interruptor de retardo, que não abrem até que a posição de retardo do motor seja atingida. Nesse ponto do movimento do eixo de partida, os contatos de retardo abrem. Uma vez que os contatos do interruptor principal são mantidos abertos, a bobina primária do magneto não fica em curto prolongado, e a corrente produz um campo magnético através de T1.

Cada vez que os contatos V1 do vibrador abrem, o fluxo de corrente é interrompido. O campo interrompido através de T1 corta através da bobina secundária do magneto, e induz uma interrupção de energia de alta voltagem, usada para produzir centelha na vela de ignição.

Desde que os contatos V1 são abertos e fechados rápida e continuamente, uma chuva de centelhas é fornecida aos cilindros quando os contatos dos interruptores principal e de retardo são abertos.

Depois que o motor inicia a aceleração, o interruptor de partida manual é liberado, causando a desenergização de L1 e L3. Isso faz com que o vibrador e os circuitos de retardo fiquem inoperantes, e também abra os contatos do relé R3, o que remove a massa do magneto direito.

Ambos os magnetos agora disparam no avanço (funcionando normalmente) da posição do pistão.

Vibrador interruptor de retardo de baixa tensão

O sistema, projetado para aeronaves pequenas de quatro e seis cilindros, elimina as desvantagens dos sistemas de ignição de acoplamento de impulso e de alta tensão. Um sistema típico, mostrado na figura 4-24, consiste em magneto interruptor de retardo, um magneto interruptor simples, um vibrador de partida, bobinas de transformador e um interruptor de partida e ignição.

Para operar o sistema mostrado na figura 4-24, coloca-se o interruptor de partida S3 na posição ligado. Isso energiza o solenóide L3 e a bobina L1, fechando os contatos R1, R2, R3 e R4 do relé.

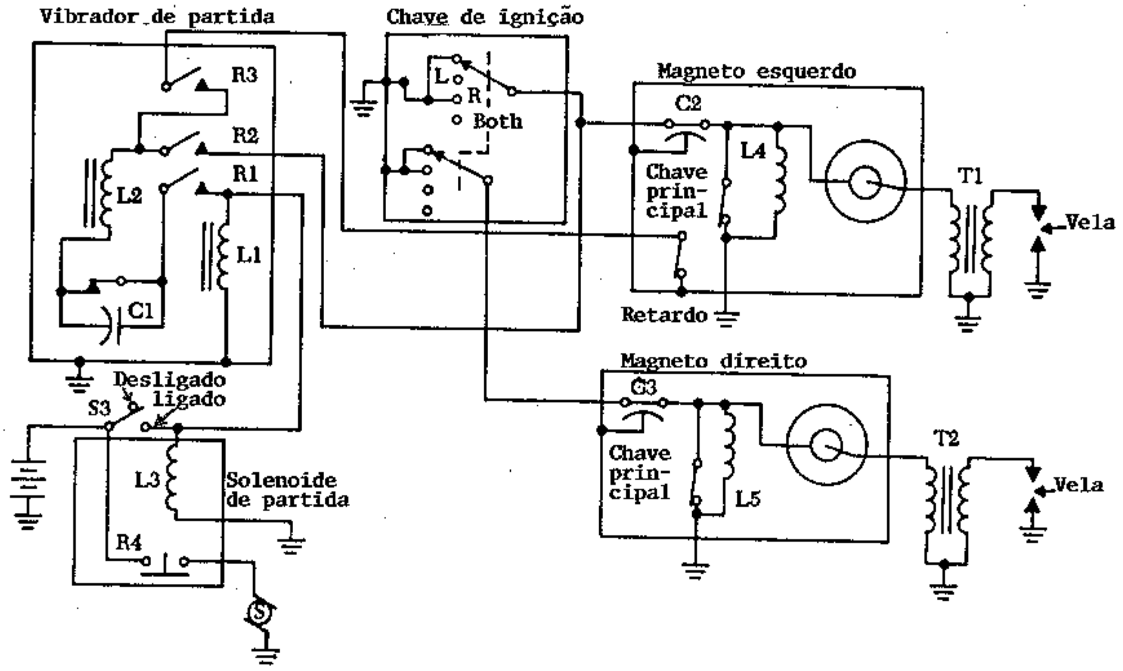


Figura 4-24 Magneto de retardo de baixa tensão e circuito vibrador de partida.

Com o seletor do magneto na posição "L" (esquerdo), uma corrente flui através de R1, dos contatos L2 e R2 do vibrador, e através dos contatos do interruptor principal para o aterramento.

A corrente também flui através de R3 e contatos do interruptor de retardo para a massa. Correntes através de L2 produzem um campo magnético, os quais abrem os contatos do vibrador e quando a corrente pára de fluir através de L2, os contatos novamente se fecham. Estas ondas de fluxo de corrente, através de ambos os contatos dos interruptores de retardo e principal vão para a massa.

Desde que o interruptor de partida seja fechado, o eixo do motor começa a girar. Quando o giro atinge o avanço normal da posição de ignição, os contatos principais do interruptor do magneto abrem; entretanto, a corrente mantém o fluxo para a massa através dos contatos fechados do interruptor de retardo.

Como o motor continua girando, a posição de retardo de ignição é atingida e os contatos do interruptor de retardo são abertos. Desde que os contatos do interruptor principal sejam mantidos abertos, a corrente vai fluir para a massa através da bobina L4, produzindo um campo magnético ao seu redor.

Como o motor continua girando, os contatos do interruptor vibrador abrem, interrompendo bruscamente o campo magnético L4 através do T1 primário, induzindo uma alta voltagem no secundário do T1 para detonar a vela de ignição.

Quando o motor “pega”, o interruptor de partida é liberado, desenergizando L1 e L3. Isso abre os contatos do circuito do vibrador e do interruptor de retardo. O interruptor de ignição é então girado para "ambos", permitindo que o magneto direito opere ao mesmo tempo que o magneto esquerdo.

VELAS DE IGNIÇÃO

A finalidade da vela em um sistema de ignição é conduzir um curto impulso de corrente de alta voltagem, através de um espaço dentro da câmara de combustão.

Dentro da câmara de combustão existe um espaço por onde o impulso pode produzir uma centelha elétrica para inflamar a carga de ar/combustível.

Embora as velas de ignição de aeronaves sejam de simples construção e operação, elas estão direta ou indiretamente relacionadas com a maioria das grandes falhas nos motores de aeronaves. Mesmo assim, as velas permitem uma grande operação sem problemas, considerando as condições adversas em que operam.

Em cada cilindro de um motor operando a 2.100 RPM, aproximadamente 17 separadas e distintas pontes de centelhas de alta voltagem saltam em uma vela de ignição simples, por segundo. Isso aparece para os nossos olhos como um disparo contínuo, saltando dos eletrodos das velas de ignição à temperatura acima de 3000 °F.

Ao mesmo tempo, a vela suporta uma alta pressão de gás como 2000 p.s.i., e uma alta pressão elétrica da ordem de 15.000 volts.

Os três principais componentes de uma vela de ignição (figura 4-25) são os eletrodos, isolante e cobertura externa.A cobertura externa que possui rosca para fixação ao cilindro, é normalmente feita de aço especial resistente à corrosão devido aos gases do motor, garantindo a fixação.

A falta de tolerância da rosca de fixação e do vedador evita vazamento da pressão de gás de escapamento através da vela. A pressão que vier a escapar através dessa é retida pelo vedador interno, entre o metal externo da cobertura e o isolador, e entre o isolador e o conjunto do eletrodo central.

O isolador provê uma proteção em torno do eletrodo. Em adição à isolação elétrica, o isolador de cerâmica também transfere calor da ponta da cerâmica para o cilindro.

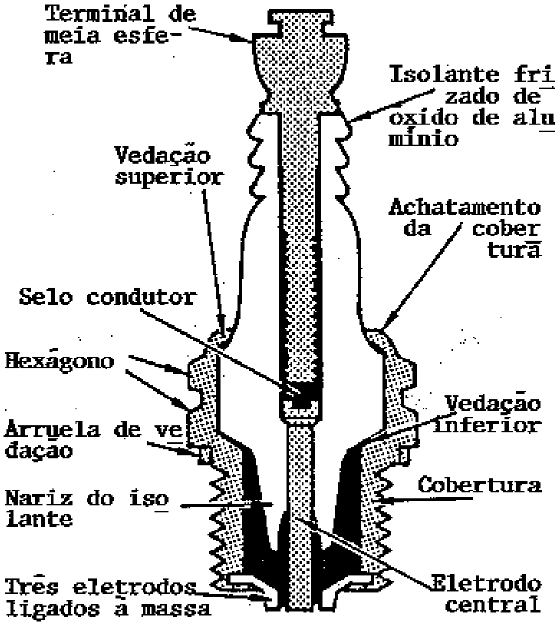


Figura 4-25 Uma vela típica.

Os tipos de velas de ignição usados em diferentes motores variam em relação ao calor, faixa, tamanho da rosca ou outras características de instalação – requeridas por diferentes motores.

A faixa de calor de uma vela de ignição é medida pela sua capacidade de transferir calor para a cabeça do cilindro. A vela deve operar quente, permitindo queimar depósitos que podem causar sujeira, entretanto, a uma temperatura que evite a condição de pré-ignição.

O comprimento do nariz central é o principal fator para estabelecer a faixa de calor da vela. Velas "quentes" possuem um grande nariz isolador, que cria um longo caminho de transferência de calor, enquanto que as velas "frias" possuem um isolador relativamente pequeno, para permitir uma rápida transferência de calor para a cabeça do cilindro (figura 4-26).

Se um motor fosse operado somente em uma velocidade, o desenho das velas de ignição poderiam ser bastante simplificado. Devido ao fato do vôo demandar diferentes situações de carga do motor, as velas de ignição precisam ser projetadas para operar tão quentes quanto possível, e em baixas velocidades e poucas cargas, e tão frias quanto possível em cruzeiro e potência de decolagem.

A opção pela vela de ignição que deve ser utilizada em um motor de aviação é determinada pelo fabricante do motor após testes completos.

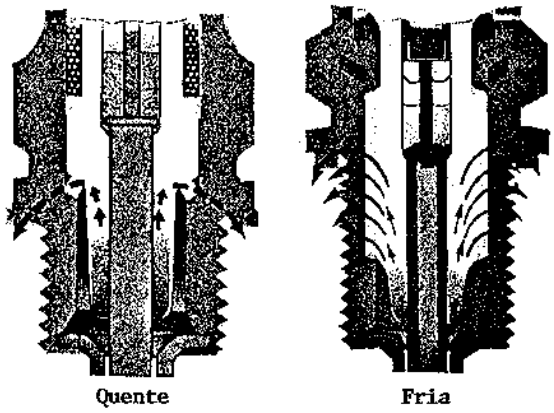


Figura 4-26 Velas quentes e frias.

Quando um motor é certificado para utilizar uma vela de ignição quente ou fria, a vela utilizada e determinada pela forma como o motor vai ser operado.

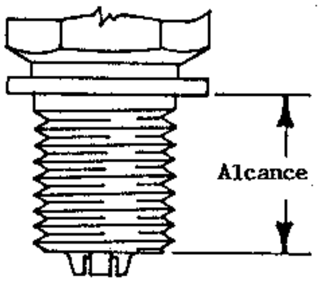


Figura 4-27 Alcance da vela.

Uma vela com alcance apropriado (figura 4-27) irá determinar o quanto a extremidade do eletrodo penetrará no cilindro, em uma posição ideal para ativar a ignição. O alcance da vela de ignição é a quantidade de rosca inserida na bucha, no cilindro. Gripamento da vela e/ou combustão incorreta no cilindro, são causas prováveis de velas com alcances errados em uso.

MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO DE MOTORES ALTERNATIVOS

Um sistema de ignição de uma aeronave é o resultado de um cuidadoso projeto e de esmerados testes.

Há todas as possibilidades de um sistema de ignição estar bom, dependendo do serviço e da manutenção adequada. Entretanto, dificuldades podem ocorrer, afetando a performance de um sistema de ignição.

A mais comum dessas dificuldades de manutenção, junto com o método mais genérico de inspeção de ignição, será discutido nesta seção.

Quebra do material isolante, surgimento e aumento de pontos de rachaduras e curto-circuito, ou quebra de conectores elétricos, não são incomuns. Esses defeitos devem ser encontrados e corrigidos.

Menos comuns são as irregularidades que envolvem erros humanos.

Por exemplo, o tempo de ignição requer um ajuste preciso e cuidadoso, para que quatro condições sejam seguidas no mesmo instante:

1) O pistão do cilindro número 1 deverá estar em uma posição descrevendo um número de graus, antes do ponto morto alto no tempo de compressão.
2) O rotor do magneto deve estar na posição da folga “E”.
3) Os contatos do platinado devem estar abertos pelo ressalto do came número 1.
4) A haste do distribuidor deve estar alinhada com o eletrodo servindo o cilindro número 1.

Se uma dessas condições estiver fora de sincronização, com qualquer outra, diz-se que o sistema de ignição está "fora de tempo".

Quando a ignição de um cilindro ocorre antes do eixo de acionamento atingir o ponto ideal, isso é classificado como "avançado". Se a ignição ocorre muito cedo, o pistão surge no cilindro em oposição a força total da combustão. Essa condição resulta em perda de potência do motor, superaquecimento, e possibilidade de detonação e pré-ignição.

Se a ignição ocorre em um tempo após a posição ótima do eixo de manivela ser atingida, o tempo de ignição é chamado de "atrasado".Se isso ocorrer muito tarde, não haverá tempo suficiente para queima da carga de ar/combustível, e ocorrerá uma combustão incompleta.

Como resultado, o motor perde potência e aumenta a abertura necessária ao acelerador, para manter a carga da hélice.

As irregularidades mais comuns são aquelas causadas por formação de umidade em diferentes partes do sistema de ignição. Umidade pode entrar nas unidades do sistema de ignição através de fendas ou coberturas soltas, ou pode ser resultado de condensação.

"Respingos", uma situação que acontece durante um reajuste do sistema, devido a baixa ou alta pressão atmosférica, pode acontecer quando o ar está carregado de umidade. Normalmente o calor do motor é suficiente para evaporar a umidade, mas ocasionalmente esta se condensa com o motor frio. O resultado é um considerável acúmulo de umidade, que pode causar a perda da resistência elétrica do material isolante.

Uma pequena quantidade de contaminação, por umidade, pode causar redução na saída do magneto por curto-circuito, para a massa, da parte de corrente de alta voltagem destinada à vela de ignição. Se este acúmulo de umidade for considerável, a saída do magneto pode ser dissipada para o aterramento. O acúmulo de umidade durante o vôo é extremamente raro, devido a alta temperatura de operação do sistema que é suficiente para evitar a condensação, portanto, as dificuldades por esss causas podem ocorrer mais provavelmente durante a operação no solo.

As velas de ignição de aeronaves podem ser injustamente apontadas como causas de falhas no funcionamento. Elas podem ser apontadas como defeituosas quando, na realidade, o defeito está ocorrendo em outro sistema. Falha no funcionamento do carburador, sujeira no distribuidor, válvula travada, vazamento no sistema primário, ou sujeira na marcha lenta, e ajuste de mistura podem apresentar os mesmos sintomas de falha no sistema de ignição.

Infelizmente, muitas dessas condições podem ser temporariamente resolvidas com a substituição de uma vela de ignição, mas o problema voltará a ocorrer em um curto espaço de tempo porque sua causa real não foi eliminada. Um total desconhecimento dos vários sistemas do motor, após cuidadosa inspeção e bons métodos de manutenção, podem reduzir substancialmente muitos erros.

DISPOSITIVOS DE REGULAGEM DO MAGNETO DE IGNIÇÃO

Quando muitas oportunidades para errar a regulagem do sistema de ignição para o motor são consideradas, a ênfase para o correto uso dos dispositivos que seguem é facilmente justificada.

Erros podem facilmente ocorrer no posicionamento do pistão na sincronização com o cilindro; ele pode ser colocado em um grau errado do eixo de manivela ou em um correto grau do eixo, mas em um tempo errado. Quando posicionado o rotor do magneto, um desacerto pode ser causado pela não remoção da folga entre as engrenagens de acionamento.

O conjunto dos platinados estando ou não corretamente sincronizado, não pode ser aberto na folga "E".

Qualquer outro erro pode alterar a regulagem final da vela de ignição. Devido às grandes possibilidades de erros, dispositivos temporizadores estão sendo desenvolvidos para tornar mais consistente os métodos de temporização.

Marcas de referências para a regulagem no próprio motor

Muitos motores alternativos possuem marcas de referências no próprio motor. Em um motor que não tem engrenagem de redução de hélice, a marca poderá ser normalmente encontrada no flange da hélice (figura 4-28).

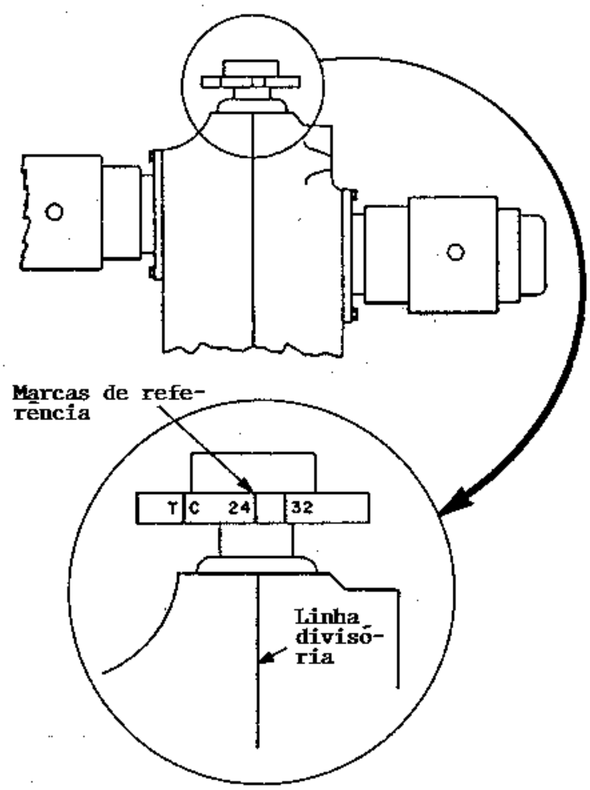


Figura 4-28 Marcas do tempo no flange da hélice.

A marca de ponto central (TC), estampada no bordo, irá alinhar-se com o eixo longitudinal abaixo do eixo de manivelas, quando o pistão número 1 estiver no ponto morto alto. Outras marcas no flange indicam grau antes do ponto morto alto.

Em alguns motores existem marcas de graus na caixa de redução das hélices. Para esses motores é necessário remover um plugue na caixa de engrenagens de redução, para que se possa ver as marcas do tempo do motor.Em outros motores, as marcas de temporização estão na flange do eixo de manivelas, e podem ser vistos removendo a conexão à frente do eixo.

Em qualquer caso, as instruções do fabricante do motor irão indicar a localização dessas referências no motor.

Utilizando as marcas (figura 4-29) para posicionar o eixo de manivelas, o ponteiro estacionário, ou a marca na seção dianteira, deve estar alinhado no eixo da hélice, no flange do eixo ou na caixa de engrenagens.

Verifica-se se um ângulo poderá resultar em um erro de posicionamento do eixo de manivelas.

Embora muitos motores tenham marcas de referências de tempos, eles ainda deixam a desejar.

O principal inconveniente é o fator folga. A folga em um sistema de engrenagens irá variar entre as instalações e, muitas vezes, entre duas verificações distintas da mesma peça do equipamento.

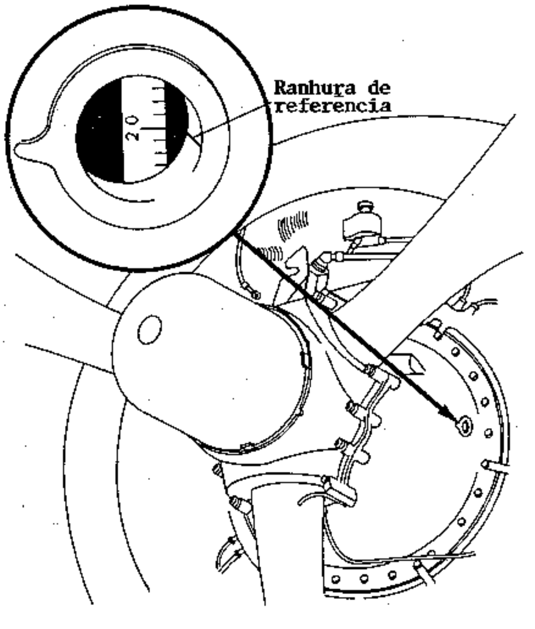


Figura 4-29 Marca do tempo típico na caixa de redução da hélice.

Isso acontece porque não existe como impor uma carga à caixa de engrenagens, em direção oposta à rotação do eixo de manivelas. Outro aspecto desfavorável na utilização de marcas na caixa de redução é um pequeno erro que surge quando verifica-se de baixo essa marca de referência, para ajustá-la dentro da carcaça da caixa de redução.

Devido ao fato de haver folga entre as duas marcas de referência, cada mecânico deve ter seus olhos no mesmo plano, se não, cada homem irá selecionar uma posição diferente do eixo de manivelas para o ajuste da ignição.

Disco de sincronização

O disco de sincronismo é um dispositivo de posicionamento do eixo de manivelas mais preciso do que as marcas de referência. Esse dispositivo consiste em um disco e um ponteiro mecânico, montado em um acessório acionado pelo motor. Esse ponteiro, que é montado em um eixo acionador de acessório, indica o número de graus do movimento do eixo de manivelas sobre o disco.

O disco é marcado em graus relativos ao eixo de manivelas. Pela simples aplicação do torque no acionador de acessórios em uma direção oposta à rotação normal, a folga na caixa de engrenagens pode ser removida, e o eixo de manivelas pode ser levado para a posição, e obter um ajuste preciso de tempo após tempo.

Nem todos os discos são marcados no mesmo número de graus. Por exemplo, o disco destinado para uso em um tipo de motor é montado no eixo de acionamento da bomba de combustível. Desde que a bomba seja acionada com a mesma velocidade do eixo de manivelas, o ponteiro irá descrever um circuito completo quando o eixo de manivelas completar uma volta.

Portanto, o disco pode ter incrementos de um em um grau até completar 360°. Entretanto, o disco utilizado em um outro motor pode ser montado sobre o magneto, que é acionado com a metade da velocidade do eixo de manivelas.

Com essa relação, o eixo move um grau, enquanto o ponteiro indicador move apenas meio grau. Por essa razão, o disco está marcado com 720 espaços de 1/2 grau. Cada 1/2 grau indicado corresponde a um grau completo no eixo de manivela.

A figura 4-30 mostra um disco de sincronia. As marcas variam de acordo com as especificações do motor. A escala nesse exemplo é fixada nos parafusos de fixação da placa de torque e o ponteiro no eixo de acionamento da hélice.

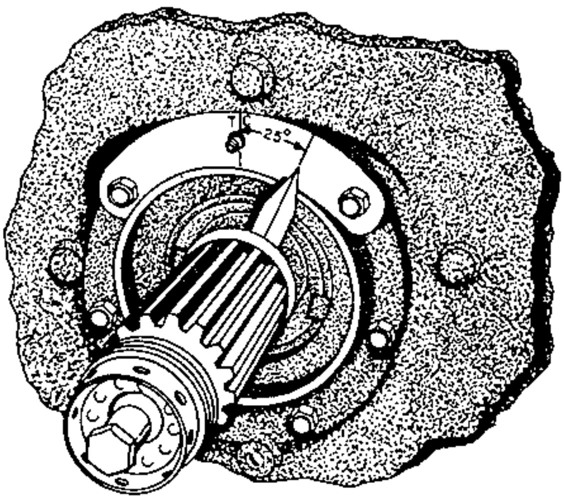


Figura 4-30 Uma placa de sincronia e ponteiro.

Indicador de posição do pistão

Precisamos obter a indicação de posição do pistão para sincronizar a ignição, válvulas ou injeção de combustível. Essa referência é chamada de ponto morto alto. Esta posição do pistão não pode ser confundida com a posição do pistão chamada ponto alto.

Um pistão no ponto alto tem pouco valor para o ponto de ajuste padrão, porque corresponde a uma variação de 1 a 5° da posição do eixo de manivelas. Isso é ilustrado na figura 4-31, que foi exagerado para dar ênfase a zona em que o pistão "não desloca".

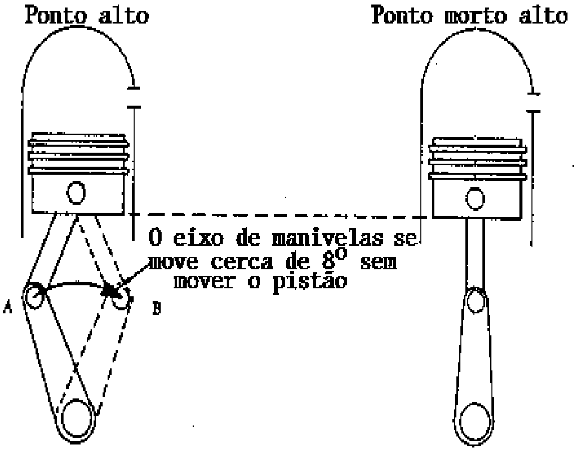


Figura 4-31 Ilustração da diferença entre o ponto alto e o ponto morto alto.

Nota-se que o pistão não se move, enquanto que, o eixo de manivela descreve um pequeno arco da posição “A” para a posição “B”. Esta zona que "não desloca" o pistão ocorre entre o tempo em que o eixo de manivelas termina de leva-lo para cima através da biela, e posiciona a biela para puxar o pistão para baixo.

O ponto morto alto é a posição do pistão e do eixo de manivelas, a qual todas as outras localizações do pistão e eixo de manivela são referenciadas.

Quando um pistão está na posição de ponto morto alto, ele está na distância máxima do centro do eixo de manivelas, e também no centro da zona que "não desloca". Nessa posição, o pistão está localizado de modo que pode ser traçada uma linha de centro do eixo de manivelas, biela e pino do pistão, como mostrado na figura 4-31. Com esse alinhamento, uma força aplicada no pistão não pode mover o eixo de manivelas.

Talvez uma haste ou um lápis tenham sido os primeiros indicadores de posição do pistão. Uma extremidade dessa simples ferramenta pode ser inserida em um ângulo através do orifício da vela de ignição do cilindro de sincronia, até atingir o outro bordo do pistão, como mostrado na figura 4-32.

Nesse ponto, este mecanismo deve ser marcado com a unha do polegar em relação à face do orifício da vela de ignição. Com essa marca mantida na haste, pode-se retirar a haste e fazer um chanfro de uma polegada acima da marca.

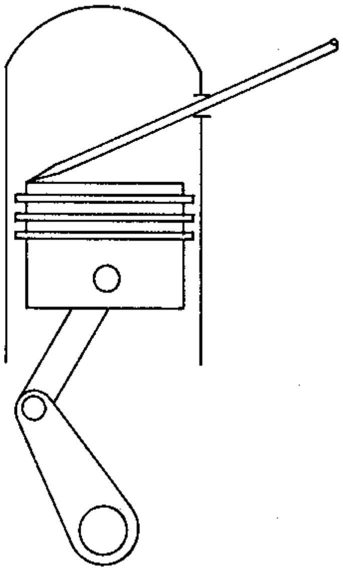


Figura 4-32 Um simples indicador de posição do pistão.

Esse chanfro provê um ponto de referência que, algumas vezes, estará antes do ponto morto alto.

Um procedimento incorreto não poderá encontrar a mesma posição do pistão em cada tempo.

Todas as indicações de posição do pistão em uso utilizam o orifício da vela de ignição, que sempre encontra o cilindro em um plano exato, e a haste de indicação toca a mesma parte da cabeça do pistão.

Um dos vários indicadores de posição do pistão usados hoje é um indicador mostrador de tempo (figura 4-33).

Isso serve para o propósito de indicar a posição do pistão em um número limitado de graus, como o disco de sincronia.

Esse dispositivo consiste em duas partes: a carcaça do corpo e a face. A carcaça é essencialmente um adaptador com um parafuso, que atravessa o orifício da vela de ignição e suporta a face.

A face é montada no adaptador e contém uma mola de carga que compensa o braço do indicador, um ponteiro deslizante, uma escala substituível calibrada em graus, um indicador luminoso, e a borda que distende-se acima da face para formar uma dobradiça para compensar o braço do indicador.

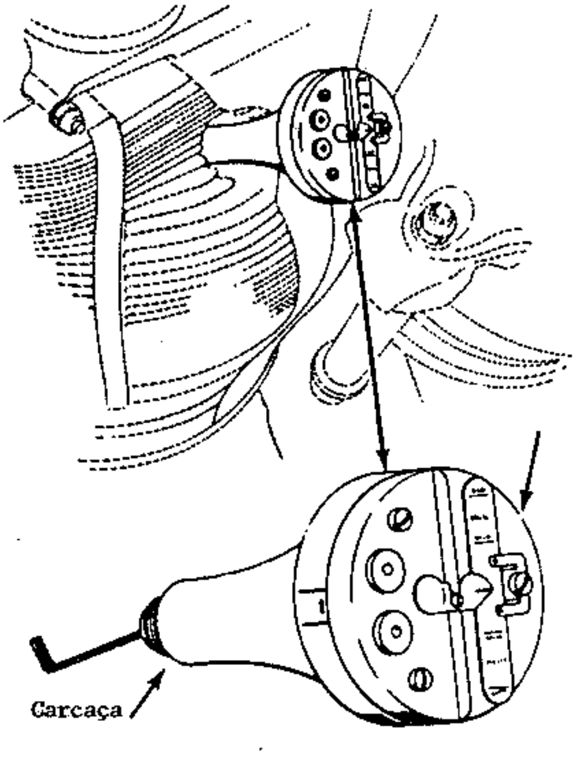


Figura 4-33 Indicador de posição do pistão.

A extensão final do braço compensado dentro do cilindro, através do orifício da vela de ignição é atuado pelo movimento do pistão. A outra extremidade da extensão do braço passa através da fenda na face, e atua o ponteiro deslizante sobre a escala.

Esse indicador acoplado tem uma variedade de diferentes braços e escalas graduadas. Tanto os braços, como as escalas, são compensados para os diferentes motores que utilizam essas marcas. A compensação é necessária porque há variação entre golpes dos pistões e localização dos orifícios das velas em diferentes cilindros. Os braços são compensados pela variação de suas formas e comprimentos, e a escala é compensada pelo espaçamento das marcas em graus.

Desse modo, uma combinação particular de uma escala e braço indicarão a posição verdadeira do pistão, se for usada corretamente.

Para garantir uma maior precisão com o "Indicador", uma pequena luz, alimentada por uma pequena bateria, é montada na face. Quando o braço compensado toca o ponteiro móvel, um circuito elétrico é completado e a luz acende. Essa luz permite maior precisão, porque o ponteiro deslizante pode ser posicionado para marcar um determinado grau sobre a escala, e o eixo de manivelas pode ser girado lentamente pelo eixo da hélice até que a luz acenda.

O eixo da hélice deve ser movimentado lenta e cuidadosamente, para que o braço não movimente o ponteiro além do grau ajustado após a luz acender.

Existem dois outros tipos comuns de indicadores de posição de pistão em uso, e ambos utilizam o mesmo princípio de posicionamento do pistão. Um possui a escala e pontos de referência. O outro é simplesmente uma luz que acende quando o pistão toca o braço atuador, e apaga quando o pistão se move para baixo do braço.

Luzes de sincronia

A luz de sincronia é utilizada para ajudar a determinar o instante exato em que os contatos do magneto se abrem. Eles são encontrados em dois tipos gerais e de uso comum. Ambos possuem duas luzes e três fios de conexão externa, embora possuam circuitos internos completamente diferentes, suas funões são as mesmas.

Um tipo de luz e seu circuito interno são mostrados na figura 4-34.

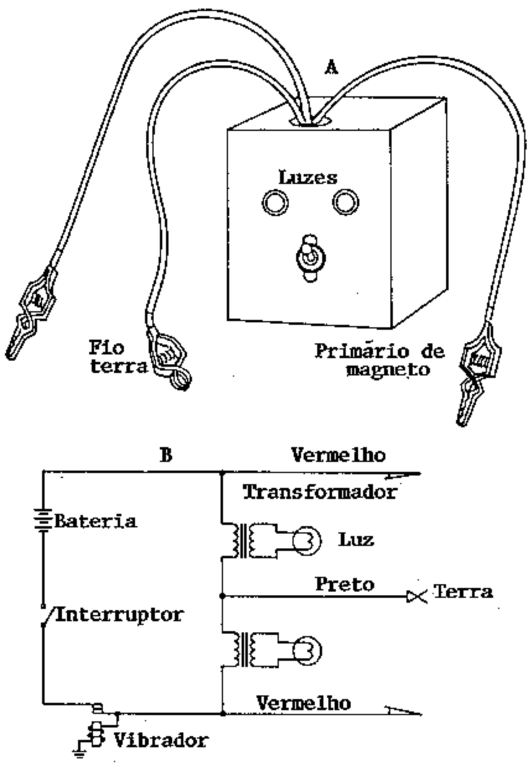


Figura 4-34 Diagrama elétrico de luz e luz de sincronia.

Três fios conectores saem do topo da caixa de luzes (“A” na figura 4-34). Também possui duas luzes na face dianteira da unidade e um interruptor para ligar e desligar a unidade.

No diagrama de fios (“B” na figura 4-34) percebe-se que a unidade contem uma bateria, uma bobina do vibrador e dois transformadores. Para utilizar a luz de sincronia, o fio central, marcado "terra" é conectado à carcaça do magneto a ser testado. As outras pernas são conectadas aos fios do primário do conjunto de platinados dos magnetos.

Com as pernas conectadas dessa maneira, pode ser facilmente determinado se os contatos estão abertos ou fechados pelo comando do interruptor, observando as duas luzes.

Se os contatos estiverem fechados, a maior parte da corrente fluirá através dos contatos do interruptor, e não através dos transformadores, então as luzes não acendem.

Se os contatos estiverem abertos, a corrente irá fluir através do transformador e as luzes irão acender. Alguns modelos operam de maneira inversa, ou seja, a luz se apaga quando os contatos abrem.

Cada uma das duas luzes é operada separadamente por contatos do interruptor, no qual estão conectadas. Isso torna possível observar o tempo ou o ponto de referência para ajustar rotor do magneto para no ponto onde os contatos abrem.

Muitos destes sincronizadores utilizam bateria seca que são substituídas após longo tempo de uso.

A atenção para a utilização é com relação a bateria fraca, que pode causar resultados errôneos de leitura, devido ao baixo fluxo de corrente no circuito.

CHECANDO A SINCRONIZAÇÃO INTERNA DO MAGNETO

Ao substituir um magneto ou prepará-lo para a instalação, a primeira preocupação é com a sincronização interna.

Para cada modelo de magneto, o fabricante determina com quantos graus da posição neutra um polo do rotor pode ser mantido para obter a melhor centelha na vela, no instante em que os contatos do platinado se abrem.

Esse deslocamento angular da posição neutra, conhecido como ângulo de folga “E”, varia com os diferentes modelos de magnetos. Em um modelo, o "passo" é verificar o came do platinado para checar a sincronia interna do magneto.

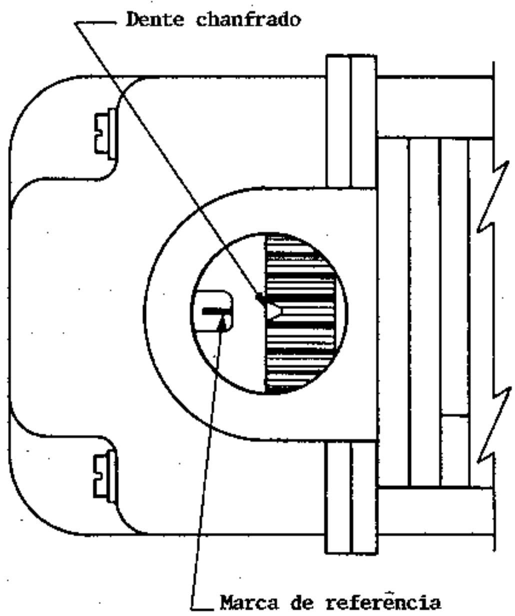


Figura 4-35 Marcas de sincronismo que indicam posição n° 1 de centelhas do magneto.

Quando uma régua é colocada nesse passo e coincide com as marcas na borda da carcaça, o rotor do magneto está na posição de folga "E" e os contatos do platinado devem estar começando sua abertura.

Outro método para checar a folga "E" é alinhando a marca de sincronismo com um dente chanfrado (figura 4-35).

Os contatos devem estar começando a abertura quando essa marca estiver alinhada.

Em um terceiro método, a folga "E" estará correta quando o pino de sincronia estiver posicionado, e os pontos vermelhos visíveis através de um furo de ventilação, no lado da carcaça do magneto, estiverem alinhados (figura 4-36).

Os pontos de contato deverão estar começando a abertura, quando o rotor se encontrar na posição descrita.

O ajuste de sincronismo do magneto envolve o posicionamento do rotor na posição da folga "E", e o ajuste dos contato do platinado para abrirem quando as marcas de sincronia, destinadas a esse propósito, estiverem perfeitamente alinhadas.

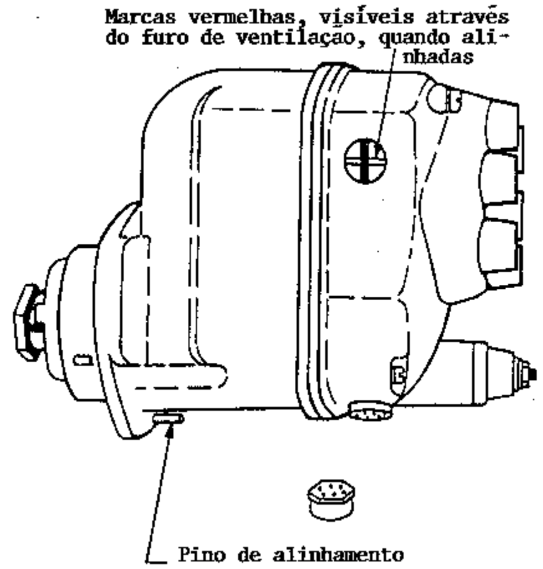

Marcas vermelhas, visíveis através do furo de ventilação, quando alinhadas
Pino de alinhamento

Figura 4-36 Checando a folga do magneto.

Sincronia do magneto de alta tensão em bancada

No assunto a seguir os procedimentos para sincronismo de um magneto de motor radial de duas carreiras de cilindros é citado somente para exemplo. Consulte as instruções do fabricante em qualquer caso, antes de alinhar a referência do magneto.

Para alinhar o magneto em bancada, certas ferramentas são necessárias. Normalmente usa-se a luz de sincronia, uma ferramenta para segurar o magneto, uma chave de fenda comum para soltar alguns parafusos do conjunto e uma régua para verificar a folga "E".

Os contatos do platinado são protegidos por uma cobertura. A remoção dessa cobertura como mostrado na figura 4-37, expõe o ressalto e os contatos do platinado.

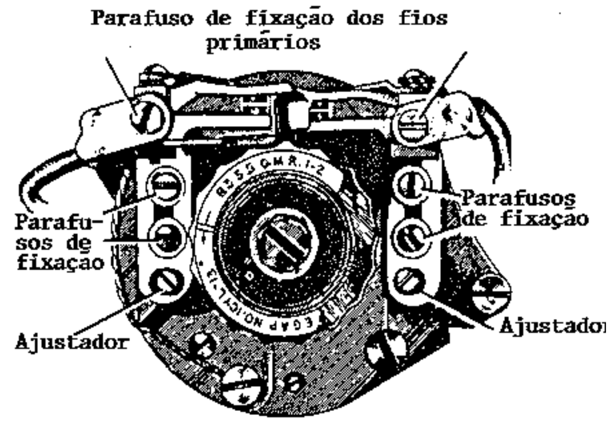


Figura 4-37 Contatos do platinado e ressalto compensado.

Para iniciar o ajuste de sincronização do magneto, conecta-se os dois fios vermelhos do sincronizador de luzes nos parafusos primários do magneto. E o fio preto restante liga-se na carcaça do magneto para fazer o aterramento.

Com a maioria dos magnetos desse tipo, uma ferramenta especial é usada para receber o encaixe do eixo de acionamento do magneto. Essa ferramenta mantém o magneto com os contatos para a posição perpendicular, e mantém o rotor do magneto estacionário durante o processo de alinhamento.

O movimento do rotor pode ser simulado, girando o magneto em torno do rotor. Para alguns tipos de magnetos a ferramenta que segura o rotor contém uma braçadeira para travá-lo na carcaça do magneto, estabelecendo a relação entre os dois.

Com o magneto instalado na ferramenta fixadora, e o sincronizador de luzes instalado, o posicionamento das marcas de alinhamento do rotor do magneto e o alinhamento do magneto pode ser perfeitamente localizado. Trava-se a ferramenta nessa posição.

Com o rotor posicionado e travado, ambos os parafusos inferiores (figura 4-37) podem ser afrouxados. Então, aperta-se estes dois parafusos até que haja algum arrasto (fricção), permitindo movimentar a base nos parafusos de ajuste.

Liga-se o sincronizador de luzes e move-se os parafusos de ajuste para trás e para frente até que as luzes de sincronia para ajuste dos pontos iniciem a acender. Trava-se este ajuste nos pontos de contato, apertando os dois parafusos sem alterar o ajuste.

A trava do rotor do magneto deve ser solta e o ajuste pode ser verificado com a régua e o sincronizador de luzes, para determinar que os pontos estejam abertos exatamente na folga "E". Isso é conseguido colocando e mantendo-se a régua no ressalto do rotor, e girando a carcaça do magneto em torno do eixo do rotor suportado pelo dispositivo de fixação.

Primeiro, gira-se a carcaça do magneto na direção indicada pela seta no ressalto do rotor até que a luz se apague. Indicando dessa forma que os contatos estão completamente fechados,então, o magneto é rodado na direção oposta. Isso fará com que o rotor do magneto volte para a posição de folga "E" na direção normal de rotação. Se o ajuste estiver correto, o ressalto do rotor do magneto se alinhará com a posição de folga "E", que será indicado pela régua, no exato momento em que a luz acende para mostrar que os contatos estão abertos. A sincronia interna pelo ajuste dos contatos do platinado estará concluída.

Existem diversas maneiras para ajustar e manter o ajuste dos contatos abertos na posição de folga "E". Talvez o método mais fácil já seja utilizado, ajustando os pontos do interruptor com uma verificação de contato.

Utilizando a indicação de luzes através dos pontos, com uma correta referência da folga, o segundo ajuste pode ser sincronizado para abrir exatamente no mesmo tempo.

Quando os dois parafusos de fixação no segundo ponto de ajuste (figura 4-37) são liberados, para permitir que os parafusos de ajuste movam as partes dos pontos de aterramento, os contatos podem ser ajustados até que a luz acenda exatamente ao mesmo tempo que o primeiro ajuste.

Então os parafusos de trava podem ser apertados sem alterar o posicionamento do interruptor antes de rodar a carcaça do magneto para ver se ambas as luzes acendem simultaneamente. O magneto agora está pronto para ser instalado no motor e isso requer sincronia desse com o motor.

SINCRONIZANDO O MAGNETO DE ALTA TENSÃO COM O MOTOR

Quando se substitui magnetos em motores de aeronaves, dois fatores são considerados: A sincronia interna do magneto, incluindo o ajuste do ponto de contato, que deve ser correto para obter o máximo potencial de voltagem dos magnetos; e a posição do eixo de manivelas em relação a centelha.

Uma folga dos contatos do platinado nunca pode ser comparada com outra, desde que não se conheça o outro ajuste dos contatos, que abre com um determinado número de graus antes do ponto morto alto na posição sincronismo de tempo do motor.

O magneto deve ser sincronizado primeiro ajustando o próprio sincronismo interno e, então, checando e ajustando os contatos de ignição para abrir nesta posição.

Se a marca de sincronia de referência para o alinhamento do magneto, alinhar quando a sincronia do pistão estiver um número descrito de graus adiante do ponto morto alto verdadeiro e, ambos os ajustes dos platinados, direito e esquerdo abrirem nesse instante e permanecerem abertos por um número de graus prescritos, a sincronia interna do magneto estará correta, a sincronia apropriada magneto-motor existe e todas as fases do magneto operam sincronizadas.

No caso dos platinados não serem ajustados quando da sincronia interna do magneto, como descrito pelas marcas de referência de ajuste interno, o magneto estará fora da posição prescrita em relação ao pistão.

Para que haja sincronia do magneto com o motor no exemplo seguinte, uma luz de sincronismo é usada.

A luz de sincronismo é projetada de tal forma que uma das duas estará acesa quando os contatos se abrirem.

A sincronia de luzes incorpora duas lâmpadas; portanto, quando conectamos o sincronizador de luzes ao magneto, os fios devem ser ligados de tal forma que a luz no lado direito da caixa represente os platinados do lado direito do magneto, e a luz do lado esquerdo do teste represente os platinados do lado esquerdo.

A conexão apropriada dos fios pode ser estabelecida pelo acendimento da luz de sincronia, tocando um dos fios vermelhos com o fio preto.

Se a luz direita apagar, o fio vermelho utilizado deve ser conectado na carcaça do magneto, ou no motor, para completar o aterramento.

Quando se utiliza a luz de sincronia para verificar um magneto em um sistema completo de ignição instalado na aeronave, o interruptor principal de ignição da aeronave deve ser ligado e o seletor de ignição colocado em "ambos" (both).

Do contrário, as luzes não irão indicar a abertura dos platinados.

Com o interruptor de ignição ligado e o sincronizador de luzes conectado, o magneto ficará inoperante; portanto, não haverá centelha quando a hélice for girada.

Após se concluir que o sincronismo interno do magneto está correto, gira-se o eixo de manivelas do motor até que o pistão do cilindro número 1 atinja a posição de faiscamento no tempo de compressão. Esta posição pode ser determinada por referência do manual de serviços do fabricante. Localiza-se essa posição utilizando um indicador do pistão.

Para se estabelecer o posicionamento do eixo de manivelas, com o indicador de posição do pistão, alguns itens são seguidos:

1) Remover a vela de ignição mais acessível do cilindro número 1.

2) Instalar o braço de contato e a escala calibrada corretos para o motor específico (consultar as instruções específicas do fabricante para serem utilizados corretamente).

3) Puxar a hélice na direção de rotação, até que o pistão número 1 venha para cima na fase de compressão. Isso pode ser determinado mantendo o polegar sobre o orifício da vela de ignição, enquanto a compressão o empurre para fora.

4) Separar o conjunto indicador de posição do pistão, e atarrachar a carcaça no orifício da vela de ignição. Inserir o conjunto indicador dentro do corpo com a extremidade do gancho para cima ou para baixo, como indicado na escala.

5) Empurrar o ponteiro deslizante para cima na fenda até atingir a extremidade da mesma, e pare no braço indicador (figura 4-38).

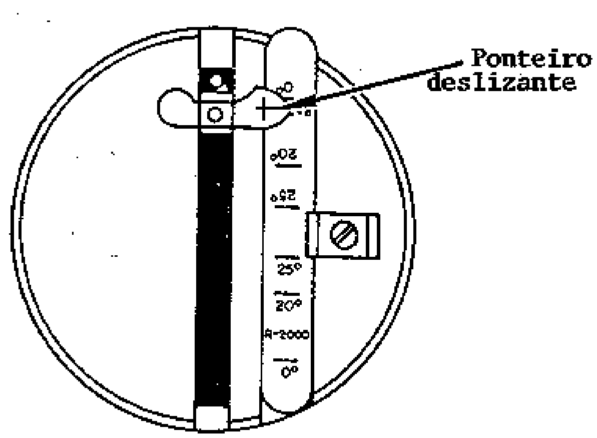


Figura 4-38 Posicionando o ponteiro de Indicação.

6) Puxar a hélice lentamente na direção de rotação, até que o braço de indicação mova o ponteiro deslizante na distância máxima e o braço indicador inicie o movimento para trás, subindo na fenda (figura 4-39).

7) Mover a escala calibrada para que a marca do zero se alinhe com a marca descrita no ponteiro deslizante.

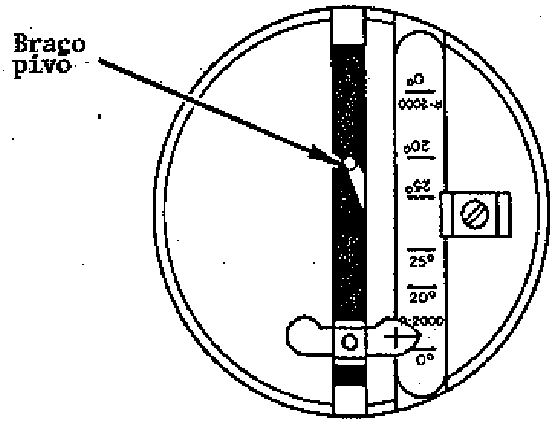


Figura 4-39 Posição máxima do ponteiro indicador.

8) Mover o ponteiro deslizante para trás, até o topo da fenda, ou até encostar no braço de indicação.

9) Girar a hélice na direção oposta, para que o braço do indicador possa retornar ao topo da fenda.

10) Verificar novamente a marca do zero na escala calibrada contra a marca de referência no ponteiro indicador (figura 4-40).

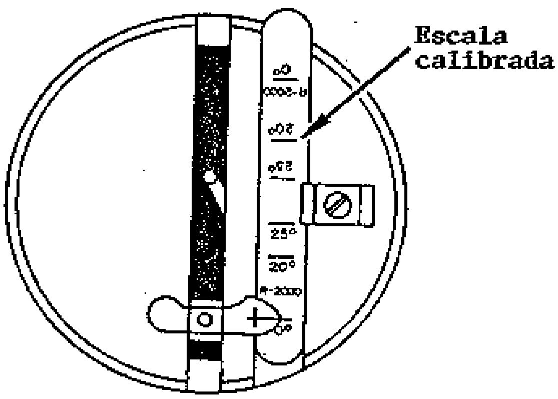

Escala calibrada
0°
R-2000
20°
25°
25°
20°
R-2000
0°

Figura 4-40 Rechecando a marca zero contra a marca de referência no ponteiro indicador.

11) Novamente mover o ponteiro deslizante para a parte superior da fenda, ou até encostar no braço indicador.

12) Puxar a hélice na direção de rotação. O braço indicador moverá o ponteiro deslizante, que indicará a posição do eixo de manivelas em relação ao ponto morto alto na escala calibrada (figura 4-41).

13) Ajustar a quantidade de graus do eixo de manivelas do motor para o correto ponto morto (tempo de ignição) como descrito nas instruções do fabricante.

Enquanto se mantém o ressalto de centelhamento na posição para o cilindro número 1, como indicado pelo alinhamento da marca de referência do magneto, instala-se o magneto na engrenagem de acionamento no motor.

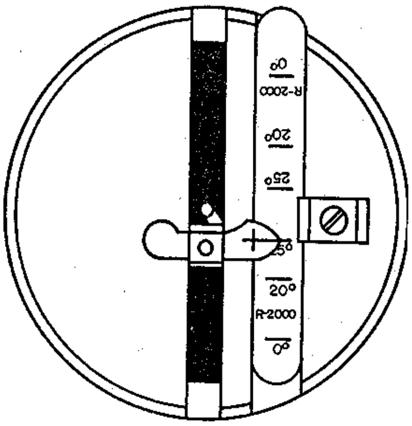

0°
R-2000
20°
25°
25°
20°
R-2000
0°

Figura 4-41 Movendo o eixo de manivelas para a posição de centelhamento do pistão.

A luz de sincronização é conectada ao magneto e aos platinados com o interruptor das luzes ligado e o conjunto do magneto é girado, primeiro na direção de rotação, e então na direção oposta.

Utiliza-se esse procedimento para verificar que as luzes apagam, e acendem quando o ressalto para o cilindro número 1, normalmente marcado por um ponto, levanta os platinados do magneto, enquanto este é girado.

Se a fenda no flange de montagem do magneto não permitir movimento suficiente para efetuar a abertura dos platinados para o cilindro número 1, move-se o magneto para fora da posição, afastando-o o suficiente para permitir que seu eixo gire um ressalto para à frente ou para trás. Então, instale o magneto novamente nessa posição, e repita a verificação anterior para os pontos abertos.

Depois que o magneto estiver acoplado no encaixe do motor (permitindo a abertura e o fechamento com pequenas viradas), instala-se suas porcas de fixação. Quando elas forem apertadas não deverá haver movimento no conjunto do magneto em relação ao flange.

Enquanto se mantêm destravadas as engrenagens do magneto e do acoplamento de acionamento, leves batidas são dadas no magneto, para avançar ou retardar a unidade até que as marcas de sincronia se alinhem (figura 4-42). Isso o leva a sincronia interna prescrita na quantidade de graus antes do ponto morto alto. O ajuste se completa quando as porcas são apertadas.

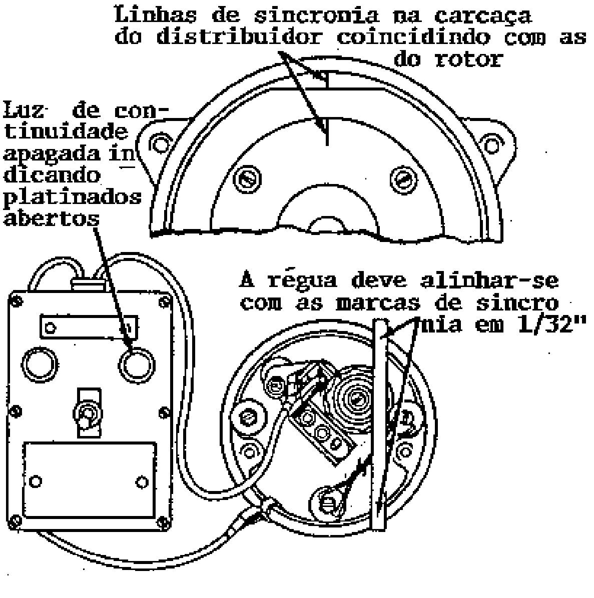

Linhas de sincronia na carcaça do distribuidor coincidindo com as do rotor
Luz de continuidade apagada indicando platinados abertos
A régua deve alinhar-se com as marcas de sincronia em 1/32"

Figura 4-42 Posição da régua para checar a folga "E" ("E-GAP").

Então, a hélice é movida para a direção oposta da rotação, de uma pá, e empurrada lentamente na direção de rotação até o eixo de manivelas, para novamente confirmar o número de graus à frente do ponto morto alto (o propósito desta checagem é eliminar a possibilidade de erros entre a trava da engrenagem de acionamento do motor e as engrenagens do magneto).

Se a marca de sincronia não estiver alinhada, solta-se as porcas e ajusta-se o magneto até a régua se alinhar com a marca de sincronia, quando a hélice é puxada para um determinado número de graus.

A luz de sincronia é reconectada. Move-se a hélice uma pá na direção oposta à de rotação, e então, enquanto se observa a luz de sincronia, move-se a hélice na direção de rotação até que o número prescrito de graus à frente do ponto morto alto seja atingido.

As luzes de ambos os pontos de ajuste devem acender com meio grau de movimento do eixo de manivelas.

Após os pontos estarem ajustados como necessário, verifica-se os parafusos e a trava dos pontos de ajuste estão firmes. Sempre se verifica a abertura dos contatos após apertar os parafusos de fixação.

Regulagem do magneto usando o dispositivo de catraca

Por causa do projeto da cablagem de ignição em alguns motores, não é possível girar o magneto no seu montante e conseguir pequenas alterações para sua regulagem. Provisões para se conseguir regulagem do magneto instalado são proporcionadas por um arranjo de catracas, na extremidade do seu eixo de acionamento (figura 4-43).

Quando a porca do eixo de acionamento for desrosqueada, aproximadamente 1/8", a ação de fixação do mecanismo de catraca é eliminada, e o acoplamento acionador é mantido contra as catracas somente por uma mola. Nessa posição, o acoplamento pode ser girado, produzindo um efeito de "estalos" entre as catracas que são mantidas pelas molas.

Uma típica catraca de regulagem possui 24 dentes em um dos lados e 23 no outro. Girando o acoplamento acionador um "estalo" ou dente no sentido horário, move 15° na mesma direção; no sentido anti-horário, o mesmo se movimentará 15,65°.

Portanto, alternando o movimento do acoplamento acionador, um "estalo" ou dente, teremos um ganho de 0,65° no sentido anti-horário.

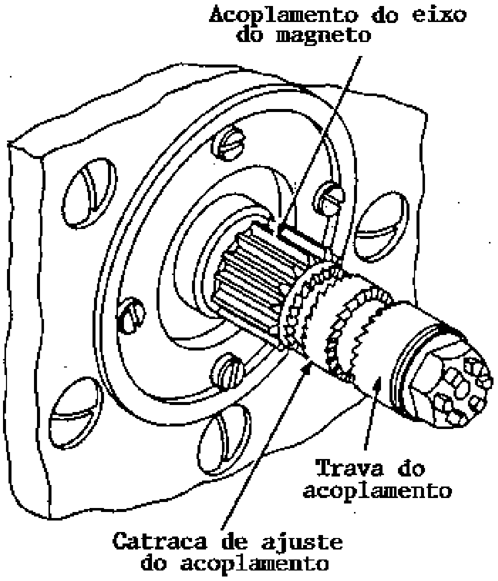

Acoplamento do eixo do magneto
Trava do acoplamento
Catraca de ajuste do acoplamento

Figura 4-43 Dispositivo de catraca do magneto.

Para regular esse tipo de magneto, ferramentas especiais são geralmente determinadas pelas instruções do fabricante. Por outro lado, as instruções seguem geralmente àquelas discutidas anteriormente, a exceção está nos ajustes finos, que são feitos pela catraca de acoplamento acionadora do magneto.

Ajuste de magneto de montagem fixa sem ferramentas especiais

Alguns tipos de magnetos de alta tensão podem ser ajustados ao motor sem ferramentas especiais, usando o seguinte procedimento:

1) Instalar o equipamento apropriado para estabelecer a posição do eixo de manivelas.

2) Posicionar o eixo de manivelas para o número de graus de avanço predeterminado do ponto morto alto para centelhar, como especificado na instrução aplicável do fabricante.

3) Remover a tampa do magneto, e colocar uma régua ou escala longitudinalmente ao came de ressalto (figura 4-44/A). Alinhar a régua com a marca de ajuste na borda da peça fundida.

4) Enquanto o ressalto é mantido na posição de centelhamento, colocar o magneto em posição do motor, permitindo que o ressalto se movimente o necessário para que o eixo de acionamento com a chaveta do magneto deslize dentro do acionador do motor.

5) Manter o came na direção oposta de rotação, a fim de remover a folga entre o magneto e o trem da caixa de engrenagens. Então, enquanto é mantida sem folga, a caixa de engrenagens, colocar a régua transversalmente no ressalto do came do magneto e fazer uma marca com lápis no alojamento (figura 4-44/B).

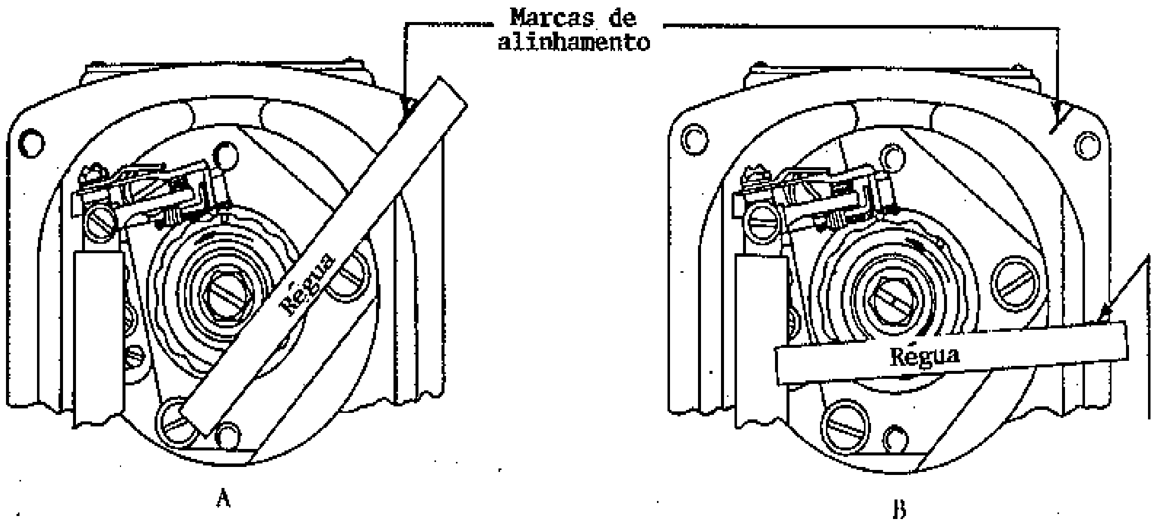


Figura 4-44 Régua de alinhamento.

6) Remover o magneto do motor e, usando uma régua no ressalto, alinhá-lo no alojamento. Enquanto o ressalto é mantido nessa posição, aplicar força no acionador do magneto na direção de rotação, para remover a folga das engrenagens. Com a folga removida e o ressalto no came alinhado com a marca a lápis, fazer uma marca na chaveta do eixo de acionamento e outra correspondente na carcaça (figura 4-45/A).

7) Girar o ressalto do magneto para a posição de centelhamento n° 1, onde a régua alinha com a marca de ajuste (figura 4-44/A). O resultado é um alinhamento do acoplamento acionador similar àquela mostrada na vista B da figura 4-45.

8) Enquanto se mantém o ressalto na posição correta de ajuste, catracar o acoplamento acionador até que o dente marcado da chaveta se alinhe com a marca, que foi feita a lápis, na carcaça (figura 4-45/A).

9) Apertar a porca do eixo acionador do magneto, e travá-la com contrapino. Instalar o magneto enquanto o came está na posição de centelhamento n° 1.

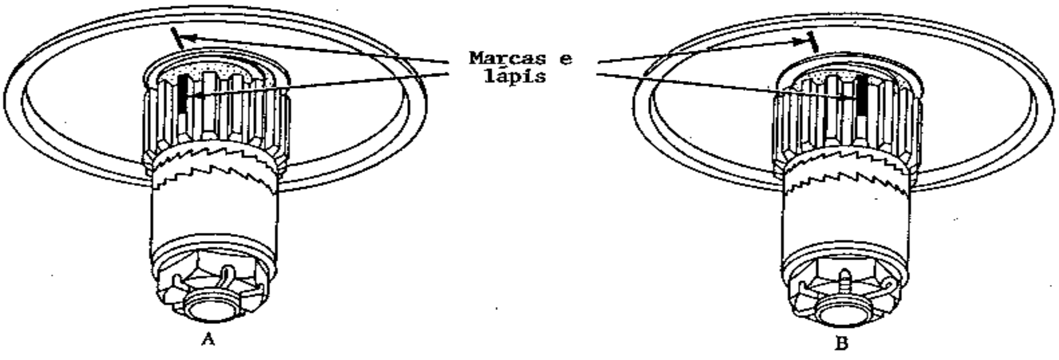


Figura 4-45 Marcação da chaveta do eixo.

10) Após o magneto estar instalado, e antes de apertar as porcas de fixação, verificar novamente o alinhamento do ressalto do came com a marca de ajuste. Quando se faz esse "check", geralmente gira-se o ressalto na direção oposta de rotação, para remover a folga do magneto e da caixa de engrenagens do motor.

11) Mover a hélice, vagarosamente, uma pá na direção oposta de rotação, até que o eixo de manivelas esteja nos designados números de graus de avanço do ponto morto alto (posição de faiscamento). Verificar novamente o alinhamento da régua com a marca de referência. Se o alinhamento correto não foi obtido, remover o magneto e substituir o mecanismo catracado no eixo acionador, como necessário.

12) Aterrar o fio preto da luz de sincronismo do motor, conectando um dos fios vermelhos ao platinado. Girar a hélice na direção oposta a de rotação. Com a luz de ajuste ligada, mover a hélice vagarosamente na direção de rotação até que o platinado abra para o cilindro n° 1. Se o platinado não abrir dentro de mais ou menos meio grau do curso do eixo de manivelas, da posição especificada nas instruções do fabricante, repete-se o procedimento de ajuste.

Ajuste da palheta de contato do distribuidor no sistema de alta tensão

As palhetas do distribuidor são partes básicas para os magnetos esquerdo e direito, na maioria dos modelos de motores.

Quando os distribuidores são separados, um ajuste fino é conseguido através da regulagem apropriada de palhetas.

As palhetas, em alguns motores, são ajustadas pela mudança do flange acionador do distribuidor e pela seleção apropriada do furo de fixação. Em qualquer motor que incorpore distribuidores separados, a palheta deve estar alinhada com o eletrodo para o cilindro n° 1, quando o eixo de manivelas estiver no número determinado de graus de avanço do ponto morto alto para o magneto centelhar.

Nos motores, o ajuste apropriado da palheta é obtido, primeiramente, estabelecendo a correta posição do ponto morto alto. Então, o eixo de manivelas é colocado no número pré-determinado de graus de avanço desta mesma posição. Finalmente, a palheta é ajustada para se alinhar com o eletrodo n° 1, quando todas as folgas forem eliminadas entre as engrenagens acionadoras.

Uma vez que há vários tipos diferentes de distribuidores com sistema de alta tensão, as instruções aplicáveis do fabricante devem sempre ser consultadas, antes de ajustar o distribuidor para o motor. Um resumo dos procedimentos usados no ajuste de um determinado tipo de distribuidor está incluido como exemplo.

Para se ajustar o distribuidor ao motor, solta-se o alojamento, removendo-se alguns cabos das velas presos ao distribuidor. O alojamento é solto pela remoção do anel fixador da base, então, o alojamento é empurrado, expondo a palheta no distribuidor.

O passo seguinte no procedimento de ajuste do distribuidor é remover a palheta para expor a porca que fixa o acoplamento acionador. Solta-se a porca e instala-se a ferramenta de ajuste apropriada. Gira-se a unidade de acoplamento contra a linha normal com a linha traçada na superfície divisória. A porca de acoplamento é presa nesta posição após todas as folgas terem sido eliminadas das engrenagens acionadoras do distribuidor. A ferramenta de ajuste pode, agora, ser removida e a palheta instalada.

Agora, o conjunto de alojamento do distribuidor pode ser colocado na posição da base. Prende-se todos os anéis de fixação no distribuidor, instalando os cabos de vela que foram removidos.

O distribuidor deve ser protegido como necessário.

Procedimento de ajuste do sistema de magneto de baixa tensão

No ajuste do magneto para o motor, um número de diferentes indicadores pode ser usado para localizar à posição do ponto morto alto do pistão. No exemplo, a luz indicadora (figura 4-46) será usada com um disco fixado ao flange do arranque na caixa de acessórios.

Para se usar a luz indicadora a fim de encontrar o ponto morto alto, gira-se a hélice na direção normal de rotação até que o êmbolo de compressão seja visto e, então, a luz indicadora é instalada no orifício da vela.

Gira-se a hélice na direção normal de rotação até que a luz acenda, o que indica que o pistão moveu a haste do indicador. No momento em que a luz acender, pare e anote a leitura do grau do disco de ajuste.

A hélice é movida na direção normal de rotação até que a luz se apague. Neste momento, anote a leitura dos graus que aparecem no disco de ajuste.

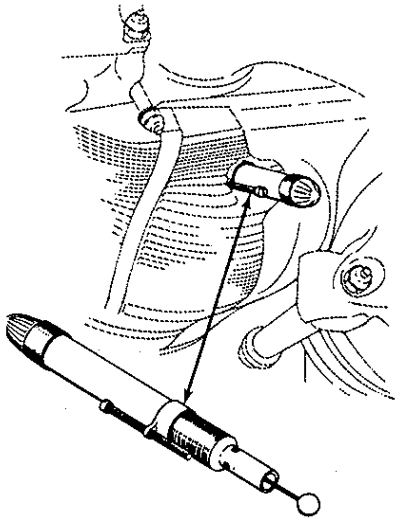


Figura 4-46 Lâmpada indicadora do ponto morto alto.

Anote o número de graus do percurso, entre o acender e apagar da luz. A metade do curso entre luz acesa e luz apagada indica o ponto morto alto.

Antes da instalação de qualquer parte do sistema de ignição, a unidade que está sendo instalada já deve ter sido verificada e inspecionada, quanto a correta operação. Examina-se todos os parafusos externos quanto ao torque correto, observando se os frenos foram confeccionados nos devidos lugares. Usa-se uma nova junta no flange de montagem.

Após se localizar o ponto morto alto, retorna-se a hélice aproximadamente 3/4 de volta em direção oposta a de rotação. Então, gira-se a hélice até que o pistão esteja na posição normal de faiscamento.

O eixo acionador do magneto deve estar apertado, e o contrapino instalado. Remova a presilha de mola do êmbolo de ajuste, a qual o mantém na posição "para fora". Existem quatro entalhes no eixo do magneto; o êmbolo se encaixa nesses entalhes durante a operação de ajuste, para manter o eixo do magneto na correta posição de folga "E". Empurre o êmbolo (girando o eixo de acionamento do magneto) até ficar encaixado em um desses entalhes; então, posicione o magneto no flange de montagem do motor (figura 4-47), mantendo o êmbolo na posição, sem que ele deslize.

Se a chaveta no membro acionador não encaixar quando o magneto estiver devidamente posicionado no flange de montagem, move-se o magneto para fora do flange, girando o seu eixo em 90°, para que as partes inferiores do êmbolo se encaixem na próxima fenda no eixo de magneto.

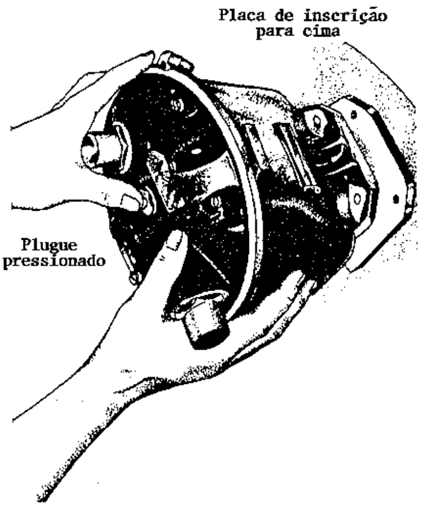


Figura 4-47 Instalação de um magneto.

O magneto é colocado de volta no flange de montagem, as chavetas e as fendas encaixadas. Se não, repete-se este procedimento até que as chavetas se encaixem, e o magneto esteja posicionado no flange de fixação. Após a correta posição ter sido encontrada, mantém-se o magneto nela, apertando as porcas do prisioneiro para fixá-lo ao flange do motor.

Para determinar que o magneto esteja montado na posição de folga "E", gira-se a hélice lentamente, quando estiver próximo da posição normal de faiscamento para o cilindro n° 1, o êmbolo é comprimido, devendo encaixar no entalhe, assim que a posição for alcançada.

Instalação do distribuidor do sistema de baixa tensão

O distribuidor em um sistema de baixa tensão, como aquele discutido anteriormente, é instalado como unidade separada. Ele é uma montagem em flange, com fendas alongadas usadas para ajuste.

Antes da instalação do distribuidor, verifica-se a designação da haste "master" na placa de identificação do distribuidor em relação à placa dos dados do motor para ver se o distribuidor possui o platinado correto, correspondendo com a localização da haste “master” no motor.

Deixa-se o pistão no número especificado de graus antes do ponto morto alto usado para ajuste do magneto. Para impedir que partículas estranhas entrem na unidade, a tampa protetora não é removida até o momento exato da instalação do distribuidor. Nesta hora, remove-se o anel de fixação e, também, a tampa de proteção do distribuidor.

O eixo de acionamento é girado até que a linha marcada com "1" na palheta esteja alinhada com a linha marcada "time-open" no prato coletor, como mostrado na figura 4-48.

Mantém-se o distribuidor na posição, instalando-o no flange de montagem, a fim de que os prisioneiros fiquem alinhados no centro das fendas alongadas desse flange, como mostrado na figura 4-48.

Se os prisioneiros não estiverem alinhados na parte intermediária nas fendas do flange, remove-se o distribuidor e desloca-se a engrenagem acionadora um dente na chaveta. Então, reinstala-se o magneto para que a palheta seja mantida alinhada com a posição "1". Quando a posição correta for encontrada na engrenagem acionadora, tira-se o distribuidor do flange de montagem, aperta-se a porca, e instala-se um novo contrapino na porca-castelo.

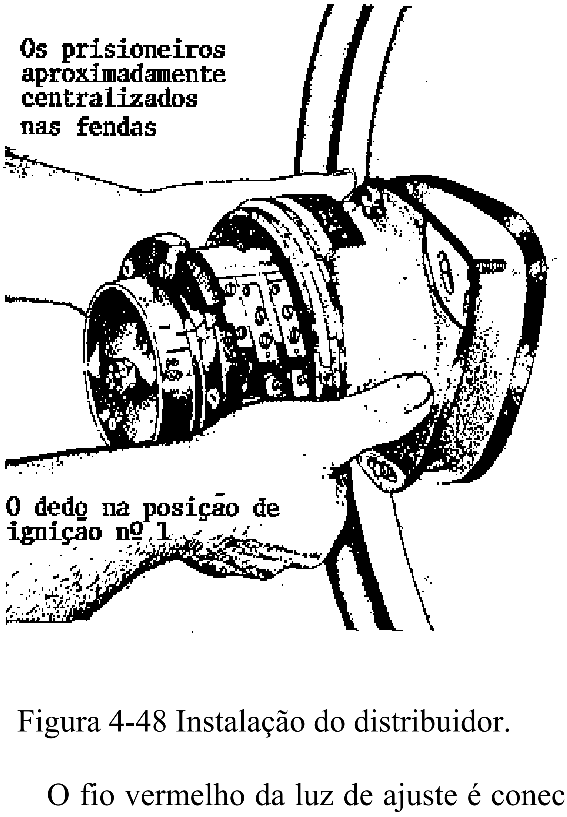

Os prisioneiros aproximadamente centralizados nas fendas
O dedo na posição de ignição nº 1

Figura 4-48 Instalação do distribuidor.

O fio vermelho da luz de ajuste é conectado no lado isolado do platinado principal "N° 1", e o fio preto no alojamento (figura 4-49). Gira-se o distribuidor no sentido horário no seu flange de montagem até que a luz acenda, indicando que os contatos estão começando a abrir. Aperta-se a porca de fixação com o distribuidor nesta posição; instala-se o outro distribuidor do motor, usando o mesmo procedimento.

Após estarem ambos os distribuidores instalados, sua operação deve ser sincronizada.

O fio vermelho da luz de ajuste é conectado em cada platinado principal e o fio preto na massa. Retorna-se a hélice pelo menos um quarto de volta, e depois gire-a lentamente na direção normal de rotação até a posição de faiscamento n° 1, – para ver se ambos os platinados principais abrem ao mesmo tempo. Se ambas as luzes de ajuste acenderem simultaneamente, significa que os distribuidores estão sincronizados. Se elas não acenderem ao mesmo tempo, os distribuidores devem ser resincronizados.

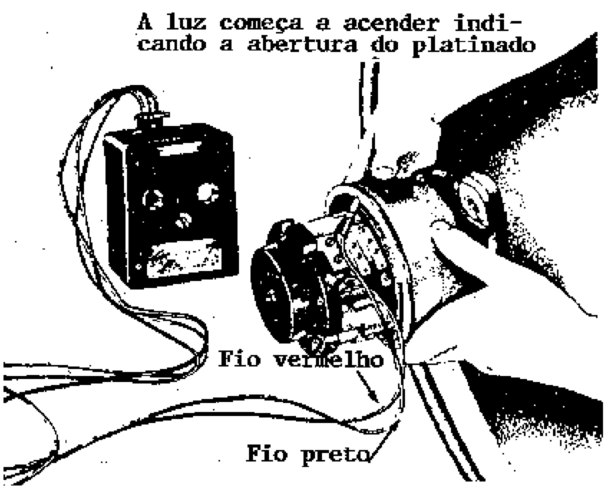


Figura 4-49 Ajustando o distribuidor de baixa tensão do motor.

Para isto, basta girar o segundo distribuidor lentamente no flange de montagem até que ambos os pares de contatos (um em cada distribuidor) abram no mesmo instante (que deve ser também no mesmo instante em que o cilindro n° 1 atinge o ponto de faiscamento).

As cabeças do distribuidor são substituída e os anéis de fixação presos. O sistema de ignição está agora pronto para um teste operacional.

Efetuando um teste no sistema de ignição

Existem, normalmente, três testes de ignição efetuados na aeronave durante a verificação operacional do motor.

O primeiro é efetuado durante o aquecimento, o segundo, pela pressão barométrica do campo e o terceiro, antes do corte do motor.

O primeiro teste de ignição é feito durante o aquecimento por recomendação do fabricante. Realmente, ele é uma combinação do teste do sistema e do interruptor de ignição, e é usado para verificar o sistema quanto ao correto funcionamento antes que outros testes sejam realizados.

O segundo teste é efetuado como no teste do sistema de ignição, e é usado para verificar individualmente os magnetos, as cablagens e as velas.O terceiro é efetuado como o teste do interruptor de ignição, e é usado para testar o interruptor quanto ao devido aterramento para a segurança no solo.

O teste do sistema de ignição é normalmente efetuado com o teste de potência, e é, algumas vezes, referido como barométrico do campo, porque nos motores de grande porte ele é efetuado a uma pressão no distribuidor igual à pressão barométrica do campo. O teste de potência é também efetuado nessa mesma pressão (o de ignição não deverá ser confundido com o teste de alta potência). A exata R.P.M. e a pressão no distribuidor, para fazer esse teste, pode ser encontrada nas instruções do fabricante.

A pressão barométrica usada como referência será a leitura obtida do manômetro da tubulação para o motor envolvido, antes da partida e após o corte.

Após atingida a R.P.M. do motor especificado para o teste do sistema de ignição, aguarda-se a estabilização da mesma.

Coloca-se o interruptor da ignição na posição "right", notando se a R.P.M. cai no tacômetro. O interruptor é retornado para a posição "both"; permanecendo nela por alguns segundos até que a R.P.M. se estabilize novamente.

Coloca-se o interruptor para a posição "left" e, novamente, nota-se se a R.P.M. cai. Em seguida retorna-se o interruptor de ignição para "both".

Efetuando este teste, basta bater levemente na borda do tacômetro, para garantir que o ponteiro indicador se mova livremente. Um ponteiro paralisado pode ocultar mau funcionamento da ignição.

Existe uma tendência desse teste ser efetuado rapidamente, o que resulta em erros de indicações.

A operação de ignição simples por mais de um minuto não é considerada excessiva, mas esse intervalo de tempo, geralmente, não deve ser excedido.

A quantidade total da queda de R.P.M., que ocorre, imediatamente, é anotada e, também, a quantidade que ocorre lentamente para cada seleção do interruptor.

A análise na queda de R.P.M. fornece informações úteis. Esse teste do sistema de ignição é normalmente efetuado no início da virada do motor, porque se a queda da R.P.M. não estiver dentro dos limites, ele pode afetar todos os outros testes posteriores.

Verificação da chave seletora de ignição

A verificação da chave seletora de ignição é normalmente realizada em 700 R.P.M.

Nos motores em que a marcha lenta está acima deste valor, a mínima R.P.M. possível é selecionada.

Quando a velocidade para efetuar esse teste é obtida, momentaneamente gira-se a chave de ignição para a posição "off".

A ignição do motor deve ser perdida completamente.

Após uma queda entre 200 a 300 R.P.M. ser observada, retorna-se a chave para a posição "both" o mais rápido possível.

Isso é feito rapidamente, para eliminar a possibilidade de pós-explosão, e um retorno de chama quando a chave for retornada para a posição"both".

Se a chave não for retornada rapidamente, a rotação do motor cairá a ponto dele parar. Nesse caso, a chave seletora fica na posição "off", e o controle de mistura é colocado na posição "idle-cut-off", para evitar sobrecarga nos cilindros, e a emissão de combustível não queimado pela descarga do motor.

Quando o motor estiver completamente parado, deve ficar desligado por um curto período antes de ser acionado novamente.

O teste da chave seletora é efetuado para observar se todos os cabos massa do magneto se encontram eletricamente aterrados.

Se o motor não cessar a explosão com a chave na posição "off", indica que o cabo massa do magneto, mais comumente referido como cabo "P", está aberto, e o problema deve ser corrigido.

Substituição dos cabos de ignição

Quando um cabo defeituoso é descoberto pelo teste na cablagem de ignição, é preciso saber se são apenas os cabos, ou o bloco distribuidor que está com o defeito. Se o problema se encontra em apenas um cabo, a fuga elétrica pode estar no cotovelo da vela ou em outra parte.

Remove-se o cotovelo, puxando uma parte do cabo para fora do conduíte, e repete-se o teste de cablagem no cabo. Se parar de ocorrer a fuga, corta-se o pedaço defeituoso, instalando o cotovelo, o selo integral, e o "cigarette" (figura 4-50).

Se o cabo estiver muito curto, dificultando o reparo descrito ou se a fuga elétrica for internamente na cablagem, substitui-se o cabo defeituoso.

Se a cablagem não for do tipo reparável, a mesma deve ser substituída integralmente.

Os procedimentos para substituir os cabos de ignição são os seguintes:

1) Desmontar o magneto ou o distribuidor de maneira que o bloco distribuidor fique acessível.

2) Soltar o parafuso correspondente ao fio a ser substituído no bloco distribuidor e removê-lo.

3) Desencapar as extremidades do fio defeituoso que vem do bloco distribuidor e do fio substituto, aproximadamente 1 polegada. Unir e soldar as extremidades.

4) Remover o cotovelo do terminal do cabo ignitor defeituoso, puxar o cabo velho e empurrar o novo na cablagem. Enquanto se puxa os cabos através da cablagem, é importante empurrar o cabo substituto por dentro do conduíte, pela extremidade junto ao terminal distribuidor, para reduzir a força requerida a retirar o cabo completamente.

5) Quando o cabo substituto estiver completamente introduzido no conduíte, o cabo de ignição é forçado para dentro do conduíte, de maneira a proporcionar um comprimento extra para futuros reparos, que poderão ser necessários devido ao roçamento com o cotovelo.

6) Desencapar aproximadamente 3/8 de polegada do terminal do bloco distribuidor.

   Dobrar os terminais do fio para trás, e preparar os terminais do cabo para instalação no bloco distribuidor, como mostrado na figura 4-50. Introduzir o cabo no distribuidor, e apertar os parafusos.

7) Desencapar aproximadamente 1/4" do cabo na extremidade junto à vela, e instalar o cotovelo, o selo integral e o "cigarette", como ilustrado na figura 4-50.

8) Instalar um marcador no terminal do cabo no distribuidor, para identificar o número do cilindro.

Se um novo marcador não estiver disponível, usar o marcador removido do cabo usado.

Substituição da cablagem

Substitui-se uma cablagem reparável de ignição completa somente quando a blindagem do conduíte estiver danificada, ou quando o número de cabos danificados tornar mais prático a substituição da cablagem do que a dos fios individualmente

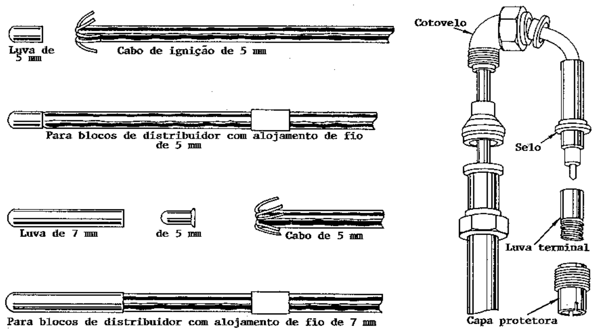

Luva de 5 mm
Cabo de ignição de 5 mm
Cotovelo
Para blocos de distribuidor com alojamento de fio de 5 mm
Selo
Luva de 7 mm
de 5 mm
Cabo de 5 mm
Luva terminal
Para blocos de distribuidor com alojamento de fio de 7 mm
Capa protetora

Figura 4-50 Procedimentos para substituição dos terminais do cabo de ignição.

Substitui-se uma cablagem blindada somente quando ocorre indicação de fuga na porção blindada. Antes de se substituir qualquer cablagem para corrigir um mau funcionamento no motor, efetua-se um teste completo. Os procedimentos típicos para se instalar uma cablagem de ignição são:

1) Instalar a cablagem no motor. Apertar e frenar as porcas e os parafusos, instalando e apertando os suportes individuais dos cabos, de acordo com as instruções. A cabla-

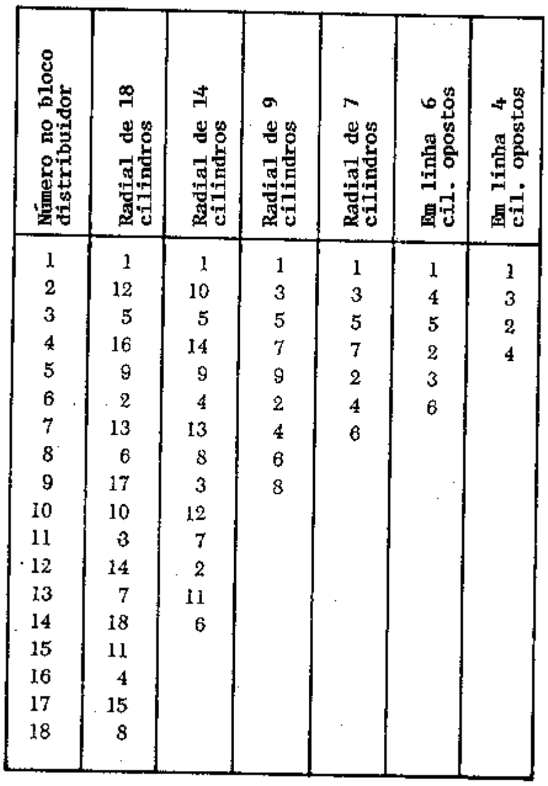
gem está, então, pronta para a conexão do cabo individual com o bloco distribuidor. Um colar é preso em cada cabo no terminal junto ao distribuidor para identificação do cilindro. Contudo, cada cabo deve ser verificado individualmente quanto a continuidade, ou através da luz de ajuste antes de conectá-lo.

2) Verificar quanto a continuidade, aterrando o cabo ao cilindro e testando o terminal junto ao bloco distribuidor, para confirmar que o aterramento está de acordo com o colar de identificação.

3) Após verificar todos os cabos quanto a correta identificação, cortá-los com o comprimento apropriado para a instalação no bloco distribuidor. Entretanto, antes de cortar os cabos, introduzi-los, o quanto possível, no conduíte, proporcionando uma extensão extra de cabo. Esta reserva poderá ser útil mais tarde, no caso do roçamento do cabo com o cotovelo tornar necessário o seccionamento da extremidade para reparos. Após cortar cada cabo no comprimento adequado, desencapá-lo apro-ximadamente 3/8”, e prepará-lo para a inserção no bloco distribuidor. Antes de instalar o cabo, retirar o parafuso do bloco para permitir a introdução do cabo no furo sem forçar. Após introduzido, apertar o parafuso. Conectar os cabos na ordem de fogo, isto é, o primeiro cilindro explode na posição n° 1 no bloco, o segundo na ordem de fogo para a posição n° 2, etc. As conexões do bloco distribuidor com o cilindro para vários motores são mostradas na tabela da figura 4-51.

Após conectar cada cabo, verifica-se a continuidade entre o mesmo e o eletrodo do bloco distribuidor, com uma luz de continuidade ou uma luz de regulagem. Para efetuar este teste, aterra-se o cabo de ignição (para o motor) no terminal da vela, assim como um dos cabos de teste e encosta-se o outro no eletrodo do bloco distribuidor correspondente.

Se a luz não indicar que o circuito está completo, é sinal de que o parafuso não está fazendo contato com o cabo de ignição, ou o mesmo está conectado em local incorreto no bloco. Qualquer falha de conexão deve ser corrigida antes de se instalar o bloco distribuidor.



Número no bloco distribuidor	Radial de 18 cilindros	Radial de 14 cilindros	Radial de 9 cilindros	Radial de 7 cilindros	Em linha 6 cil. opostos	Em linha 4 cil. opostos
1	1	1	1	1	1	1
2	12	10	3	3	4	3
3	5	5	5	5	5	2
4	16	14	7	7	2	4
5	9	9	9	2	3	
6	2	4	2	4	6	
7	13	13	4	6		
8	6	8	6			
9	17	3	8			
10	10	12				
11	3	7				
12	14	2				
13	7	11				
14	18	6				
15	11					
16	4					
17	15					
18	8					

Figura 4-51 Tabela para cabos conectores do bloco distribuidor de vários motores.

Teste do sistema de bobina de alta tensão de ignição

Para se verificar o enrolamento da bobina de alta tensão quanto a correta operação, remove-se o cabo de alta tensão do mesmo.

Uma das extremidades do cabo de teste da ignição de 7mm de comprimento é instalada no enrolamento da bobina de alta tensão, mantendo o outro terminal com 3/8" com uma massa apropriada.

Um ajudante deve verificar se o controle manual de mistura está na posição "idle-cut-off", se a válvula de corte e a bomba de combustível daquele motor estão desligados, e se o interruptor da bateria está ligado.

Se o motor estiver equipado com um arranque combinado, ou de inércia, o ajudante deve fechar o interruptor de malha ou de engate. Não se deve energizar o arranque antes de engatá-lo. Se o motor estiver equipado com um arranque de acionamento direto, a hélice deverá estar livre e o interruptor de partida fechado.

Quando o interruptor de engate, malha ou partida (dependendo do sistema de partida do motor) estiver fechado, deve ocorrer o centelhamento contínuo através do terminal do cabo de teste.

Estas centelhas devem ser abundantes, além de saltarem rapidamente com um luminoso arco azul para serem consideradas satisfatórias. Se a bobina de alta tensão estiver operando satisfatoriamente, é preciso avisar o ajudante que ele deve soltar o interruptor de partida. Então, remove-se o cabo de teste e reinstala-se o cabo de alta tensão da bobina.

Para se testar o vibrador de indução, o controle manual de mistura deve estar em "idle-cut-off", a válvula de corte de combustível fechada, a bomba de combustível desligada, e o interruptor da bateria ligado.

Uma vez que o vibrador de indução emite um característico "buzz" se o interruptor de ignição for ligado ou desligado, deixa-se o interruptor desligado durante o teste.

Se o motor estiver equipado com um arranque combinado ou de inércia, o teste é realizado pelo fechamento do interruptor de malha ou de engate. Se o motor está equipado com um arranque de acionamento direto, verifique se a hélice está livre, e acione o interruptor de partida, fechado.

Um ajudante, situado próximo ao vibrador, deve ouvir o som característico produzido. Se isso ocorrer quando o arranque for engatado ou acionado, indica que o vibrador está operando corretamente.

MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DA VELA

A operação da vela pode freqüentemente ser a maior responsável por um mau funcionamento do motor, devido ao acúmulo de chumbo, grafite, ou carbono, e à erosão do vão entre os eletrodos da vela.

Muitas dessas falhas, que geralmente acompanham uma operação normal da vela, podem ser minimizadas através de boas práticas de manutenção e operação.

Carbonização das velas

A carbonização (figura 4-52) proveniente do combustível é associada com misturas que são muito ricas para queimar ou misturas que são pobres e causam uma queima intermitente.

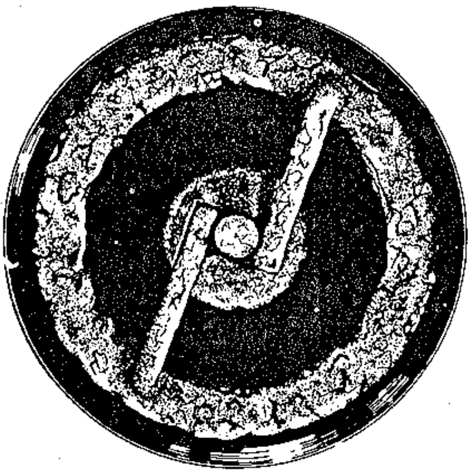


Figura 4-52 Vela carbonizada.

Cada vez que uma vela não centelha, o combustível não queimado e o óleo se acumulam nos eletrodos e na borda dessa vela. Essas dificuldades estão quase invariavelmente associadas com o ajuste incorreto da marcha lenta, um vazamento da injeção (primer), ou um mau funcionamento do carburador, – que provoca o enriquecimento da mistura no tempo de marcha lenta.

Uma mistura combustível/ar muito rica é detectada pelo aparecimento de fuligem ou fumaça preta na descarga, e pelo aumento de R.P.M. quando a mistura combustível/ar é empobrecida para "best power".

A fuligem que se forma é o resultado do excessivo enriquecimento da mistura em marcha lenta que se acumula dentro da câmara de combustão devido ao baixo calor do motor e a baixa turbulência da câmara.

Em altas velocidades e regimes de potência do motor, a fuligem é facilmente eliminada, e não se condensa na câmara de combustão.

Mesmo que a mistura em marcha lenta esteja correta, existe a tendência do óleo ser puxado para dentro do cilindro pelos anéis do pistão, guias de válvula e anéis retentores de óleo do eixo acionador. Em baixas rotações, o óleo se combina com a fuligem no cilindro para formar um sólido, que é capaz de curto circuitar os eletrodos da vela.

As velas, quando molhadas ou cobertas com óleo lubrificante, geralmente estão eletricamente isoladas na partida do motor.

Em alguns casos essas velas podem se tornar limpas e operarem adequadamente após um curto período de operação do motor.

O óleo de motor que foi utilizado durante qualquer duração de tempo manterá em suspensão pequenas partículas de carbono, as quais são capazes de conduzir corrente elétrica. Deste modo, não ocorrerá o arco no vão desta vela entre os eletrodos quando a mesma estiver encharcada.

Em vez disso, o impulso de alta tensão fluirá através do óleo de um eletrodo para o outro sem centelhar, como se fosse colocado um fio condutor entre os dois eletrodos. A combustão no cilindro afetado não ocorrerá, até que a r.p.m. se torne elevada, aumentando o fluxo de ar que expelirá o excesso de óleo.

Então, durante a partida intermitente, a combustão auxilia na emissão do óleo remanescente.

Em poucos segundos o motor está operando livre, com emissão de fumaça branca da evaporação e da queima de óleo pela descarga.

Depósito de chumbo nas velas

O depósito de chumbo nas velas de aviação é uma condição provável em qualquer motor que use combustível com chumbo.

O chumbo é adicionado ao combustível de aviação para melhorar suas qualidades antidetonantes. Contudo, ele tem o efeito indesejável de formação de óxido durante a combustão. Esse óxido de chumbo forma um sólido com vários graus de dureza e consistência.

Depósitos de chumbo nas superfícies da câmara de combustão são bons condutores elétricos em elevadas temperaturas e causam falhas na detonação. Em baixas temperaturas os mesmos depósitos podem se tornar bons isoladores.

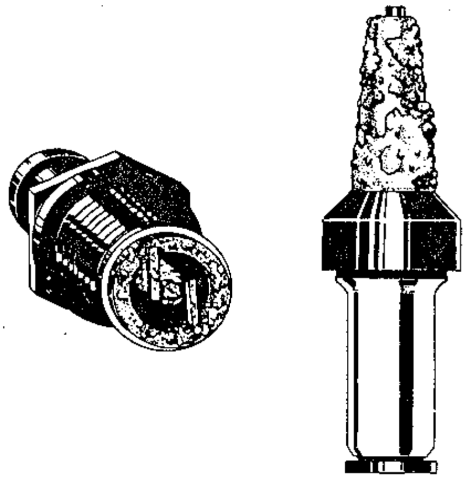


Figura 4-53 Velas com depósito de chumbo.

Em qualquer dos casos, formações de chumbo nas velas das aeronaves,impedem sua operação normal, como mostrado na figura 4-53. Para minimizar a formação de depósitos de chumbo, dibromido de etileno é adicionado ao combustível como agente limpante (que combina com o chumbo durante a combustão).

Incrustações de chumbo podem ocorrer em qualquer regime de potência, mas provavelmente o mais propício para a formação de chumbo é o de cruzeiro com mistura pobre. Nesse regime, a temperatura na cabeça do cilindro é relativamente baixa, e há um excesso de oxigênio em relação ao necessário para consumir todo combustível da mistura ar/combustível.

O oxigênio, quando aquecido, é muito ativo e agressivo; e quando todo o combustível é consumido, parte do excesso de oxigênio combina com parte de chumbo e parte do agente limpante para formar oxigênio composto de chumbo ou bromo, ou de ambos. Alguns desses compostos de chumbo indesejáveis solidificam e formam camadas, que aderem nas paredes do cilindro e nas velas, que estão relativamente frias.

Apesar da carbonização ocorrer em qualquer regimes de potência, a experiência indica que a formação do chumbo é geralmente confinada a uma específica faixa de temperatura de combustão, e que as temperaturas, maiores ou menores que aquelas da faixa especificada, minimizam a tendência de formação de chumbo.

Se a incrustação for detectada antes das velas estarem completamente obstruídas,o chumbo pode normalmente ser eliminado ou reduzido por um aumento ou decréscimo brusco na temperatura de combustão. Isto impõe um choque térmico nas partes do cilindro, causando sua expansão ou contração.

Havendo um grau diferente de expansão entre depósitos e partes de metal onde eles se formam, os depósitos descascam ou soltam, e então são liberados da câmara de combustão pela exaustão, ou são queimados no processo de combustão.

Diversos métodos de produção de choque térmico para partes do cilindro são usados. O método usado, naturalmente, depende do equipamento e acessório instalado no motor.

Um aumento brusco na temperatura de combustão pode ser obtido em todos os motores, operando-os em potência máxima por aproximadamente 1 minuto.

Quando usado esse método para eliminação, o controle de hélice deve ser colocado em passo mínimo (alta r.p.m.) e a manete avançada vagarosamente para obter a rotação de decolagem e pressão de admissão. Um vagaroso movimento da manete de controle evita retorno de chama nos cilindros afetados durante a aplicação de potência.

Outra forma de produção de choque térmico é o uso de misturas ar/combustível excessivamente ricas. Essa forma refrigera repentinamente a câmara de combustão por causa do combustível em excesso que não contribui para a combustão; ao contrário, ele absorve calor da área de combustão.

Alguns carburadores usam controle de mistura manual de 2 posições, que dosa uma mistura pobre em cruzeiro econômico e uma mais rica para todas as potências acima de cruzeiro.

Nenhum controle manual nesse tipo de configuração é capaz de produzir uma mistura excessivamente rica. Mesmo quando o motor é operado em mistura rica automática as potências onde um regime de mistura mais pobre poderia ser completamente satisfatório, ela não é rica o suficiente.

Conseqüentemente, para obter uma mistura mais rica que o carburador é capaz de dosar, um sistema de injeção é usado para suplementar o fluxo de combustível normal. Enriquecimento da mistura e choque térmico podem ser alcançados pelo sistema de injeção em todas as velocidades do motor, mas esta eficiência na remoção de chumbo diminui à medida que o combustível dosado, através dos canais normais, aumenta. A razão para isto é que toda injeção elétrica envia um fluxo constante a todas as velocidades e potências dos motores em um mesmo período de tempo.

Portanto, comparativamente, a injeção enriquecerá as misturas pobres às baixas velocidades, mais que ela enriqueceria para altas velocidades.

Independente da potência em que a injeção ocorra, ela deverá ser usada continuamente com 2 minutos de intervalo. Se a operação normal do motor não for restabelecida após um intervalo de 2 minutos, deve ser necessário repetir o processo diversas vezes.

Alguns sistemas de injeção injetam somente nos cilindros acima da linha central horizontal do motor; no caso, somente aqueles cilindros que recebem a carga de injeção podem ser limpos.

Em motores equipados com injeção de água, a temperatura pode ser bruscamente diminuída pela operação manual desse sistema.

A injeção de água é normalmente reservada para operações de altas potências; mas quando ela é usada somente para limpeza, o sistema é mais eficaz quando ativado no limite de cruzeiro, sendo ele acompanhado por uma momentânea perda de potência.

Essa perda pode ser traçada pelos seguintes fatores: primeiramente, o jato de empobrecimento não é medido no regime de cruzeiro. Por essa razão, quando a válvula de empobrecimento é fechada pelo sistema de injeção de água, não existe decréscimo no fluxo de combustível do carburador.

O segundo fator é que, quando o regulador de água primeiro começa a dosar, ele dosa o combustível que retornou para dentro da linha de transferência de água durante a operação normal seca. Esse combustível, acrescido de um outro fluxo de combustível proveniente do carburador, produz uma mistura extremamente rica, que, temporariamente, encharca o motor.

Tão logo esse combustível seja consumido pelo motor, a potência se normaliza, mas para um valor menor do que foi obtido antes da injeção de água. Quando a injeção é usada para baixas temperaturas de combustão, ela é limitada a um curto intervalo (aproximadamente 1 minuto), mesmo se diversos intervalos forem necessários para livrarem os cilindros dos depósitos de chumbo.

Alguns sistemas de injeção de água são considerados automáticos; isto porque o operador não tem nenhum controle da potência na qual o sistema interromperá o processo. Esses sistemas iniciam injeção de água automaticamente a uma pressão pré-determinada, se a bomba de água tiver sido ligada.

Quando eles são usados para eliminação de chumbo, o benefício total da injeção de água não pode ser obtido por causa das altas potências selecionadas, onde o sistema automático começa a operar, mais calor é gerado pelo motor, a proporção ar/combustível é empobrecida e a temperatura de combustão não pode ser diminuída o suficiente.

Independentemente de como o chumbo é removido das partes do cilindro, se é através de operação de alta potência, pelo uso da injeção, ou pelo uso do sistema de injeção de água, a ação corretiva deve ser iniciada antes que as velas estejam completamente danificadas.

Formação de grafite nas velas

Como resultado do descuido e da excessiva aplicação de uma camada de lubrificante nas roscas das velas, o lubrificante fluirá sobre os eletrodos, causando um curto-circuito. Isso ocorre porque o grafite é um bom condutor elétrico. A eliminação das dificuldades causadas pelo grafite depende dos mecânicos de aviação.

Devemos tomar cuidado quando aplicarmos o lubrificante, assegurando que dedos sujos, farrapos ou fios não entrem em contato com os eletrodos ou parte do sistema de ignição, exceto na rosca das velas. Praticamente, nenhum sucesso tem sido experimentado na tentativa de queimar ou expelir a camada de lubrificante da rosca.

Folga por erosão das velas

A erosão dos eletrodos acontece em todas as velas de aeronaves quando a faísca salta entre os eletrodos (veja figura 4-54).

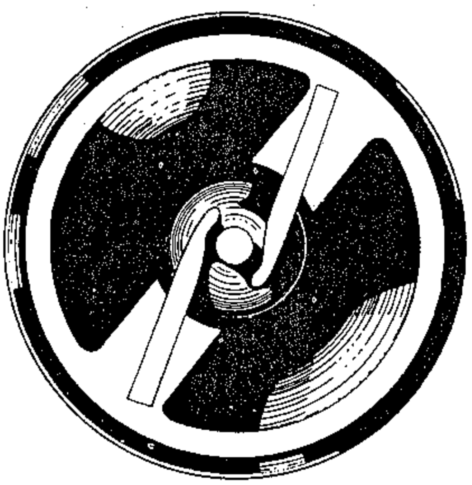


Figura 4-54 Folga da vela causada pela erosão.

A faísca carrega consigo uma porção do eletrodo, parte do qual é depositada no outro eletrodo, já o remanescente é soprado na câmara de combustão.

Como a folga é alargada pela erosão, a resistência que a faísca deve superar para saltá-la também aumenta. Isso significa que o magneto deve produzir uma voltagem mais elevada para superar aquela resistência.

Devido a grande voltagem no sistema de ignição existe uma grande tendência para descarga da vela em algum ponto de isolamento. Desde que a resistência de uma folga também aumente, quando a pressão nos cilindros do motor aumentar, um duplo perigo existe na decolagem, e durante uma aceleração súbita com alargamento das folgas das velas; a quebra de um isolamento provoca uma faísca prematura e sobras de carbono resultam em falha das velas.

Fabricantes das velas têm parcialmente sobrepujado o problema de folgas de erosão, usando um resistor selado hermeticamente no eletrodo central de algumas velas.

Essa resistência adicionada ao circuito de alta tensão reduz o pico de corrente no instante da ignição. O fluxo de corrente reduzida ajuda na prevenção da desintegração metálica nos eletrodos. Também, devido a razão de alta erosão do aço, ou algumas ligas conhecidas, os fabricantes de velas estão usando tungstênio ou uma liga de níquel para as tomadas dos eletrodos e galvanização de platina para fios finos de tomadas de eletrodo.

Remoção de velas

As velas devem ser removidas para inspeção ou serviço em intervalos recomendados pelo fabricante.

Uma vez que a razão de falhas de erosão varia com diferentes condições de operação, modelos de motores e tipo de velas, uma provável falha de velas, causando mau funcionamento do motor, pode ocorrer antes que o intervalo de serviço regular seja alcançado. Normalmente, nestes casos, somente as velas que falharam são substituídas.

Cuidadoso manuseio dos cabos usados e substituídos durante a instalação e remoção de velas em um motor não pode ser enfatizado, uma vez que velas podem ser facilmente danificadas.

Para prevenir danos, elas deverão sempre ser individualmente manuseadas e as novas e recondicionadas, deverão ser armazenados em caixas de papelão separadas.

Um método comum de armazenamento é ilustrado na figura 4-55.

Isto é, uma bandeja furada que previne as tomadas contra choques de umas com as outras, que danificam os frágeis isoladores e roscas.

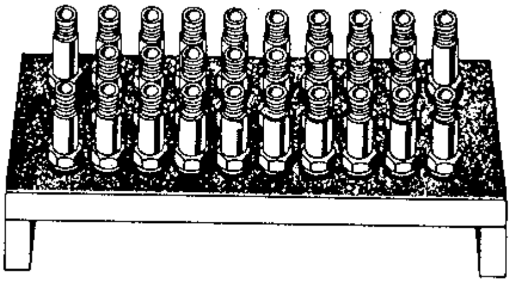


Figura 4-55 Tabuleiro de velas.

Se uma vela cair no chão ou em outra superfície, ela não deverá ser instalada no motor, uma vez que impactos usualmente causam pequenas e invisíveis rachaduras nos isoladores. As velas deverão ser testadas sob condições de pressão antes do uso.

Antes dela ser removida, a cablagem de ignição deve ser desconectada. Usando uma chave especial para o acoplamento tipo cotovelo, remove-se da vela a porca do mesmo. Toma-se cuidado ao puxar o fio dos cabos, alinhando-o com a linha de centro do corpo da tomada.

Se uma carga lateral é aplicada, como mostrado na figura 4-56, danos ao corpo isolador e ao terminal de cerâmica podem ocorrer. Se o cabo não puder ser removido facilmente desta maneira, o colar de neoprene deve ser colocado no corpo blindado. Quebra-se o colar de neoprene pela torção do mesmo, como se estivesse desenroscando uma porca de parafuso.

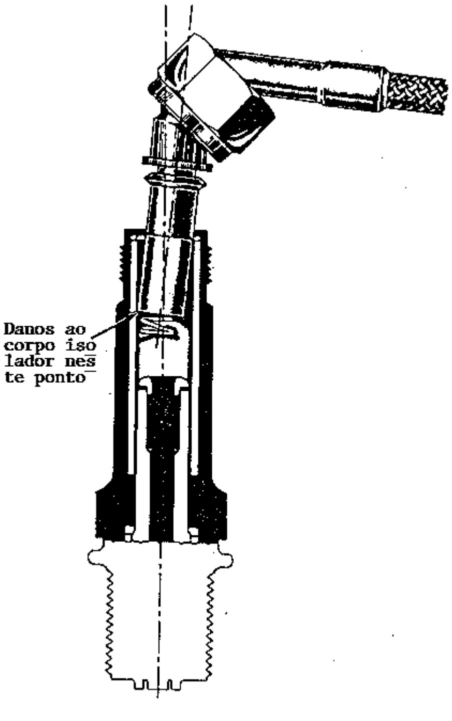


Figura 4-56 Técnica inadequada para remoção do cabo de vela.

Após o cabo ter sido desconectado, seleciona-se a ferramenta apropriada para remoção das velas. Aplica-se uma pressão com uma das mãos no cabo da ferramenta, mantendo a soquete em alinhamento com a outra mão. Falha nesse alinhamento da ferramenta, como mostrado na figura 4-57, causará um levantamento na ferramenta para um lado, e danificará a vela.

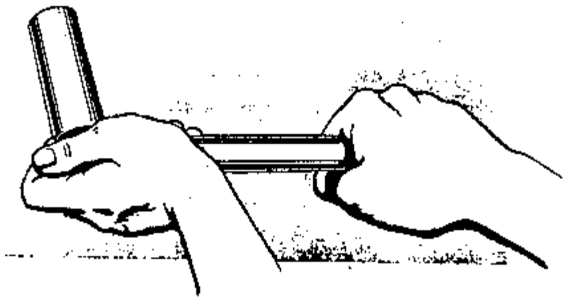


Figura 4-57 Técnica apropriada para remoção.

No curso de operação do motor, carbono e outros produtos de combustão serão depositados através dos ignitores e cilindros, e algum carbono pode penetrar nas extremidades inferiores da rosca. Como resultado, um alto torque é geralmente requerido para soltar a vela. Este fator impõe uma carga de divisão na seção do revestimento do plug, e, se a carga for grande o suficiente, a vela poderá se partir, fazendo com que a seção do revestimento fique com um orifício.

Inspeção e manutenção antes da instalação

Antes de instalar uma vela nova ou recondionadas no cilindro, limpe a rosca cuidadosamente.

Buchas de velas de latão ou aço inoxidável são usualmente limpas com uma escova. Antes de se inserir a bucha de limpeza no orifício do ignitor, as ranhuras da escova (canais entre as superfícies roscadas) são enchidas com graxa limpa para prevenir o carbono ou outro material removido pela escova caia dentro do cilindro.

Alinha-se a escova com as extremidades da bucha com um sinal qualquer, e inicia-se a escovação com a mão até que não haja possibilidade dela atravessar a bucha. Para iniciar a escovação em algumas instalações, onde os orifícios dos ignitores estão localizados mais profundamente do que se pode direcionar pelo aperto com a mão, deve-se usar uma extensão curta.

Quando se rosqueia a escova no embuchamento, as extremidades dessa devem encontrar o fundo rosqueado do embuchamento. Isto removerá depósitos de carbono proveniente das roscas das buchas sem remoção de metal, a menos que o passo das roscas tenha sido contraído.

Se durante o processo de limpeza das roscas, o embuchamento for encontrado solto no cilindro, ou ainda com elas cruzadas ou, por outro lado, seriamente danificadas, troca-se o cilindro.

Roscas de velas do tipo postiças (Heli-Coil) são limpas com escova de fio arredondado, preferencialmente tendo o diâmetro ligeiramente mais largo que o diâmetro do orifício do ignitor.

Uma escova mais larga que o orifício pode causar remoção de material proveniente da rosca helicoidal ou da cabeça do cilindro. Também, a mesma não deverá desintegrar-se com o uso, permitindo a queda dos fios das cerdas para dentro do cilindro.

Limpa-se a rosca postiça girando-se cuidadosamente o fio da escova com uma ferramenta adequada.

Ao usar a escova, nenhum material deve ser removido da superfície da junta da vela, pois, caso contrário, causará uma mudança no limite de aquecimento, vazamento de combustão, e eventual dano ao cilindro.

Nunca se limpa a rosca helicoidal com um macho, pois esse poderá causar danos permanentes.

Se uma rosca helicoidal de inserção estiver danificada como resultado de uma operação normal ou enquanto estiver sendo limpa, ela deve ser trocada de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante. Usando um pano e solvente para limpeza, na superfície da junta da vela do cilindro, elimina-se a possibilidade de sujeira ou graxa depositada acidentalmente nos eletrodos da vela durante a instalação.

Antes de instalar velas novas ou recondicionadas, elas devem ser inspecionadas para cada uma das seguintes condições:

1) Ter certeza de que a vela é do tipo certo, como indicado pelas instruções de aplicação do fabricante.

2) Verificar quanto a evidência de composto preventivo da ferrugem no exterior da vela, do isolante e no lado interno da carcaça. Acumulações de composto preventivo da ferrugem são removidos lavando-se a vela com uma escova e solvente para limpeza. Ela deve, então, ser seca com um sopro de ar seco.

3) Verificar ambas as extremidades da vela quanto a entalhes ou rachaduras, assim como alguma indicação de rachadura no isolante.

4) Inspecionar o lado interno da carcaça quanto a rachaduras no isolante e o contato central do eletrodo quanto à corrosão e materiais estranhos, os quais podem causar empobrecimento no contato elétrico.

5) Inspecionar a junta da vela. Uma junta que tenha sido excessivamente comprimida, vincada, ou distorcida, não deve ser usada. Quando a junta do termocouple for aplicada, não devem ser usadas juntas adicionais.

A folga dos eletrodos da vela deve ser checada com um calibre de folga redondo, como mostrado na figura 4-58. Um calibre tipo "chato" dará uma indicação incorreta de folga, porque os eletrodos massa acompanham o formato circular do eletrodo central. Quando se usa o calibre, ele é inserido em cada folga paralela à linha central do eletrodo. Se o mesmo estiver ligeiramente inclinado, a indicação estará incorreta. Não se instala uma vela que não tenha a folga especificada.

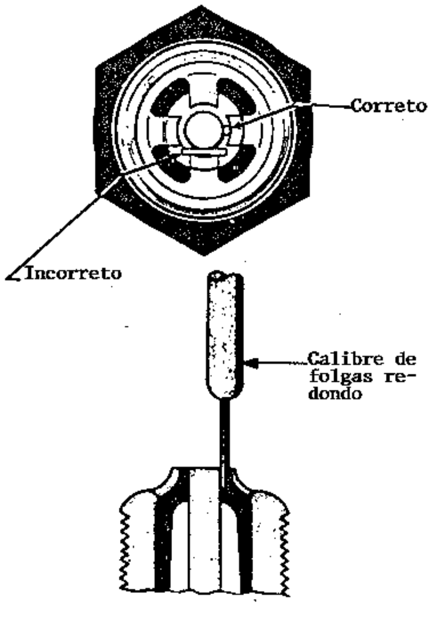


Figura 4-58 Uso de um calibre de folga.

Instalação da vela

Antes de se instalar a vela, as primeiras duas ou três roscas do final do eletrodo são cobertas cuidadosamente com um composto à base de grafite. Antes da aplicação, agita-se o composto para assegurar perfeita mistura.

Quando se aplica o composto nas roscas, ele não deve se alojar entre os eletrodos externos e o central, ou na ponta da vela, onde ele possa escorrer para a massa ou eletrodo central durante a instalação. Esta precaução é necessária porque o grafite no composto é um excelente condutor elétrico, e poderia causar uma fuga de corrente.

Para se instalar uma vela, basta enroscá-la sem usar nenhum tipo de ferramenta até que ela assente na junta.

Se a vela puder ser enroscada com facilidade, usando os dedos, isto é uma boa indicação de roscas limpas. Nesse caso, somente será necessário um pequeno aperto para comprimir a junta, que irá formar um selo vedante. Se, por outro lado, um alto torque for necessário para sua instalação, isso indica que pode haver sujeira ou dano na rosca. O uso de torque excessivo pode comprimir a junta, e distorcê-la.

A dilatação da carcaça da vela ocorrerá enquanto continuar um torque excessivo para rosquear sua extremidade inferior no cilindro, após a parte superior ter sido parada pela junta.

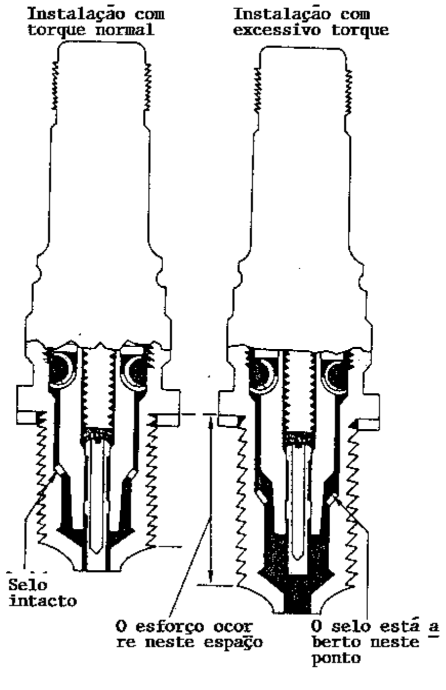

Instalação com torque normal
Instalação com excessivo torque
Selo intacto
O esforço ocor re neste espaço
O selo está a berto neste ponto

Figura 4-59 Efeitos de um torque excessivo na instalação de uma vela.

Instalação do cabo de vela

Antes da instalação do cabo de vela, esfrega-se a bucha terminal (algumas vezes chamada de cigarrete) e o selo integral com um pano embebido com acetona, MEK, ou um solvente apropriado. Após a limpeza do cabo de vela, o mesmo deve ser inspecionado quanto a rachaduras e riscos. Se a bucha terminal estiver danificada ou fortemente manchada, deve ser substituída.

A aplicação de uma camada leve de um material isolante na superfície externa da bucha terminal, e o preenchimento do espaço ocupado pela mola de contato, são muitas vezes recomendados. Esses materiais isolantes, através da ocupação do espaço na área de contato elétrico da carcaça, evitam que a umidade entre na área de contato causando um curto-circuito na vela. Alguns fabricantes recomendam o uso desses compostos isolantes somente quando a umidade no sistema venha a causar problema, enquanto outros desaconselham totalmente o uso desses materiais.

Após a inspeção do cabo de ignição, ele é colocado dentro da carcaça do plugue. Então, aperta-se a porca de acoplamento do ignitor com a ferramenta apropriada.

Muitas instruções de fabricantes especificam o uso de uma ferramenta projetada para evitar o torque excessivo. Após a porca estar apertada, deve ser evitado um teste de aperto, torcendo o conjunto.

Após todas as velas terem sido instaladas e torqueadas e os cabos instalados corretamente, aciona-se o motor para efetuar uma verificação completa do sistema de ignição.

Inspeção do platinado

A inspeção do magneto consiste essencialmente em uma inspeção periódica do platinado e dielétrico.

Após o magneto ter sido inspecionado quanto à segurança de montagem, remove-se sua tampa, ou a tampa do platinado, e verifica-se o came quanto à lubrificação apropriada.

Sob condições normais, existe uma quantidade suficiente de óleo no feltro de encosto do came acionador para mantê-lo lubrificado entre os períodos de revisão.

Entretanto, durante inspeção de rotina, o feltro de encosto no came acionador deve ser examinado para assegurar que o óleo contido seja suficiente para lubrificação.

Esse teste é feito pressionando-se a unha do polegar contra o feltro de encosto.

Se ficar retido óleo na unha, o feltro contém óleo suficiente para lubrificação do came.

Se aparecer óleo na unha, a quantidade está adequada.

Se não existir evidência de óleo na unha, aplica-se um pouco de óleo de motor embaixo e acima do conjunto, como mostra a figura 4-60.

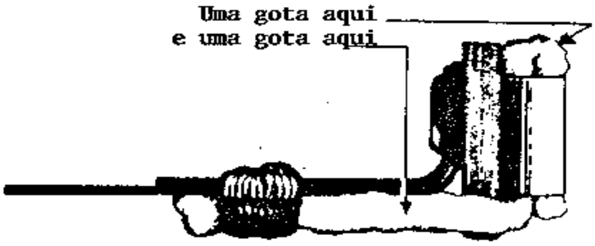


Figura 4-60 Lubrificação do came seguidor.

Após a aplicação, aguarda-se pelo menos 15 minutos para que o feltro absorva o óleo. Depois desse tempo, o excesso de óleo deve ser removido com um pano limpo. Durante esta operação, ou a qualquer hora em que a tampa esteja fora, é preciso extremo cuidado para manter o compartimento livre de óleo, graxa ou solventes de limpeza do motor, uma vez que eles têm uma adesividade que retém poeira e fuligem, o que prejudicaria um bom desempenho do platinado.

Após o feltro de encosto ter sido inspecionado, abastecido e encontrado satisfatoriamente, inspeciona-se visualmente o platinado quanto a qualquer condição que possa interferir na correta operação do magneto. Se a inspeção revelar uma substância oleosa ou pastosa nas laterais dos contatos, basta esfregá-lo com um pano em um tubo flexível, embebido em acetona ou outro solvente apropriado. Formando um gancho na extremidade do limpador, ganha-se acesso à parte traseira dos contatos.

Para limpar as superfícies de contato, o platinado deve ser forçado para abrir o suficiente para admitir um pequeno esfregão. Se a abertura dos pontos forem feitas com o propósito de limpeza ou teste das superfícies de contato, quanto às suas condições, aplica-se sempre a força de abertura na extremidade externa da mola principal, e nunca se abre os contatos mais que 1/16" (0,0625 pol.). Se os contatos forem abertos mais que o recomendado, a mola principal (a mola pressiona o contato móvel) provavelmente assumirá uma outra tensão. Conseqüentemente, os contatos perderão parte da tensão de fechamento; então eles saltarão, evitando indução normal do magneto.

Um esfregão pode ser feito enrolando uma tira de linho ou um pequeno pedaço de pano livre de fiapos sobre uma das superfícies de abertura, e embebendo o esfregão em um solvente apropriado. Então, passa-se cuidadosamente o esfregão nas superfícies de contato separadas. Durante toda esta operação, gotas de solvente não devem cair nas partes lubrificadas como o came e o feltro de encosto.

Para se inspecionar as superfícies de contato do platinado, é preciso conhecer o aspecto dos contatos, qual condição de superfície é considerada com desgaste permissível, e quando é necessário sua substituição. A provável causa de uma superfície anormal pode ser determinada pela aparência dos contatos.

A superfície de contato normal (figura 4-61) tem aparência áspera e de cor cinza opaca sobre a área onde o contato elétrico é feito. Isso indica que os pontos de contato se acamaram, estão alinhados um com o outro, e estão proporcionando o melhor contato possível.

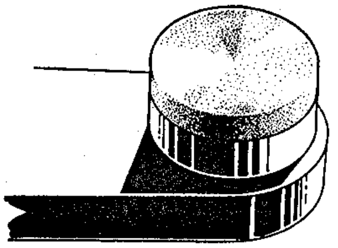


Figura 4-61 Superfície normal de contato.

Esta não é a única condição aceitável. Irregularidades pequenas, sem fendas profundas ou picos elevados, como mostrado na figura 4-62, são consideradas desgastes normais, e não são motivo para serem desbastadas ou substituídas.

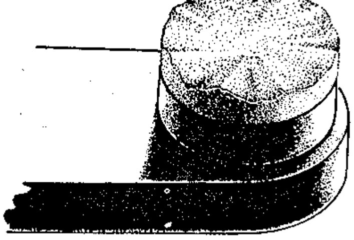


Figura 4-62 Platinado com irregularidade.

Entretanto, quando tiver ressaltos na superfície, como ilustrado na figura 4-63, eles devem ser desbastados ou substituídos. Infelizmente, quando picos se formam em um contato, a junção terá fenda ou orifícios.

Essa fenda é mais problemática que o pico, pois ela penetra na camada de platina da superfície. Isso, algumas vezes, dificulta o julgamento para saber se uma superfície de contato está com uma fenda o suficientemente funda para requerer desbaste, porque, na análise final, isso depende do quanto de platina foi retirado da superfície.

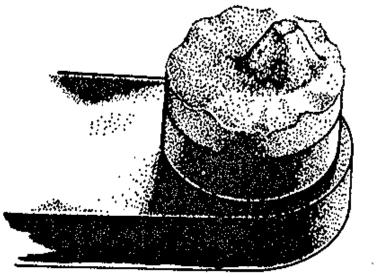


Figura 4-63 Platinado com "picos" bem definidos.

O risco surge da possibilidade da camada de platina já estar fina como resultado de um longo tempo de uso e prévios desbastes.

Nas revisões, em oficina, um instrumento é usado para medir a espessura remanescente do contato, e não existe nenhuma dificuldade em determinar sua condição.

Mas na manutenção de linha, esse instrumento geralmente não está disponível. Portanto, se o pico é muito alto ou a fenda é muito profunda, não se desbasta esses contatos, em vez disso, eles são removidos e substituídos por uma unidade nova ou recondicionada.

Uma comparação entre as figuras 4-62 e 4-63 ajudará a desenhar a linha entre as "menores irregularidades" e os "picos bem definidos".

Alguns exemplos de condições de superfícies de contatos são ilustrados na figura 4-64. O item "A" ilustra um exemplo de erosão ou desgaste chamado "frosting".

Essa condição é resultante de um condensador com circuito aberto; e é facilmente reconhecida pela superfície cristalina e áspera e o aparecimento de uma fuligem preta nas laterais dos pontos.

A falta da ação efetiva do condensador resulta em um arco de intenso calor, que se forma cada vez que os contatos abrem.

Isto, junto com o oxigênio no ar, rapidamente oxida e desgasta a superfície de platina dos pontos, deixando, então, a superfície com a aparência áspera, cristalina ou de fuligem.

Durante a operação normal é comum o aparecimento de uma fuligem granulada fina ou prateada, que não deverá ser confundida com a grossa, e os pontos de fuligem causados pela falha do condensador.

Os itens "B" e "C" da figura 4-64 ilustram pontos com fendas prejudiciais. Esses pontos são identificados claramente pelas bordas dos contatos (no estágio inicial) e pequenas fendas, ou cavidades, no centro dos contatos ou próximo deles, com uma aparência esfumaçada. Em estágios mais avançados, a fenda pode se desenvolver na largura, profundidade e eventualmente, o conjunto da superfície de contato tomará a aparência de queimado, escuro e amassado.

Pontos fendados, como regra geral, são causados por poeira e impurezas nas superfícies de contato. Se os pontos estiverem excessivamente fendados, um conjunto novo ou recondicionado deve ser instalado.

O item "D" da figura 4-64 ilustra um ponto em forma de "coroa", e pode ser rapidamente identificado pelo centro côncavo e a borda convexa na superfície de contato. Essa condição é resultante de um desbaste inadequado, como pode ser o caso de uma tentativa de desbaste, bem com o platinado instalado no magneto.

Em adição a uma superfície desigual e irregular, as partículas minúsculas de material estranho e metálico, que permanecem entre os pontos após a operação de desbaste, se fundem e causam uma queima irregular da superfície interna dos contatos.

Essa queima difere do congelamento, uma vez que um arco menor produz menos calor e menos oxidação. Nesse caso, a razão de queima é mais gradual.

Pontos coroados, desde que ainda estejam em condições podem ser limpos e retomados para serviço. Se tiver sido formado um excessivo coroamento, o platinado deve ser removido e substituído por um conjunto novo ou recondicionado.

O item "E" da figura 4-64 ilustra um ponto formado que pode ser reconhecido pela quantidade de metal que foi transferida de um ponto para outro.

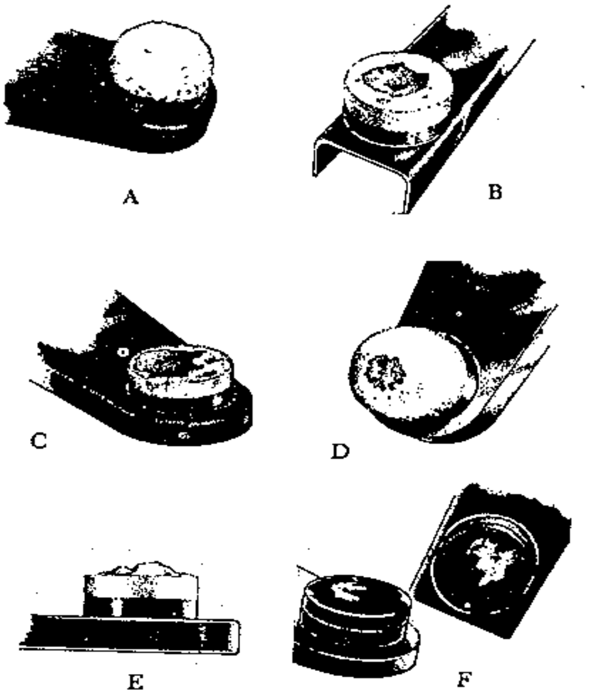


Figura 4-64 Exemplos de condições de superfícies de contato.

"Formações", tais como outras condições mencionadas, resultam primariamente da transferência do material de contato por meio de arcos separam. Mas, diferente dos outros, não há queimadura ou oxidação no processo por causa da proximidade entre a depressão de um ponto e a formação de outro.

Esta condição pode resultar de tensão de mola excessiva nos pontos do platinado, que retarda a abertura dos contatos ou causa uma lenta ruptura. Isto também pode ser causado por um condensador primário muito usado e precário, ou por uma conexão frouxa na bobina primária. Se uma formação excessiva tiver ocorrido, um conjunto de platinado novo ou recondicionado deve ser instalado.

O item “F” da figura 4-64 ilustra pontos oleosos, os quais podem ser reconhecidos por sua aparência manchada e pela falta de qualquer das irregularidades acima mencionadas. Essa condição pode ser resultante do excesso de lubrificação do came ou de vapores de óleo, os quais podem ser provenientes de dentro ou de fora do magneto.

Um motor expelindo fumaça, por exemplo, poderia produzir vapores de óleo. Esses vapores então entram no magneto através de sua ventilação e passam entre e em torno dos contatos do platinado. Estes vapores condutivos produzem queimaduras nas superfícies dos contatos.

Os vapores também aderem às superfícies do conjunto do platinado, e formam um depósito de fuligem. Pontos oleosos podem ser corrigidos através de um procedimento de limpeza. Entretanto, a remoção das manchas de fumaça podem revelar uma necessidade de desbaste dos pontos. Se preciso, desbasta-se os pontos, ou instala-se um conjunto de platinado novo ou recondicionado.

Recondicionamento (retífica) dos contatos do platinado

Genericamente falando, a desmontagem e a retificação dos contatos do platinado não deveriam ser uma rotina regular da manutenção do magneto.

Com a execução de uma manutenção cara e desnecessária, muitos conjuntos de contatos atingem um estado de refugo prematuramente, talvez com dois terços ou três quartos do material das superfícies de contato de platina gastos pelas repetidas operações de retífica.

Na maioria dos casos, os contatos do platinado permanecerão em condições satisfatórias entre os períodos de revisão apenas com inspeção de rotina, limpeza e lubrificação.

Se os contatos do platinado tiverem marcas profundas, elevações ou superfícies queimadas, devem ser retificados, ou substituídos, de acordo com as práticas de manutenção recomendadas pelo fabricante.

Se a retífica for aprovada, um conjunto especial de retífica de pontos de contatos estará normalmente disponível. O conjunto inclui: um bloco de retificação; adaptadores para segurar os contatos durante a operação de retífica; uma lima especial para remover picos e elevações e uma lixa muito fina para ser usada no final da operação, para remover qualquer rebarba deixada pela lima.

Por ocasião da retífica de um conjunto de contatos que tenham marcas e elevações, não se deve tentar remover os sulcos completamente. Lima-se somente o material o suficiente para tornar plana a superfície em torno de tais irregularidades. Isto deixará usualmente uma grande área de contato em torno do orifício (figura 4-65) e o conjunto terá desempenho idêntico ao de um novo conjunto de pontos. É óbvio que se o sulco for profundo, um pouco da camada de platina será removida, se houver uma tentativa de remoção de todo o sulco..

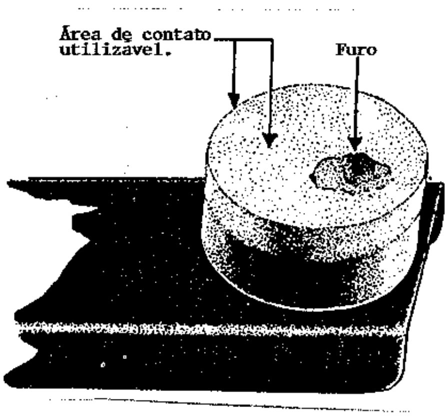


Figura 4-65 Platinado “furado”após retífica.

Na retificação do lado elevado do conjunto de contatos, os picos devem ser limados e removidos.

A superfície dos contatos deve estar perfeitamente plana para promover a maior área possível contra o outro contato, o qual terá agora uma área levemente diminuída devido as marcas remanescentes.

Em complemento à operação de retífica não é necessário obter um acabamento espelhado na área de contato. Apenas algumas passadas são requeridas para remover qualquer rebarba deixadas pela lima (Fig.4-66).

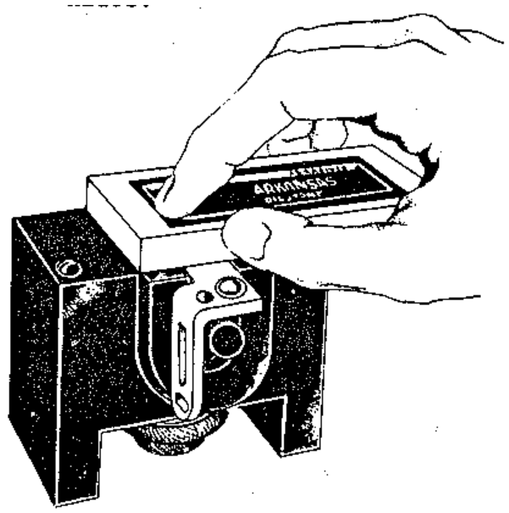


Figura 4-66 Utilização da pedra de retífica dos contatos dos platinados.

O objetivo primário é ter uma superfície de contato plana para promover uma área de contato satisfatória quando montado.

Uma área de contato total para duas superfícies recondicionadas é difícil de ser obtida, pois isso requer um perfeito acabamento das superfícies. Esta dificuldade é um tanto comprometida por uma aproximação, que permite cerca de dois terços do total da área de contato (figura 4-67).

A superfície de contato real pode ser checada mantendo-se o conjunto montado em frente de uma luz e observando o quanto de luz pode ser vista entre as superfícies de contato.

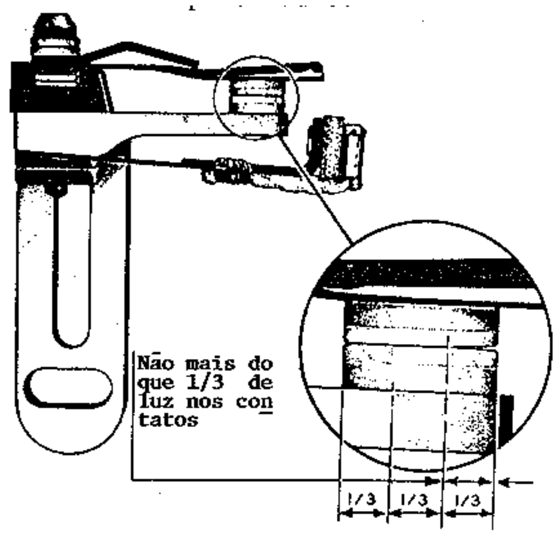


Figura 4-67 Verificação da área de contato dos platinados.

Se os pontos de contato tiverem sido removidos por alguma razão, os pontos substituídos ou recondicionados devem ser instalados e precisamente regulados para abrir quando o magneto girar e se movimentar dentro da posição de folga “E” para o cilindro número 1.

Inspeção dielétrica

Outra fase de inspeção do magneto é a inspeção dielétrica. Essa inspeção é uma checagem visual quanto a rachaduras e limpeza.

Se ela revelar que a carcaça da bobina, os condensadores, o rotor distribuidor ou blocos estão oleosos, sujos ou tenham qualquer sinal de carbono em evidência, tais unidades necessitarão de limpeza e, possivelmente, um polimento para restabelecer suas qualidades dielétricas.

Limpa-se todos os condensadores acessíveis e as carcaças de bobina que contenham condensadores, esfregando-os com um tecido sem fiapo embebido com acetona.

Muitas peças desse tipo possuem uma camada protetora. Essa camada não é afetada pela acetona, mas pode ser danificada pela fragmentação ou pelo uso de outros fluidos de limpeza.

Nunca se usa solventes de limpeza inadequados, ou métodos impróprios de limpeza.

Também, quando na limpeza de condensadores ou peças que contenham condensadores, elas não são mergulhadas em qualquer tipo de solução, porque essa pode penetrar no condensador e provocar um curto.

Carcaças de bobinas, blocos distribuidores, rotores distribuidores e outras partes dielétricas do sistema de ignição são tratadas com uma camada de cera quando novos e nas revisões gerais. O polimento dos dielétricos ajuda na sua resistência à absorção de umidade, carbono e depósitos de ácido. Quando essas peças encontram-se sujas ou oleosas, uma parte da proteção original é perdida, o que pode resultar em resistência de carbono.

Se qualquer sinal de carbono ou depósito de ácido estiver presente na superfície do dielétrico, coloca-se a peça mergulhada em solvente de limpeza apropriado, friccionando fortemente com uma escova de cerdas firmes.

Quando os sinais de carbono ou depósitos de ácido tiverem sido removidos, usa-se um pano seco para remover todo o solvente. Então, cobre-se a peça com uma camada de cera especial. Após o tratamento com cera, remove-se o excesso, e reinstala-se a peça no magneto.

Manunteção dos cabos de ignição

Embora os cabos de ignição sejam simples, eles são a ligação vital entre o magneto e a vela de ignição. Devido ao fato deles serem montados no motor, e expostos à atmosfera, eles são vulneráveis ao calor, umidade e aos efeitos das mudanças de altitude. Esses fatores, somados ao desgaste do isolamento e a erosão, trabalham contra uma operação eficiente do motor. O isolamento pode ser avariado dentro da cablagem e permitir uma fuga de alta voltagem, ao invés de fluir para a vela de ignição.

Circuitos abertos podem ser resultantes de fios partidos ou conexões fracas. Um fio descoberto pode estar em contato com a blindagem, ou dois fios podem estar em curto.

Qualquer defeito sério evitará que a alta tensão atinja a vela de ignição, a qual está conectado o cabo. Como resultado, essa vela não funcionará. Quando somente uma vela de ignição estiver funcionando no cilindro, a mistura não será consumida tão rapidamente quanto poderia ser se ambas as velas de ignição estivessem funcionando. Este fator faz com que o pico da pressão de combustão ocorra atrasado.

Se esse pico ocorrer mais tarde que o normal, resultará em perda de potência no cilindro.

Entretanto, a perda de potência para um cilindro simples torna-se um fato menor quando o efeito de um tempo longo de queima é considerado. Um longo tempo de queima superaquece o cilindro afetado, causando detonação, possível pré-ignição e, talvez, uma danificação permanente.

O fio isolado que transporta o impulso elétrico é um tipo especial de cabo projetado, para prevenir excessivas perdas de energia elétrica. Esse fio é conhecido como cabo de ignição de alta tensão, sendo confeccionado em três diâmetros.

Os diâmetros externos dos cabos em uso corrente são de 5, 7 ou 9 mm. A razão para diferentes diâmetros de cabos é que a quantidade e o tipo de isolamento em torno do fio determina a perda elétrica durante a transmissão de alta voltagem.

Uma vez que o núcleo condutor transporta apenas baixas correntes, esse condutor é de menor diâmetro.

O cabo de 9 mm tem uma aplicação limitada, porque é de projeto antigo e tem uma camada relativamente grossa de isolamento.

Para muitas partes, os motores de hoje usam cabos de 7mm, mas há poucos sistemas que são projetados para usar cabos de 5 mm. O uso crescente de cabos de menor tamanho é largamente utilizado devido as melhorias no material de isolamento, o qual permite um revestimento mais superficial. O adaptador de conexões tem sido projetado para as pontas de cabos mais finos, podendo assim ser usado em armadura (cablagem) trançada; onde o distribuidor foi originalmente projetado para cabos mais grossos.

Um tipo de construção de cabo utiliza um núcleo consistindo em 19 fios finos de cobre, cobertos por um revestimento de borracha. Isso é coberto por uma fita entrelaçada e uma camada na parte externa (A da figura 4-68). Um novo tipo de construção (B da figura 4-68) tem um núcleo de 7 fios de aço inox coberto com um revestimento de borracha. Além disso é usada uma trança de reforço e uma camada de neopreme para completar o conjunto. Esse tipo de construção é superior aos tipos mais antigos, principalmente porque o neopreme melhorou a resistência ao calor, ao óleo e à erosão.

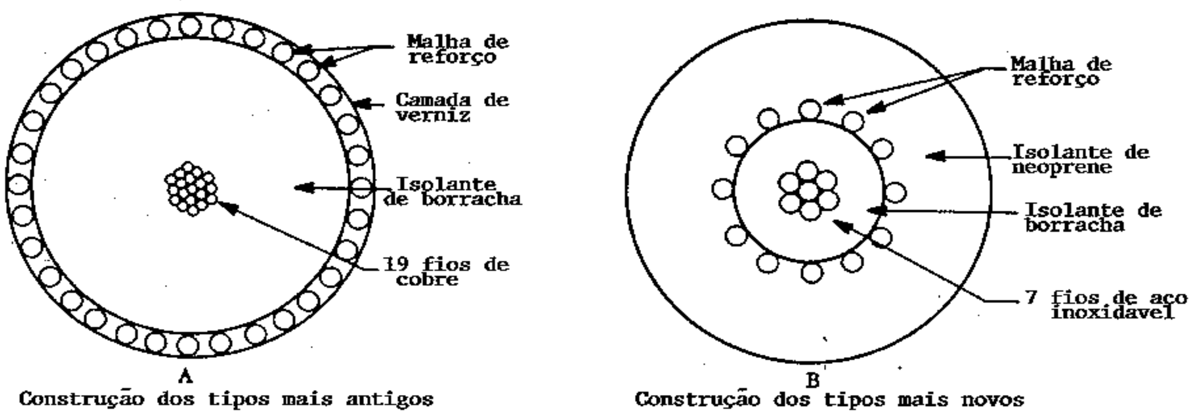


Figura 4-68 Vista em corte de um típico cabo de ignição de alta tensão.

Falhas das cablagens de ignição de alta tensão

Talvez, a mais comum e mais difícil falha de sistemas de ignição de alta tensão a ser detectada, seja o vazamento de alta voltagem. Isto é uma fuga do condutor através do isolamento para a massa do distribuidor blindado. Uma pequena fuga de corrente existe até em cabos de ignição novos, durante a operação normal.

Vários fatores se combinam para produzir primeiro uma alta razão de perda e, então, a completa interrupção.

Desses fatores, umidade em qualquer forma é provavelmente o pior. Sob alta voltagem, um arco se forma e queima a trilha através do isolador onde existe a umidade. Se houver gasolina, óleo ou graxa presente, irá interromper o circuito e formar carbono.

A trilha queimada é chamada de marca de carbono, já que realmente é uma trilha de partículas de carbono.

Com alguns tipos de isolamento, pode ser possível remover a trilha de carbono e restabelecer o isolador para sua condição total de uso. Isto é conseguido com a porcelana, cerâmica e alguns plásticos, pois esses materiais não são hidrocarbonos, e qualquer trilha de carbono formada nos mesmos é resultado de sujeira, podendo ser limpo.

Diferenças na localização e quantidade de perda produzirão diferentes indicações de mau funcionamento durante a operação do motor.

As indicações são geralmente falta de centelha ou centelha cruzada. A indicação pode ser intermitente, mudando com a pressão do duto ou com condições climáticas.

Um aumento na pressão do duto aumenta a pressão de compressão e a resistência do ar através da folga da vela de ignição. Um aumento na resistência da folga de ar (na vela de ignição) opõe à descarga da centelha, e produz uma tendência ao disparo desta num dado ponto fraco do isolamento. Um ponto fraco na cablagem pode ser agravado pela coletagem de umidade no distribuidor da cablagem.

Com a presença de umidade, a operação contínua do motor causará falhas intermitentes e tornará permanentes as trilhas de carbono. Desta maneira, a primeira indicação de cablagem de ignição sem condições de serviço pode ser a falta de centelha para o motor, causada pela perda parcial da voltagem de ignição.

A figura 4-69 mostra uma seção em corte de uma cablagem, e demonstra 4 falhas que podem ocorrer.

A falha (A) mostra um curto de um cabo condutor para outro. Essa falha usualmente causa falta de centelha, visto que a vela está curto-circuitada no cilindro, onde a pressão no mesmo é baixa.

A falha (B) mostra um cabo com uma parte do isolamento desgastado. Embora o isolamento não esteja completamente rompido, existe uma perda de força maior que a normal, e a vela de ignição, que está conectada a este cabo, pode ser perdida durante a decolagem, quando a pressão do distribuidor de admissão é muito elevada.

A falha (C) é o resultado da condensação coletada no ponto mais baixo do distribuidor de ignição.

Essa condensação pode evaporar completamente durante a operação do motor, mas a trilha de carbono, que é formada pelo centelhamento inicial, permanece para permitir um centelhamento contínuo toda vez que existir uma alta pressão do distribuidor.

A falha (D) pode ser causada por um alto fluxo de ar no isolamento ou pelo resultado de um ponto fraco na isolação, o qual é agravado pela presença de umidade.

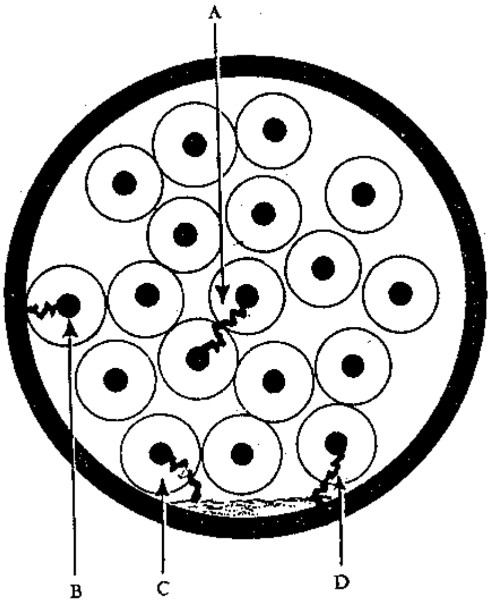


Figura 4-69 Seção reta de uma cablagem.

Entretanto, visto que a trilha de carbono é um contato direto com a childragem de metal, provavelmente resultará no centelhamento sob todas as condições de operação.

Teste de cablagem

O teste elétrico das cablagens de ignição checa a condição do isolamento em torno de cada cabo da cablagem. O princípio desse teste envolve a aplicação de uma voltagem definida para cada cabo e, então, a medida muito sensível da quantidade de corrente de fuga entre o cabo e o distribuidor da cablagem aterrado.

Esta leitura, quando comparada com especificações conhecidas, torna-se um guia para análise das condições de serviço do cabo. Como mencionado anteriormente, há uma deterioração gradual do material de isolamento flexível.

Quando novo, o material terá uma baixa razão de condutividade, tão baixa de fato, que sob uma voltagem de alguns milhares de volts de pressão elétrica, a fuga de corrente será de apenas alguns milésimos de ampère. O envelhecimento natural causará uma mudança na resistência do material de isolamento, permitindo um aumento da corrente de fuga.

Teste de cablagem de ignição de alta voltagem

Muitos tipos diferentes de dispositivos de testes são usados para determinar o estado de uma cablagem de ignição de alta tensão. Um tipo comum de teste, ilustrado na figura 4-70, é capaz de aplicar uma corrente contínua em qualquer tensão, de 0 até 15.000 volts, com uma entrada de 110 volts, 60 Hz.

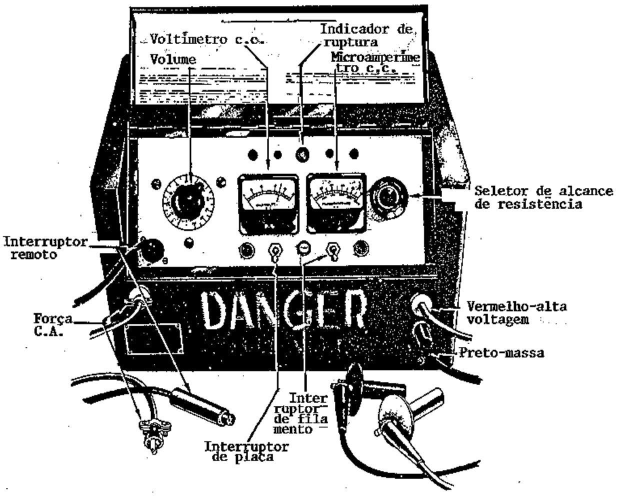


Figura 4-70 Teste de cablagem de ignição de alta tensão.

A fuga de corrente entre o cabo de ignição e o tubo de distribuição é medida em duas escalas de um microamperímetro, graduadas para leituras de 0 a 1000 microampères.

Desde que 1000 μa seja igual a 1 ma (miliampère), a escala de 0 a 1000 é chamada "escala de miliampère", e a outra "escala de microampère".

Leituras podem ser obtidas em qualquer escala através do uso da chave de ajuste de alta ou baixa resistência, localizada à direita do amperímetro.

Resistores limitadores de corrente são usados em ambas as escalas para evitar danos aos circuitos de teste, através de aplicação acidental de tensões excessivas.

A tensão aplicada ao cabo testado é indicada em um voltímetro calibrado para ler de 0 a 15000 volts. Um botão de controle à esquerda do voltímetro permite um ajuste de voltagem para a tensão recomendada. Em adição ao amperímetro e voltímetro, uma luz neon indica centelhamento que pode ser tão rápido a ponto de causar significativa deflexão da agulha do microamperímetro.

Os botões de controle para o teste (figura 4-70) incluem um interruptor de filamento, interruptor de placa e interruptor remoto. O interruptor de filamento completa um circuito entre a entrada do circuito C.A. e o elemento do filamento da válvula retificadora. O fluxo de corrente pelo filamento o aquece e prepara a válvula para operação. A função da válvula, entretanto, não estará completa até que a placa da mesma esteja energizada.

A tensão da placa do retificador depende de dois interruptores: o da chave de controle de placa e do botão remoto. A chave de controle de placa arma ou prepara o circuito da mesma para operar. Com as chaves da placa e do filamento ligadas, pressionando-se o botão remoto, a válvula estará em operação e, soltando-o, verifica-se a tensão dos cabos de ignição se os cabos de testes estiverem conectados.

O botão remoto de calcar deve ser ligado a um soquete no canto inferior esquerdo do painel de instrumentos.

Esta configuração permite uma operação de teste a distâncias de até 5 pés. Os parágrafos seguintes ilustram o uso desse tipo de unidade de teste. Estas instruções são apresentadas somente como um guia geral. Consulta-se as instruções aplicáveis do manual do fabricante antes de efetuar um teste da cablagem de ignição.

A cablagem não necessita ser removida do motor para o teste. Se o mesmo for efetuado com a cablagem no motor, todos os cabos de vela devem ser desconectados das mesmas, visto que a tensão aplicada durante o teste é alta o suficiente para provocar o centelhamento entre os eletrodos.

Após cada cabo ser desconectado, o seu terminal, exceto o que vai ser testado, deve estar encostado contra o cilindro, de modo a garantir o seu perfeito aterramento. A razão do aterramento de todos os cabos de vela durante o teste é a necessidade de se verificar e detectar excessiva fuga ou ruptura, resultante de um curto-circuito entre dois cabos de ignição.

Se os cabos estiverem sem massa durante o teste, o curto-circuito não poderá ser detectado, devido a todos os cabos se encontrarem como um circuito aberto e somente à fuga, através do isolamento para a massa do conduíte da cablagem, poderá ser indicada. Entretanto, quando todos os cabos estão aterrados, exceto o que receberá o teste de tensão, é formado um circuito completo através dos cabos curto-circuitados e qualquer fuga ou sobrecorrente para a massa é indicada pelo microamperímetro ou pelo acendimento da luz néon do indicador de ruptura .

Quando todos os cabos de vela estiverem desconectados das mesmas e aterrados ao motor, prepara-se o equipamento para teste da cablagem. Inicia-se pela conexão do cabo de aterramento na parte traseira do equipamento a algum objeto bem aterrado. Conecta-se o cabo vermelho de alta tensão (figura 4-70) para o terminal de alta tensão do equipamento. Conecta-se a outra extremidade desse cabo para a cablagem de ignição a ser testada.

Prende-se uma das extremidades do cabo massa (preto) no receptáculo de aterramento na parte da frente do equipamento de teste e a outra extremidade ao motor ou qualquer outro ponto comum de massa. Fixa-se o cabo do botão remoto no painel de teste de ignição. Todas as chaves devem estar desligadas, e o botão de controle de alta tensão em zero; então conecta-se o cabo de alimentação para uma fonte de 110 volts, 60 Hz de C.A. Liga-se a chave de controle do filamento, aguardando pelo menos 10 segundos para que o filamento da válvula se aqueça. Após este intervalo, liga-se a chave da placa. Com as chaves da placa e do filamento ligados, ajusta-se a tensão que será aplicada para cada cabo de ignição durante o teste.

O ajuste é efetuado pressionando-se o botão remoto e girando-se o botão de controle de alta tensão no sentido horário, até que o voltímetro registre 10.000 volts. Assim que a tensão recomendada for atingida, solta-se o botão e automaticamente o suprimento de alta tensão é interrompido.

Uma vez que a tensão seja ajustada para o valor recomendado, não será mais necessário o ajuste da mesma durante o teste. O passo final é o posicionamento do selector de alcance de resistência para "high", de maneira que qualquer fuga de corrente poderá facilmente ser detectada no microamperímetro.

Esse teste é normalmente iniciado pelo cilindro n° 1. Visto que todos os cabos de vela já se encontram aterrados e o cabo vermelho de alta tensão está conectado ao cabo do cilindro n° 1, testa-se esse cabo simplesmente pressionando o botão remoto e observando o microamperímetro. Após obter a indicação, solta-se o botão, remove-se o cabo de teste de alta tensão, aterrando o cabo seguinte a ser testado, e procedendo da mesma maneira na ordem numérica dos cilindros.

É importante que cada cabo, bom ou ruim, seja novamente aterrado antes de se testar o seguinte. Conforme o teste progride em torno do motor, anota-se somente aqueles cabos pelo número que deram uma indicação de fuga excessiva (mais que 50 μa) ou de ruptura indicada pelo acendimento da lâmpada.

Na conclusão do teste, pelo menos dois cabos em qualquer cablagem provavelmente apresentam falhas. Isto pode ser explicado pela referência da figura 4-71, e notando-se a posição do rotor do distribuidor. Quando a tensão de teste é aplicada para o cabo inferior da ilustração, um centelhamento pode ocorrer através do pequeno vão do distribuidor e pela bobina primária do magneto ou da chave de ignição para a massa.

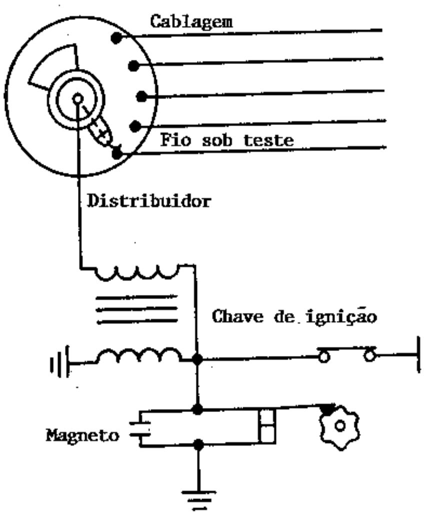


Figura 4-71 Ruptura não atribuida à falha do isolamento.

Esta aparente falha será mostrada em ambos os cabos da vela de ignição, dianteira e traseira, para um cilindro em particular. Para se determinar se existe realmente uma interrupção nesses cabos, gira-se a hélice de um quarto a meia volta, repetindo neles o teste. Isto afastará o rotor do distribuidor do terminal de cabo testado, dando uma indicação precisa de suas condições.

A hélice não deve ser girada imediatamente após a localização de um cabo aparentemente em mau estado, pois o rotor do distribuidor pode parar em posição oposta à de outro cabo que não tenha sido testado, sendo necessário girar a hélice novamente.

Sempre que a maioria deles apresentar fuga excessiva, a falha pode ser por sujeira ou tratamento inadequado dos contatos do distribuidor. Se esse for o caso, limpa-se os contatos do distribuidor com os procedimentos descritos no manual do fabricante.

Teste de isolamento de corrente contínua

Existem vários testes pequenos, leves e portáteis, que podem operar com alimentação de 115 volts, 60 Hz C.A., ou 28 v C.C. da fonte de alimentação da aeronave.

Esses testes usam essencialmente os mesmos medidores e interruptores que os testes de cabos de ignição de alta tensão já discutidos. Além disso, as indicações de fuga e interrupção são praticamente as mesmas. Esse tipo de teste é um instrumento geralmente portátil.

ANALISADOR DE MOTORES

O analisador de motores é uma adaptação do osciloscópio. É um instrumento portátil ou permanentemente instalado, cuja função é detectar, localizar e identificar anomalias na operação de motores, como as que são causadas por falha do sistema de ignição, detonação, válvulas, mistura pobre, etc.

A necessidade de meios de detecção e localização de problemas operacionais mais eficazes se tornou evidente com a introdução de maiores e mais complexos motores de aeronaves.

A maioria dos problemas operacionais de aeronaves são devidos à falha no sistema de ignição, e normalmente se manifestam em baixas altitudes, ou durante a operação no solo. Entretanto, muitos problemas de motores, principalmente aqueles relacionados ao sistema de ignição, ocorrem em elevadas altitudes de vôo.

Já que as condições de elevadas altitudes não podem ser simuladas no solo, é desejável uma unidade que, a qualquer momento, possa indicar uma anormalidade na operação dos motores.

Analisadores de motores são classificados em 2 tipos: um produz somente evidência da condição do sistema de ignição; o outro revela vibrações anormais durante a operação, como as causadas pela explosão, válvulas, ou mistura pobre de combustível, como também o mau funcionamento na ignição.

Os analisadores são projetados para serem usados como portáteis, ou permanentemente instalados na aeronave. A maioria dos modelos comuns contém o controle de voltagem de ignição e seletoras que permitem o uso de captadores de indução, conjunto de retardo ou gerador de 3 fases para sincronização.

Os pesos do portátil e do instalado na aeronave variam com a forma de instalação envolvida.

Em uma aeronave típica de 2 motores equipada com sistema de ignição de baixa tensão, a instalação portátil pesa aproximadamente 22 Lbs (incluindo fios, conectores e equipamento). A instalação a bordo pesa aproximadamente 45,5 Lbs.

Uma instalação a bordo é aquela em que a unidade analisadora de ignição e seus associados estão permanentemente instalados na aeronave. Nenhum fixador de cabos é usado, neste caso.

Uma instalação portátil é aquela na qual o equipamento associado é permanentemente instalado no avião, porém, o analisador é eliminado. Neste caso, um fixador de cabos é utilizado.

Mais tarde, o analisador é levado de avião para avião para fazer testes de ignição, ou vai nele para fazer testes de ignição em altitudes.

O analisador instalado a bordo tem uma grande vantagem, – está sempre com o avião. Fazer tal instalação envolve custos adicionais do analisador.

Obviamente isto requer que se tenha pessoal a bordo capaz de operar o instrumento em vôo, permitindo que esse pessoal teste o sistema de ignição antes do pouso, e, assim, torne possível resolver prontamente as dificuldades após o pouso.

O diagrama na figura 4-72 ilustra uma instalação do analisador de ignição a bordo em um avião típico. A figura mostra que um conjunto de retardo e filtro é requerido pelo motor. Somente uma caixa relé/resistor é requerida por avião. Uma exceção à regra são os aviões que têm certos tipos de instalação de ignição de alta tensão. Essas instalações requerem uma caixa relé/resistor por motor.

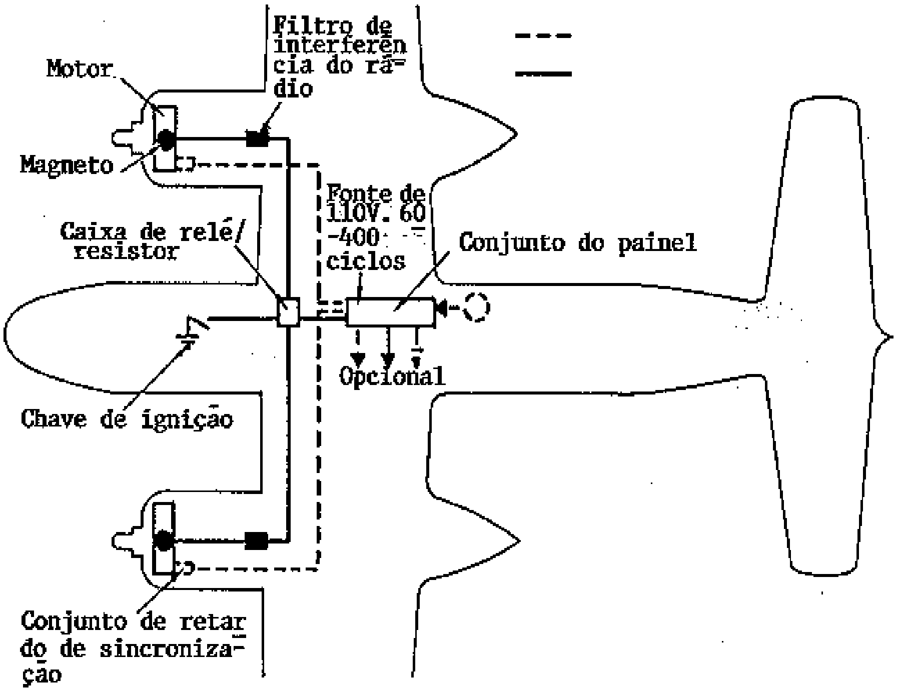

Filtro de interferência do rádio
Motor
Magneto
Fonte de 110V. 60 -400 ciclos
Caixa de relé/ resistor
Conjunto do painel
Opcional
Chave de ignição
Conjunto de retardo de sincronização

Figura 4-72 Instalação do analisador em bimotores.

O conjunto de retardo de sincronização "dispara" o circuito de varredura horizontal do tubo de raios catódicos. Ele opera à metade da velocidade do eixo de manivelas do motor e é temporizado de 3° a 4° antes da explosão do cilindro n° 1.

O filtro de interferência do rádio é montado na parede de fogo e no circuito primário de ignição.

O número de unidades por filtro depende do número de fios massa em cada circuito primário de ignição.

Uma unidade normalmente consiste em uma bobina de reatância e um ou dois condensadores ligados em paralelo com o condensador primário do magneto. O filtro é requerido porque o equipamento analisador não é blindado. Ele também permite que a fiação do circuito analisador primário não seja blindado. A caixa de relé/resistor contém um resistor isolante para cada motor. Ela também contém relés selados hermeticamente, que permitem a derivação seletiva e individual dos resistores para qualquer motor. Os resistores de isolamento são para prevenir qualquer curto no circuito analisador. Os relés de derivação permitem o uso do controle de voltagem de ignição.

O conjunto do painel contém um motor e um interruptor seletor de condição, um relé individual de operação por interruptores para cada motor (proteções são instaladas para prevenir acidentes na operação do interruptor), e um conjunto interruptor de força com fusível e luz de indicação. Isso constitui o centro de controle para o analisador.

Um diagrama de bloco de um analisador de ignição está mostrado na figura 4-73. Sinais podem ser tracejados através de três tipos possíveis de dispositivos sensores, os quais serão apresentados na face do tubo de raios catódicos.

A figura 4-74 ilustra seis imagens típicas de uma analisador de motores. Apesar de ser requerido treinamento adicional para que se possa interpretar com exatidão o significado de cada sinal, a configuração dos sinais na figura 4-74 mostra que todo mau funcionamento é apresentado através de figuras distintas e reconhecíveis.

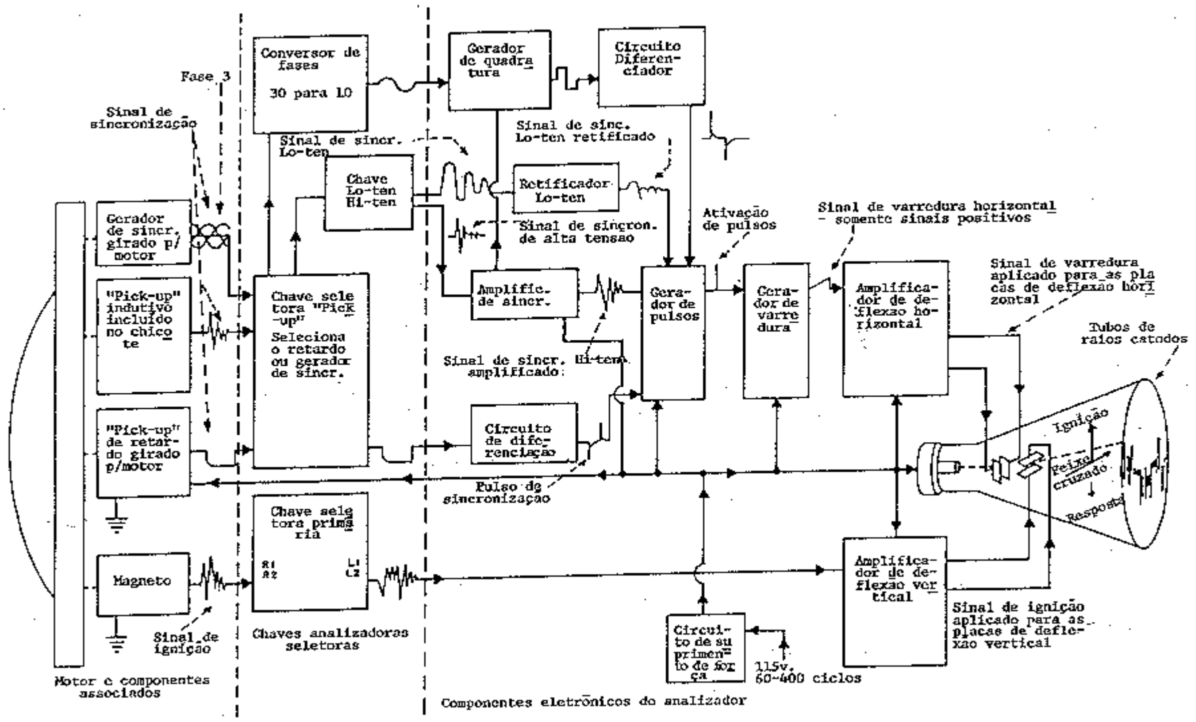
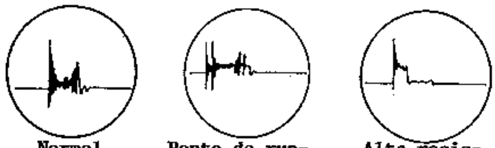

Fase 3
Sinal de sincronização
Conversor de fases
30 para 10
Gerador de quadratura
Circuito Diferenciador
Sinal de sincr. Lo-ten
Chave Lo-ten Hi-ten
Sinal de sinc. Lo-ten retificado
Retificador Lo-ten
Sinal de sincron. de alta tensao
Gerador de sincr. girado p/ motor
"Pick-up" indutivo incluído no chicote
Chave seletora "Pick-up" Seleciona o retardo ou gerador de sincr.
Amplific. de sincr.
Sinal de sincr. Hi-ten amplificado
Ativação de pulsos
Gerador de pulsos
Gerador de varredura
Sinal de varredura horizontal - somente sinais positivos
Amplificador de deflexao horizontal
Sinal de varredura aplicado para as placas de deflexão horizontal
Tubos de raios catodos
Ignição
Feixe cruzado
Resposta
"Pick-up" de retardo girado p/motor
Circuito de diferenciação
Pulso de sincronização
Chave seletora primaria
R1
R2
L1
L2
Magneto
Sinal de ignição
Chaves analizadoras seletoras
Amplificador de deflexao vertical
Sinal de ignição aplicado para as placas de deflexao vertical
Circuito de suprimento de força
115v. 60-400 ciclos
Motor e componentes associados
Componentes eletrônicos do analizador

Figura 4-73 Diagrama do analisador de ignição.



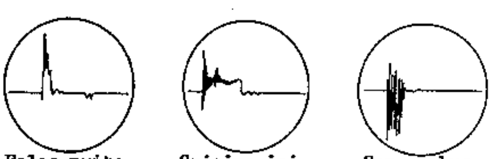


Figura 4-74 Imagens típicas de um analisador de motor.

SISTEMAS DE IGNIÇÃO EM MOTORES A TURBINA

Como os sistemas de ignição de motores à turbinas são operados por um curto período durante o ciclo de partida do motor, eles são, via de regra, menos passíveis de problemas em relação aos sistemas de ignição em motores convencionais.

A maioria dos motores turbojato é equipado com um sistema de ignição do tipo capacitivo de alta energia. Ambos os motores do tipo turboélice e turbojato podem ser equipados com um sistema de ignição tipo eletrônico, o qual é uma variação do sistema tipo capacitivo simplificado.

Sistema de ignição de motores turbojato

O motor turbojato típico é equipado com um sistema de ignição do tipo capacitivo (descarga capacitiva), consistindo em duas unidades idênticas e independentes de ignição, operando a partir de uma fonte elétrica de corrente contínua de baixa tensão comum, que é a bateria de bordo da aeronave.

Os sistemas de ignição dos motores turbojato podem ser rapidamente operados em condições atmosféricas ideais, mas uma vez que freqüentemente eles operam em condições de grandes altitudes e baixas temperaturas, é imperativo que o sistema seja capaz de fornecer centelhas de alta intensidade de calor.

Com isso, uma alta tensão é fornecida ao terminal da vela de ignição, fornecendo ao sistema um alto grau de confiabilidade em condições variáveis de altitude, pressão atmosférica, temperatura, vaporização de combustível e tensão de entrada.

Um sistema de ignição típico inclui duas unidades excitadoras, dois transformadores, dois cabos de ignição intermediários e dois cabos de ignição de alta tensão.

Com isso, como um fator de segurança, o sistema de ignição é realmente um sistema duplo, projetado para ativar duas velas de ignição. A figura 4-75 apresenta parte de um sistema típico de ignição.

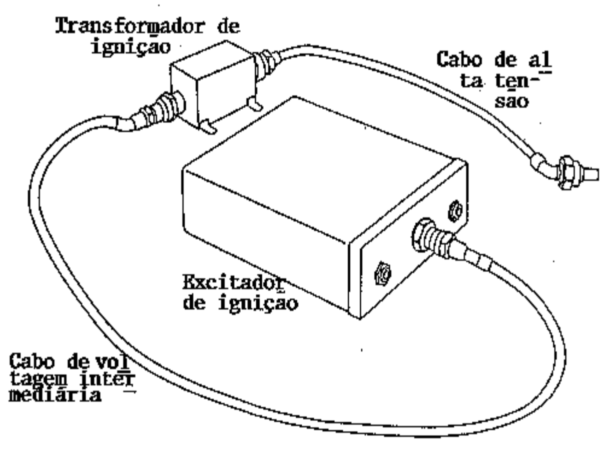


Figura 4-75 Parte de um sistema típico de ignição.

A figura 4-76 apresenta um diagrama esquemático de um sistema de ignição do tipo capacitor utilizado em motores turbojato.

Uma tensão de entrada de 24 vcc é fornecida ao conector da unidade excitadora.

Esta alimentação inicialmente passa através de um filtro de energizar a unidade excitadora, tal filtro tem a função de evitar que sinais de ruído sejam induzidos no sistema elétrico da aeronave.

A baixa tensão de entrada opera um motor C.C., o qual aciona um sistema excêntrico singelo e um sistema excêntrico múltiplo. Ao mesmo tempo, a tensão de entrada é fornecida a um conjunto interruptor, que é acionado pelo sistema excêntrico múltiplo.

No conjunto de interruptores, uma corrente que é rapidamente interrompida, é enviada a um autotransformador.

Quando o interruptor é fechado, o fluxo de corrente através da bobina primária do transformador gera um campo magnético.

Quando o interruptor abre, o fluxo de corrente cessa e a queda do campo induz uma tensão no secundário do transformador.

Essa tensão causa um pulso de corrente que flui para o capacitor de carga através do retificador que limita o fluxo em uma única direção.

Com pulsos repetitivos no capacitor de carga, este carrega-se com uma carga máxima aproximada de 4 joules (1 joule por segundo equivale a 1 watt).

O capacitor de carga é conectado a vela de ignição através de um transformador de disparo e de um contactor, normalmente abertos.

Quando a carga do capacitor é elevada, o contator é fechado pela ação mecânica do sistema excêntrico singelo.

Uma parte da carga flui através do primário do transformador de disparo, e o capacitor é conectado em série com esses. Esta corrente induz uma alta tensão no secundário do transformador, o qual ioniza a vela de ignição.

Quando a vela se torna condutiva, o capacitor de carga descarrega o restante de sua energia acumulada juntamente com a carga do capacitor, que está em série com o primário do transformador de disparo.

A razão de centelhamento na vela de ignição terá uma variação que será proporcional à tensão da fonte de alimentação C.C., a qual afeta a rotação do motor.

Uma vez que ambos os sistemas excêntricos são atuados pelo mesmo eixo, o capacitor de carga acumulará sempre a sua energia com o mesmo número de pulsos antes do ciclo de descarga. A aplicação do transformador de disparo de alta freqüência, com um secundário de baixa reatância, mantém o tempo de disparo em um valor mínimo.

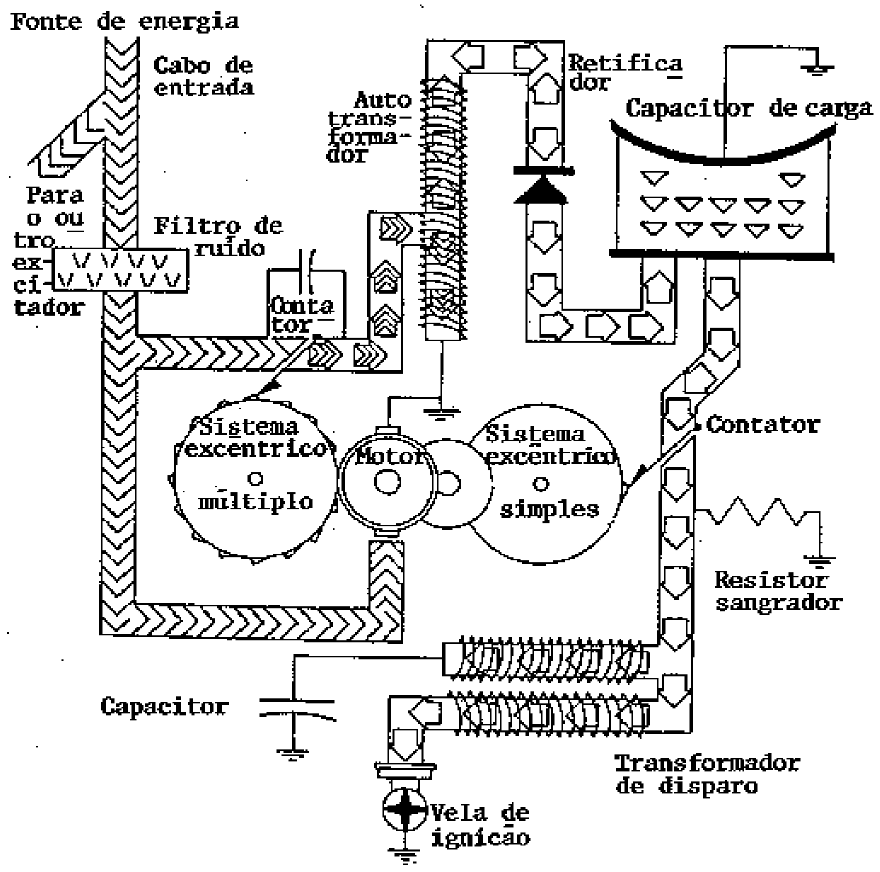

Fonte de energia
Cabo de entrada
Para o outro excitador
Filtro de ruído
Contator
Auto transformador
Retificador
Capacitor de carga
Sistema excentrico o múltiplo
Motor
Sistema excentrico o simples
Contator
Resistor sangrador
Capacitor
Transformador de disparo
Vela de ignicão

Figura 4-76 Esquema de um sistema de ignição do tipo capacitor.

Esta concentração de máxima energia em um mínimo de tempo fornece uma ótima centelha para o propósito de ignição, capaz de eliminar a carbonização e vaporizar os glóbulos de combustível.

Toda a alta tensão nos circuitos de disparo é completamente isolada dos circuitos primários. O excitador é completamente selado, protegendo com isto todos os componentes de condições adversas de operação, eliminando a possibilidade de perda de centelha em altitudes devido à mudança de pressão. Isto também assegura uma blindagem que evita a fuga de tensão de alta freqüência, a qual interfere na recepção de rádio da aeronave.

Sistema eletrônico de ignição

Este sistema tipo capacitivo modificado fornece ignição para os motores turboélice e turbojato. Como os outros sistemas de ignição, este é requerido apenas durante o ciclo de partida do motor. Uma vez iniciada a combustão, a chama é contínua. A figura 4-77 mostra os componentes de um sistema eletrônico de ignição típico.

O sistema consiste em uma unidade dinamotora/reguladora/filtro, um excitador, dois transformadores de alta tensão, dois cabos de alta tensão e duas velas de ignição. Além desses componentes são também usados cabos de interconexão, terminais, chaves de controle e o equipamento necessário para sua operação na aeronave.

O dinamotor é utilizado para elevar a corrente contínua que é extraída da bateria de bordo ou da fonte externa, para a tensão de operação do excitador.

Essa tensão é utilizada para carregar dois capacitores, os quais armazenam a energia que será utilizada durante a ignição.

Nesse sistema, a energia requerida para ativar a vela de ignição na câmara de combustão não é armazenada em uma bobina de indução, como acontece nos sistemas convencionais de ignição.

No sistema eletrônico, a energia é armazenada em capacitores. Cada circuito de descarga inclui dois capacitores, ambos localizados na unidade excitadora. A tensão através desses capacitores é elevada por meio de transformadores.

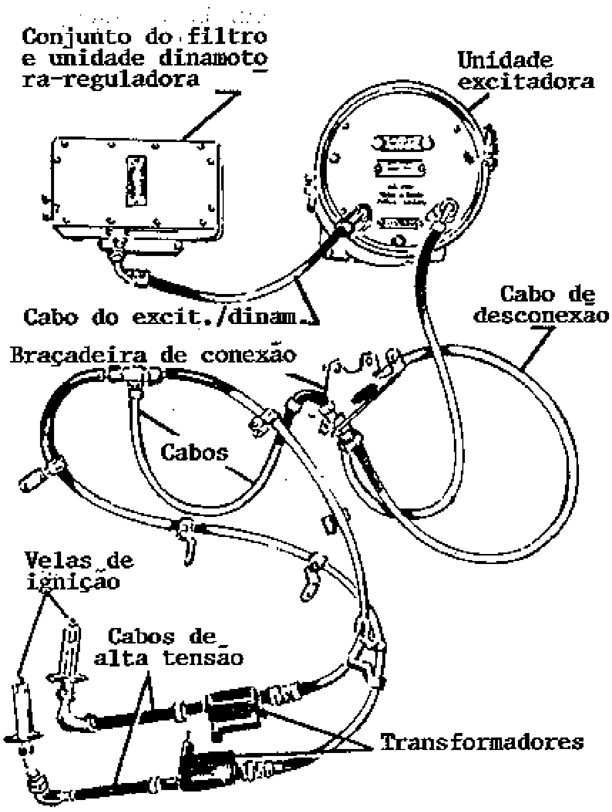

Conjunto do filtro e unidade dinamoto ra-reguladora
Unidade excitadora
Cabo do excit./dinam.
Cabo de desconexão
Braçadeira de conexão
Cabos
Velas de ignição
Cabos de alta tensão
Transformadores

Figura 4 -77 Sistema de ignição eletrônico.

No instante de ativação da vela de ignição, a resistência do eletrodo é reduzida o suficiente para permitir que o capacitor maior descarregue sua energia através do eletrodo.

A descarga do segundo capacitor é de baixa tensão, porém com alta energia.

O resultado é uma centelha de alta intensidade de calor, capaz não somente de causar a ignição de misturas anormais de combustível, mas também de eliminar quaisquer depósitos de material estranho nos eletrodos da vela.

O excitador é uma unidade dupla, e esse produz centelhas em cada uma das duas velas de ignição.

Uma série contínua de centelhas é produzida até que o motor acenda. A corrente da bateria é então interrompida, e as velas de ignição não mais emitem centelha enquanto o motor estiver operando.

Velas de ignição de turbina

A vela de um sistema de ignição de turbina é consideravelmente diferente daquelas utilizadas nos sistemas de ignição dos motores convencionais. O seu eletrodo deve ser capaz de resistir a uma corrente de muito maior energia, em relação ao eletrodo de velas para motores convencionais.

Essa corrente de alta energia pode rapidamente causar a erosão do eletrodo, mas os pequenos períodos de operação minimizam a manutenção da vela. O espaço do eletrodo de uma vela de ignição típica é muito maior do que aquela das velas de centelha, uma vez que as pressões de operação são muito menores, e as centelhas podem ser mais facilmente conseguidas do que nas velas comuns.

Finalmente, a sujeira nos eletrodos, tão comum nas velas de motores convencionais, é minimizada pelo calor das velas de alta intensidade.

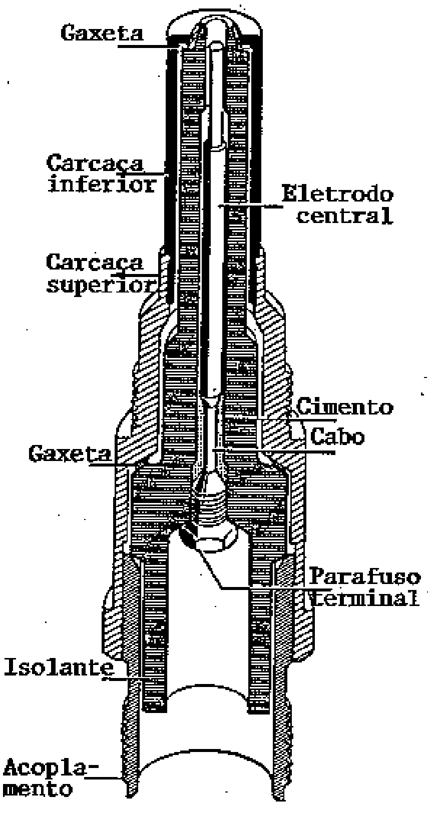

Gaxeta
Carcaça inferior
Eletrodo central
Carcaça superior
Cimento
Cabo
Gaxeta
Parafuso terminal
Isolante
Acoplamento

Figura 4-78 Vela de ignição do tipo angular.

A figura 4-78 mostra uma ilustração em corte de uma vela de ignição típica com espaçamento anular do eletrodo, por vezes conhecida como de "longo alcance", em função de projetar-se na câmara de combustão, produzindo uma centelha mais efetiva.

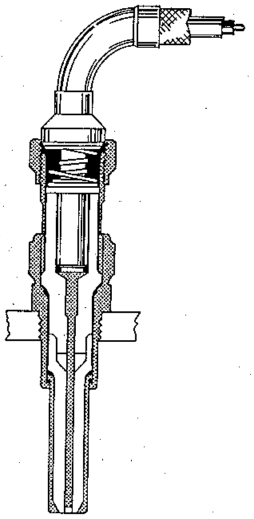


Figura 4-79 Vela de ignição do tipo confinado.

Outro tipo de vela de ignição, a vela confinada (figura 4-79), é usada em alguns tipos de turbinas. Essa opera em condições de temperaturas muito mais frias e é por esta razão, que não se projetam diretamente na câmara de combustão.

Isto é possível porque a centelha não permanece muito próxima da vela, mas produz um arco além da face da câmara de combustão.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO DE MOTORES A TURBINA

A manutenção de um sistema típico de ignição de turbinas consiste primariamente em inspeção, teste, pesquisa de problemas, remoção e instalação.

Inspeção

A inspeção de um sistema de ignição normalmente inclui o seguinte:

Inspeção / cheque	Reparo
Fixação dos componentes, parafusos e braçadeiras	Reaperto e fixação como requerido
Curtos e arcos de alta tensão	Substituição dos componentes em falha e fiação.
Conexões soltas	Fixação e aperto como requerido

REMOÇÃO, MANUTENÇÃO E INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE IGNIÇÃO

As instruções seguintes constituem em procedimentos típicos sugeridos pela maioria dos fabricantes de turbinas. Essas instruções são aplicáveis aos componentes do sistema de ignição do motor (ilustrado na figura 4-77).

As instruções fornecidas pelo fabricante devem sempre ser consultadas antes de se executar manutenção em qualquer sistema de ignição.

Cabos do sistema de ignição

1) Remover as braçadeiras que fixam os cabos de ignição ao motor.

2) Remover os frenos e soltar os conectores elétricos da unidade excitadora (caixa de ignição).

3) Remover freno e desconectar o cabo da vela de ignição.

4) Descarregar qualquer carga elétrica armazenada no sistema através da massa, e remover os cabos do motor.

5) Limpar os cabos com solvente seco aprovado.

6) Inspecionar os conectores quanto as roscas danificadas, corrosão, isoladores quebrados e pinos do conector amassados ou quebrados.

7) Inspecionar os cabos quanto as áreas queimadas ou gastas, cortes, desgaste e deterioração de modo geral.

8) Executar o teste de continuidade dos cabos.

9) Reinstalar os cabos, obedecendo o procedimento inverso ao da remoção.

Velas de Ignição

1) Desconectar os cabos de ignição das velas.

2) Remover as velas de seus suportes.

3) Inspecionar a superfície do eletrodo da vela.

4) Inspecionar a haste da vela quanto ao desgaste.

5) Substituir velas de ignição cuja superfície esteja granulada, lascada, ou danificada de forma generalizada.

6) Substituir velas sujas ou carbonizadas.

7) Instalar as velas de ignição nos suportes.
8) Verificar a distância adequada entre a câmara de combustão e a vela de ignição.

9) Apertar as velas de ignição de acordo com o torque especificado pelo fabricante.

10) Frenar as velas de ignição.

SISTEMAS ELÉTRICOS DO MOTOR

O desempenho satisfatório de qualquer avião moderno depende em grande parte da confiabilidade contínua nos sistemas e subsistemas elétricos. A instalação ou manutenção incorreta ou descuidada da fiação pode ser fonte de perigo imediato e potencial.

O funcionamento adequado e contínuo dos sistemas elétricos depende do conhecimento e da técnica do mecânico que os instala, inspeciona e mantém os fios e cabos do sistema elétrico.

Os procedimentos e as práticas apresentadas neste manual são recomendações gerais e não pretendem substituir as instruções e práticas aprovadas pelo fabricante.

Para efeito desse manual, um fio é apresentado como um condutor simples e rígido, ou como um condutor retorcido, ambos revestidos com um material isolante. A figura 4-80 ilustra estas duas definições de um fio.

1) Dois ou mais condutores isolados separadamente e no mesmo invólucro (cabo multicondutor).

2) Dois ou mais condutores isolados separadamente e torcidos juntos (par torcido).

3) Um ou mais condutores isolados, revestidos com uma blindagem trançada metálica (cabo blindado).

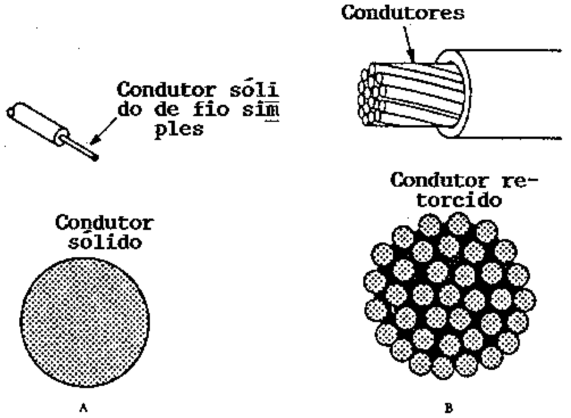


Figura 4-80 Dois tipos de fio de avião.

O termo cabo, como é usado nas instalações elétricas do avião inclui:

4) Um condutor central simples, isolado com um condutor externo de revestimento metálico (cabo de radiofreqüência). A concentricidade do condutor central e do condutor externo é cuidadosamente controlada durante a fabricação para assegurar que eles sejam coaxiais (cabo coaxial).

Bitola de fio

O fio é fabricado em bitola de acordo com o modelo padrão especificado pelo AWG (American Wire Gage).

Como apresentado na figura 4-81, os diâmetros dos fios tornam-se menores à medida em que os números do calibre tornam-se maiores.

A maior bitola do fio mostrado na figura 4-81 é o número 0000, e a menor é o número 40. As bitolas maiores e menores são fabricadas, mas não são comumente usadas.

Um calibre de fio é apresentado na figura 4-82. Esse tipo de calibre medirá os fios variando em bitola do 0 até o número 36. O fio a ser medido é colocado na fenda menor que só medirá o que estiver desencapado.

O número do calibre, correspondente à fenda, indica a bitola do fio. A fenda possui lados paralelos e não deve ser confundida com a abertura semicircular na sua extremidade. A abertura simplesmente permite o movimento livre do fio em direção e através da fenda.

Os números do calibre são úteis na comparação da bitola dos fios, mas nem todos os tipos de fio ou cabo podem ser medidos precisamente com um calibre.

		Secção em corte		Ohms / 1.000 pés	
Bitola	Diâmetro	Mils Circular	Pol^2	25°C (77°F)	65°C (149°F)
0000	460.0	212,000.0	0.166	0.0500	0.0577
000	410.0	168,000.0	.132	.0630	.0727
00	365.0	133,000.0	.105	.0795	.0917
0	325.0	106,000.0	.0829	.100	.116
1	289.0	83,700.0	.0657	.126	.146
2	258.0	66,400.0	.0521	.159	.184
3	229.0	52,600.0	.0413	.201	.232
4	204.0	41,700.0	.0328	.253	.292
5	182.0	33,100.0	.0260	.319	.369
6	162.0	26,300.0	.0206	.403	.465
7	144.0	20,800.0	.0164	.508	.586
8	128.0	16,500.0	.0130	.641	.739
9	114.0	13,100.0	.0103	.808	.932
10	102.0	10,400.0	.00815	1.02	1.18
11	91.0	8,230.0	.00647	1.28	1.48
12	81.0	6,530.0	.00513	1.62	1.87
13	72.0	5,180.0	.00407	2.04	2.36
14	64.0	4,110.0	.00323	2.58	2.97
15	57.0	3,260.0	.00256	3.25	3.75
16	51.0	2,580.0	.00203	4.09	4.73
17	45.0	2,050.0	.00161	5.16	5.96
18	40.0	1,620.0	.00128	6.51	7.51
19	36.0	1,290.0	.00101	8.21	9.48
20	32.0	1,020.0	.000802	10.4	11.9
21	28.5	810.0	.000636	13.1	15.1
22	25.3	642.0	.000505	16.5	19.0
23	22.6	509.0	.000400	20.8	24.0
24	20.1	404.0	.000317	26.2	30.2
25	17.9	320.0	.000252	33.0	38.1
26	15.9	254.0	.000200	41.6	48.0
27	14.2	202.0	.000158	52.5	60.6
28	12.6	160.0	.000126	66.2	76.4
29	11.3	127.0	.0000995	83.4	96.3
30	10.0	101.0	.0000789	105.0	121.0
31	8.9	79.7	.0000626	133.0	153.0
32	8.0	63.2	.0000496	167.0	193.0
33	7.1	50.1	.0000394	211.0	243.0
34	6.3	39.8	.0000312	266.0	307.0
35	5.6	31.5	.0000248	335.0	387.0
36	5.0	25.0	.0000196	423.0	488.0
37	4.5	19.8	.0000156	533.0	616.0
38	4.0	15.7	.0000123	673.0	776.0
39	3.5	12.5	.0000098	848.0	979.0
40	3.1	9.9	.0000078	1,070.0	1,230.0

Figura 4-81 Bitola de fio americano, padrão sólido, de cobre.

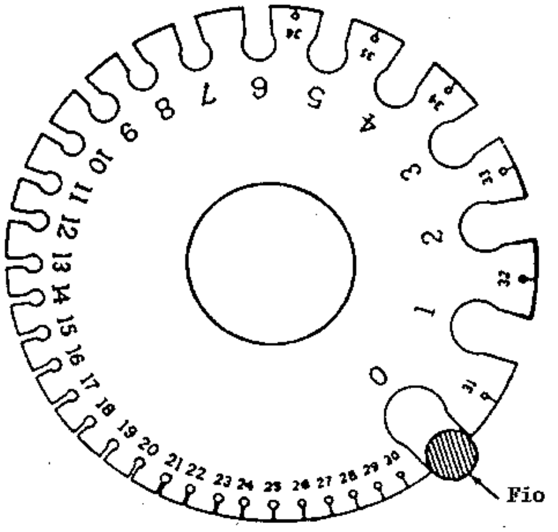


Figura 4-82 Calibre para fio.

Os fios maiores são geralmente trançados para aumentar sua flexibilidade. Em tais casos, a área total pode ser determinada multiplicando-se a área de um fio trançado (geralmente computado em milipolegadas circulares quando o diâmetro ou número da bitola é conhecido) pelo número de fios no cabo trançado.

Fatores que afetam a seleção da bitola do fio

Diversos fatores devem ser considerados na seleção da bitola do fio para transmissão e distribuição de força elétrica.

O primeiro fator é a perda da energia permitida (perda I^2R) na linha. Essa perda representa a energia elétrica transformada em calor.

O uso de condutores maiores reduzirá a resistência e, portanto, a perda de I^2R. Entretanto, os condutores maiores, em princípio, são mais caros do que os menores; eles são mais pesados e necessitam de suportes mais substanciais.

Um segundo fator é a queda de voltagem permitida (queda IR) na linha. Se a fonte mantiver uma voltagem constante na entrada para as linhas, qualquer variação na carga da mesma provocará uma variação na corrente e, conseqüentemente, uma variação da queda IR.

Uma variação extensa da queda IR provoca uma regulagem deficiente de voltagem na carga. A solução óbvia é reduzir a corrente ou a resistência. Uma redução na corrente de carga diminui a potência de saída da energia que está sendo transmitida, enquanto que uma redução na resistência da linha aumenta o tamanho e o peso dos condutores necessários.

Geralmente é alcançado um ponto de equilíbrio, por meio do qual a variação de voltagem na carga permanece dentro dos limites toleráveis, e o peso dos condutores na linha não é excessivo.

Um terceiro fator é a capacidade do condutor de corrente. Quando a corrente passa através do condutor há produção de calor. A temperatura do fio aumenta até que o calor irradiado, ou dissipado, seja igual ao calor gerado pela passagem de corrente através da linha. Se o condutor for isolado, o calor gerado nele não será logo removido, como seria se esse não fosse isolado. Dessa forma, para proteger o isolante de calor excessivo, a corrente através do condutor deve ser mantida abaixo de um certo valor.

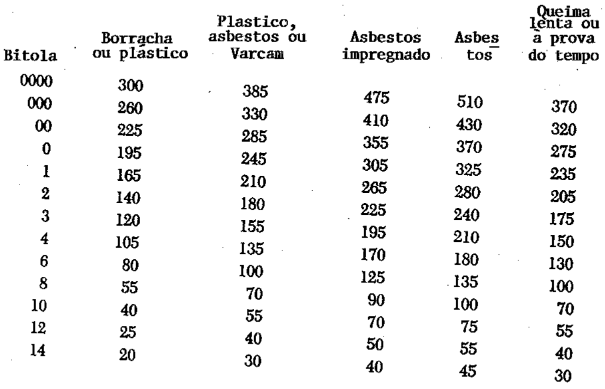
Quando os condutores elétricos se acham instalados em locais onde a temperatura ambiente é relativamente alta, o calor gerado pelas fontes externas constituem uma parte apreciável do aquecimento total do condutor.

Deve ser feita uma compensação pela influência do aquecimento externo sobre a corrente permitida no condutor, e cada caso possui suas próprias limitações específicas. A temperatura máxima de operação permitida nos condutores isolados varia com o tipo de isolante que está sendo utilizado.

Existem tabelas que relacionam os valores de segurança de corrente para as várias bitolas e tipos de condutores, revestidos com diversos tipos de isolantes. A figura 4-83 mostra a capacidade dos condutores simples de cobre em conduzir corrente, em ampères, numa temperatura ambiente abaixo de 30°C. Este exemplo fornece medidas somente para uma relação limitada de bitolas de fios.

Fatores que influenciam a seleção do material condutor

Embora a prata seja o melhor condutor, seu custo limita seu uso a circuitos especiais, onde é necessário um material com alta condutibilidade. Os dois condutores mais comumente usados são o cobre e o alumínio. Cada um possui características próprias que tornam seu uso vantajoso sob certas circunstâncias, porém, possuem também suas desvantagens. O cobre possui maior condutibilidade que o alumínio. Ele é mais dútil (pode ser estirado), possui relativamente alta resistência à tração e pode ser facilmente soldado. É mais caro e pesado do que o alumínio.



Bitola	Borracha ou plástico	Plastico, asbestos ou Varcam	Asbestos impregnado	Asbestos	Queima lenta ou à prova do tempo
0000	300	385	475	510	370
000	260	330	410	430	320
00	225	285	355	370	275
0	195	245	305	325	235
1	165	210	265	280	205
2	140	180	225	240	175
3	120	155	195	210	150
4	105	135	170	180	130
6	80	100	125	135	100
8	55	70	90	100	70
10	40	55	70	75	55
12	25	40	50	55	40
14	20	30	40	45	30

Figura 4-83 Capacidade dos fios no transporte de corrente.

Embora o alumínio possua apenas cerca de 60% da condutibilidade do cobre, é usado extensivamente.

Sua leveza torna possível vãos extensos e seu diâmetro, relativamente grande para uma dada condutibilidade, reduz a corona (a descarga de eletricidade do fio quando ele possui um alto potencial). A descarga é maior quando é usado um fio de diâmetro menor ao invés de um de diâmetro maior.

CARACTERÍSTICAS	COBRE	ALUMÍNIO
Resistência a tensão	55.000	25.000
Resistência a tensão para a mesma condutividade (Ib)	55.000	40.000
Peso para a mesma condutividade (Ib)	100	48
Secção para a mesma condutividade (C.M)	100	160
Resistência especifica (Ω/mil ft.)	10,6	17

Tabela 2 - Características do cobre e do alumínio

Algumas barras de ligação são feitas de alumínio ao invés de cobre, onde existe uma superfície de radiação maior para a mesma condutância. As características do cobre e do alumínio são comparadas na tabela 2.

Queda de voltagem nos fios e nos cabos de um avião

É recomendado que a queda de voltagem nos cabos principais da fonte de força de geração do avião, ou da bateria para a barra, não exceda 2% da voltagem regulada quando o gerador estiver conduzindo uma corrente nominal, ou a bateria estiver sendo descarregada na razão de 5 minutos.

A tabela 3 mostra a queda de voltagem máxima recomendada em circuitos em carga entre a barra e o equipamento de utilização.

QUEDA DE VOLTAREM PERMISSÍVEL		
VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	OPERAÇÃO CONTINUA	OPERAÇÃO INTINERANTE
14	0,5	1
28	1	-----
115	4	8
200	7	14

Tabela 3 - Queda de voltagem máxima recomendada nos circuitos de carga.

A resistência do circuito de retorno de corrente à massa, através da estrutura do avião, é sempre considerada desprezível.

Entretanto, isto se baseia na suposição de que tenham sido proporcionadas adequadas ligações a estrutura ou circuito especial de retorno da corrente elétrica à massa, e que sejam capazes de conduzir a corrente elétrica necessária com uma queda mínima de voltagem.

Uma medida de resistência de 0,005 ohm de um ponto massa do gerador ou da bateria até o terminal massa de qualquer componente elétrico é considerada satisfatória.

Outro método satisfatório de determinar a resistência do circuito é o de verificar a queda de voltagem através do circuito.

Se essa queda não exceder os limites estabelecidos pelo fabricante do componente ou do avião, o valor da resistência para o circuito será considerado satisfatório.

Quando se usar o método de queda de voltagem para verificar um circuito, a voltagem de entrada deverá ser mantida num valor constante.

Instruções para usar o gráfico de fios elétricos

O gráfico da figura 4-84 aplica-se a condutores de cobre conduzindo corrente contínua. As curvas 1, 2 e 3 são traçadas para mostrar a máxima amperagem nominal para o condutor, especificado sob as condições apresentadas.

Para selecionar a bitola correta do condutor, dois requisitos principais devem ser obedecidos: 1) A bitola do fio deve ser suficiente para evitar queda de voltagem excessiva, enquanto estiver conduzindo a corrente devida na distância necessária; 2) A bitola deve ser suficiente para evitar superaquecimento do cabo durante o transporte da corrente devida.

Os gráficos das figuras 4-84 e 4-85 podem simplificar essas determinações.

Para usar esses gráficos a fim de selecionar a bitola apropriada do condutor, deve-se conhecer o seguinte:

1 - O comprimento do condutor em pés.

2 - A quantidade de ampères da corrente a ser conduzida.

3 - O valor da queda de voltagem permitida.

4 - Se a corrente a ser conduzida é intermitente ou contínua e, se contínua, se o condutor é simples ao ar livre, em conduíte ou em chicote.

Suponha-se que seja desejado instalar um condutor a 50 pés da barra do avião para um equipamento num sistema de 28 volts. Para essa distância, uma queda de 1 volt é permitida para operação contínua.

Consultando-se o gráfico da figura 4-84, pode-se determinar o número máximo de pés que um condutor pode ter conduzindo uma corrente específica com uma queda de 1 volt. Nesse exemplo, é escolhido o número 50.

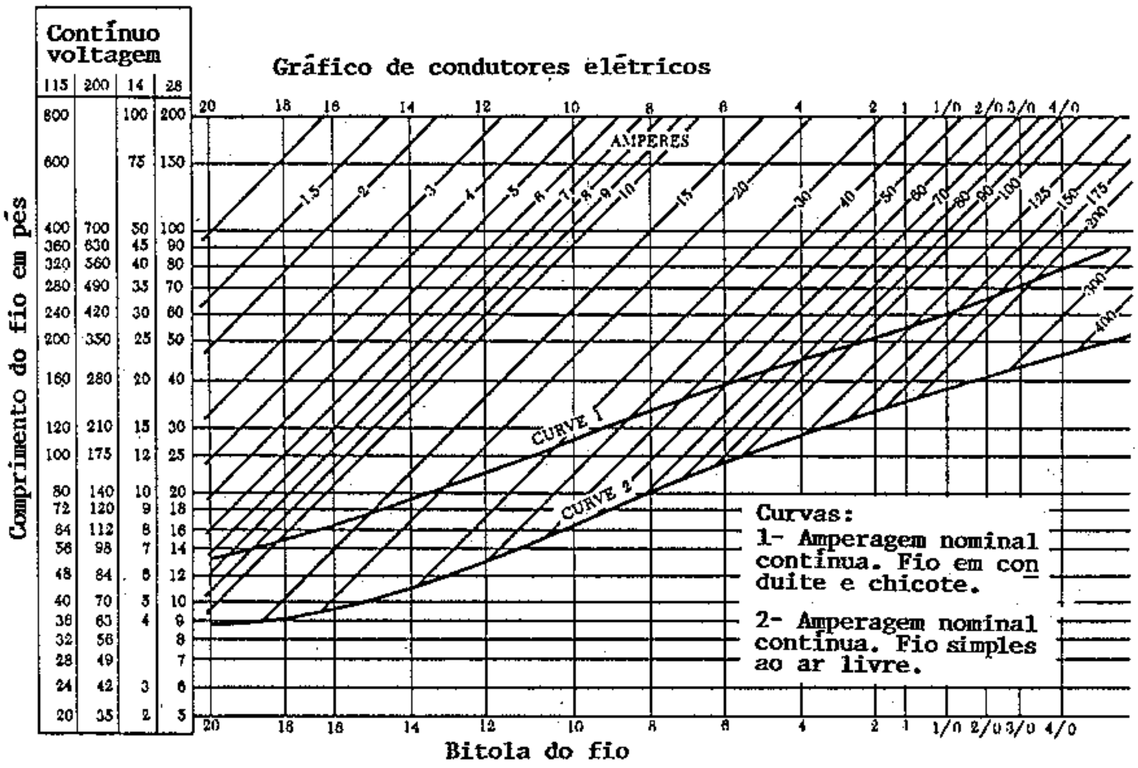


Figura 4-84 Gráfico de condutor fluxo contínuo (aplicável aos condutores de cobre).

Suponha-se que a corrente requerida pelo equipamento seja de 20 ampères. A linha que indica o valor de 20 ampères deve ser selecionada pelas linhas diagonais. Segue-se essa diagonal para baixo até que ela intercepte a linha horizontal de n° 50.

Deste ponto, basta ir direto para baixo do gráfico, para verificar que um condutor entre as bitolas 8 e 10 é necessário para evitar uma queda maior do que 1 volt.

Sendo o valor indicado entre dois números, o de maior bitola, o de n° 8, deve ser selecionado. Esse é o condutor de menor bitola que pode ser usado para evitar uma queda de voltagem excessiva.

Para determinar a bitola do condutor suficiente para evitar superaquecimento, despreza-se ambos os números ao longo do lado esquerdo do gráfico e das linhas horizontais.

Suponha-se que o condutor seja um fio simples exposto ao ar livre que conduz corrente contínua. Localiza-se um ponto no alto do gráfico na diagonal numerada de 20 ampères.

Segue-se esta linha até interceptar a diagonal marcada "curva 2". Agora é só descer desse ponto diretamente até o fundo do gráfico. Esse ponto está entre os números 16 e 18.

A bitola maior de n° 16 deve ser a selecionada. Este é o condutor de menor bitola aceitável para conduzir uma corrente de 20 ampères num fio simples ao ar livre, sem superaquecimento.

Se a instalação se aplicar ao equipamento tendo apenas uma necessidade intermitente (máximo de 2 minutos) de energia, o gráfico da figura 4-84 será usado da mesma maneira.

Isolamento do condutor

As duas propriedades fundamentais dos materiais isolantes (por exemplo, borracha, vidro, amianto ou plástico) são: resistência do isolamento e força dielétrica. Estas são propriedades inteiramente diferentes e distintas.

A resistência do isolamento é a resistência à passagem de corrente, através e ao longo da superfície dos materiais isolantes.

A resistência do isolamento pode ser medida com um megôhmetro sem danificar o isolamento, de modo que a informação obtida sirva como guia para determinar as condições gerais do isolamento.

Entretanto, a informação obtida desta maneira não será um retrato fiel da condição do isolamento.

Isolamento limpo e seco, contendo fendas ou defeitos, pode mostrar um alto valor de resistência, mas não seria adequado para uso.

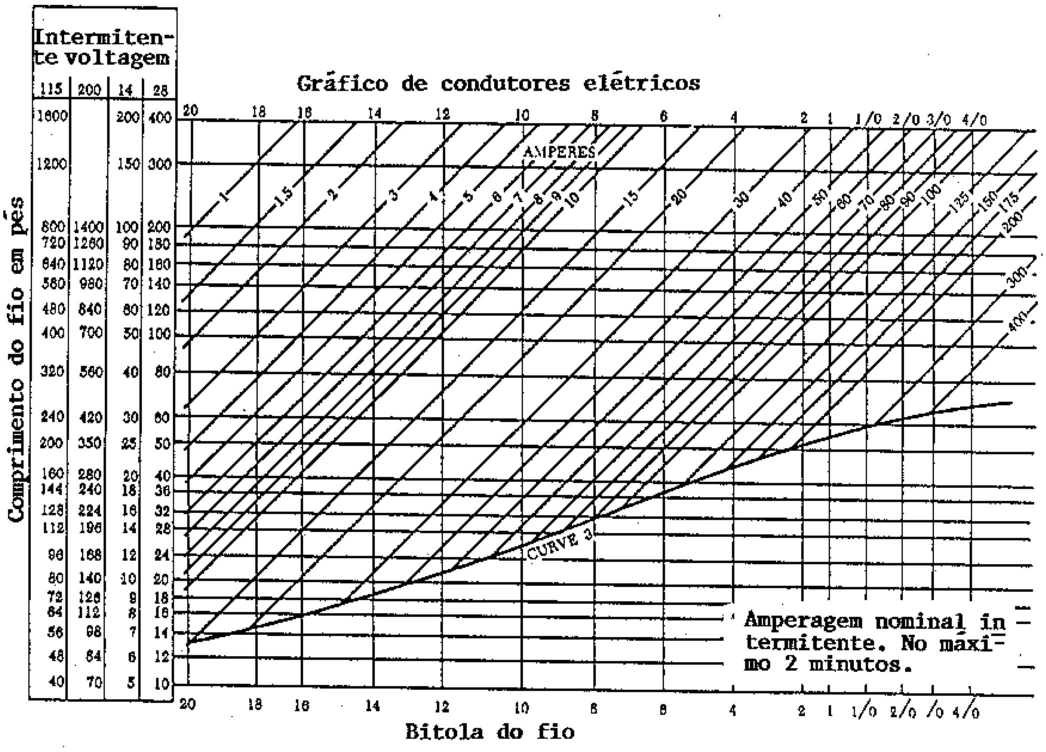


Figura 4-85 Gráfico de condutor fluxo intermitente.

Resistência dielétrica é a propriedade que o isolante possui de suportar a diferença de potencial, e é geralmente expressa em termos de voltagem na qual o isolamento não funciona devido à tensão eletrostática.

A resistência dielétrica máxima pode ser medida aumentando-se a voltagem de uma amostra de teste, até que o isolamento seja rompido.

Devido ao custo do isolamento e seu efeito de endurecimento junto a grande variedade de condições físicas e elétricas, sob as quais os condutores são operados, somente o isolamento mínimo necessário é aplicado para qualquer tipo específico de cabo destinado a desempenhar uma determinada tarefa.

O tipo de material de isolamento do condutor varia com o tipo de instalação. Tais tipos de isolantes como a borracha, seda e papel não são mais usados extensivamente em sistemas de avião. Os mais comuns hoje em dia são o vinil, algodão, náilon, teflon e amianto mineral.

Identificação de fios e cabos

A fiação e os cabos do sistema elétrico de avião podem ser estampados com uma combinação de letras e números para identificar o fio, o circuito a que ele pertence, o número da bitola e, também, outra informação necessária para relacionar o fio ou cabo com um diagrama elétrico. Essas marcas são denominadas código de identificação.

Não há nenhum procedimento padronizado para estampar e identificar a fiação; cada fabricante normalmente desenvolve seu próprio código de identificação. Um sistema de identificação (figura 4-86) mostra o espaçamento usual na marcação de um fio. O número 22 no código refere-se ao sistema no qual o fio se acha instalado, isto é, o sistema de VHF. O conjunto de números seguinte indica que 013 é o do fio e o 18, sua bitola.

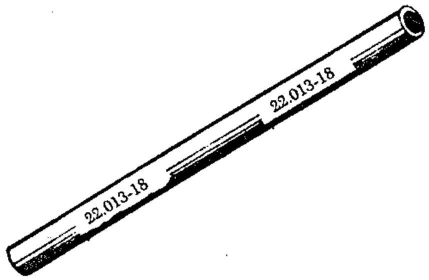


Figura 4-86 Código de identificação de fios.

Alguns componentes do sistema, especialmente os plugues e as tomadas, são identificados por uma letra ou grupo de letras e números, adicionados ao número básico. Essas letras e números podem indicar a localização do componente no sistema.

Os cabos interconectados são também marcados em alguns sistemas para indicar a localização, a terminação correta e a utilização.

Em qualquer sistema a marca deve ser legível e a cor da estampagem deve contrastar com a cor do isolante do fio. Por exemplo, a estampagem preta deve ser usada com um fundo de cor clara, e a branca com um fundo de cor escura.

Os fios são geralmente estampados com intervalos de até 15 polegadas de extensão, e dentro de 3 polegadas de cada junção ou ponto terminal. A figura 4-87 mostra a identificação de fios numa barra de ligação de terminais.

Cabos coaxiais e fios nas barras de ligação de terminais e caixas de junção são geralmente identificados pela estampagem de uma luva nos fios.

Para fiação de um modo geral, é geralmente usada uma luva flexível de vinil, que pode ser clara ou branca opaca. Para aplicações em alta temperatura, é recomendada a luva de borracha de silicone ou de fibra de vidro de silicone. Se a resistência a fluidos hidráulicos sintéticos ou solventes for necessária, a luva de náilon clara ou branca opaca pode ser usada.

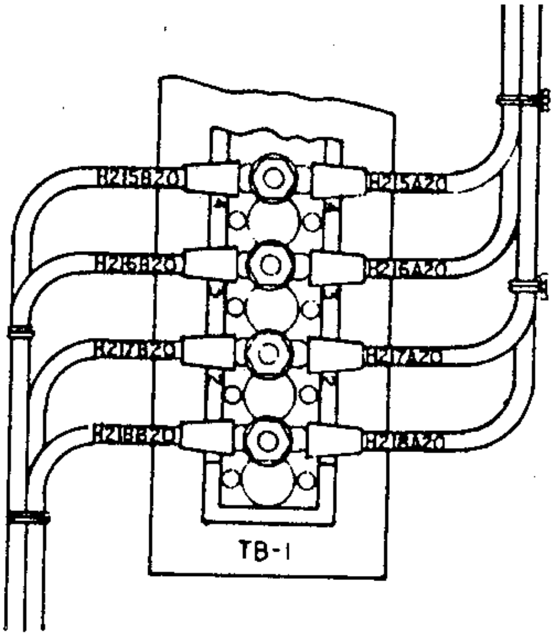


Figura 4-87 Identificação de fios numa barra de terminais.

Embora o método preferido seja estampar a marca de identificação diretamente sobre o fio ou sobre a luva, outros métodos são freqüentemente empregados. A figura 4-88 mostra dois métodos alternativos: um utiliza uma luva estampada amarrada no lugar; o outro utiliza uma fita de pressão.

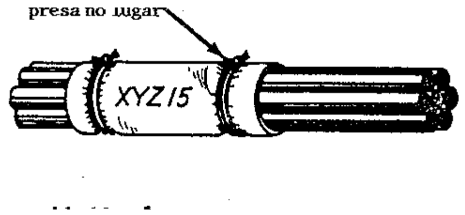


Figura 4-88 Métodos alternativos para identificar chicotes.

Instalação de fiação elétrica

Os seguintes procedimentos recomendados para a instalação da fiação elétrica nos aviões são típicos daqueles usados na maioria dos casos. Para propósito desta descrição, as seguintes definições são aplicáveis:

1) Fiação descoberta - qualquer fio, grupo de fios ou chicote não envolvido por conduíte.

2) Grupo de fios - dois ou mais fios indo para o mesmo local amarrados juntos para manter a identidade do grupo.

3) Chicote - dois ou mais grupos de fios amarrados juntos, porque eles estão indo na mesmo direção para um ponto onde a amarração está localizada.

4) Fiação protegida eletricamente - fios que incluem (no circuito) proteção contra sobrecarga, tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos de limitação.

5) Fiação sem proteção elétrica - fios (geralmente dos geradores até os pontos de distribuição da barra principal) que não possuem proteção, tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos limitadores de corrente.

Grupos de fios e chicotes

Deve-se evitar a formação de chicote ou grupos com certos fios, tais como fiação de força elétrica desprotegida e fiação para duplicação de equipamento vital.

Os chicotes geralmente devem ser limitados em 75 fios, ou 2 polegadas de diâmetro, onde possível.

Quando diversos fios estiverem agrupados em caixas de junção, barras de terminais, painéis, etc., a identidade do grupo de fios no chicote (figura 4-89) pode ser mantida.

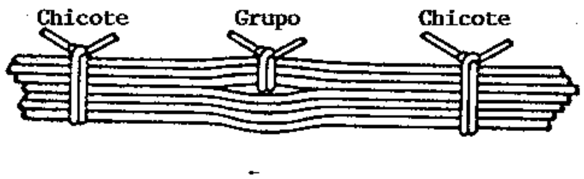


Figura 4-89 Amarrações de grupo de fios e chicotes.

Fios trançados

Quando especificados em desenhos de engenharia, ou quando realizados como uma prática local, os fios paralelos devem, às vezes, ser trançados. Os exemplos que se seguem são os mais comuns:

1) Fiação nas vizinhanças de bússola magnética ou da válvula de fluxo.

2) Fiação de distribuição trifásica.

3) Outros fios (geralmente na fiação para o sistema rádio) como especificado nos desenhos de engenharia.

Trançar os fios de modo que eles se acomodem entre si, formando aproximadamente o número de voltas por pés como mostrado na tabela 4.

Verificar sempre se o isolamento dos fios foi danificado depois de trançados. Se o isolamento estiver rompido ou com desgaste, subtitui-se o fio.

BITOLA DE FIO										
	#22	#20	#18	#16	#14	#12	#10	#8	#6	#4
2FIOS	10	10	9	8	7 1/2	7	6 1/2	6	5	4
3FIOS	10	10	8 1/2	7	6 ½	6	5 ½	5	4	3

Tabela 4 - número recomendado de voltas por pé.

Emendas nos chicotes

As emendas em grupos de fios ou chicotes devem ser localizadas, de modo que elas possam ser inspecionadas facilmente. As mesmas devem ser afastadas umas das outras (figura 4-90), de modo que o chicote não se torne excessivamente grosso. Todas as emendas não isoladas devem ser revestidas com plástico e presas firmemente nas duas extremidades.

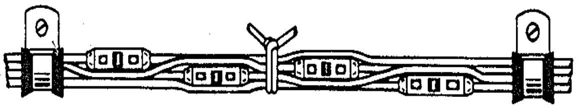


Figura 4-90 Emendas de cabos em um chicote.

Chicotes frouxos

Os fios simples, ou chicotes, não devem ser instalados com frouxidão excessiva.

A frouxidão entre os suportes não deve, normalmente, exceder uma deflexão máxima de ½ polegada com pressão manual (figura 4-91).

Entretanto, esta pode ser excedida se o chicote for fino e as braçadeiras estiverem muito separadas.

A frouxidão nunca deverá ser tão grande que o chicote possa roçar contra qualquer superfície. Uma quantidade suficiente de frouxidão deve ser permitida próximo a cada extremidade de um chicote para:

1) Permitir fácil manutenção.
2) Permitir a substituição dos terminais.
3) Evitar a fadiga mecânica nos fios, junções dos fios e suportes.
4) Permitir livre movimento do equipamento montado contra choque e vibração.
5) Permitir a remoção do equipamento para fins de manutenção.

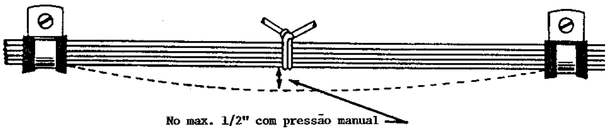


Figura 4-91 Frouxidão do chicote entre os suportes.

Raio de curvatura

As curvaturas nos grupos de fios ou chicotes não devem ser inferiores a 10 vezes do diâmetro externo do grupo.

Entretanto, nas barras de terminais, onde o fio está adequadamente suportado em cada extremidade da curvatura, o diâmetro externo do grupo de fios ou do chicote igual a 3 vezes o diâmetro externo é normalmente aceitável.

Existem, é claro, exceções a estas orientações. É o caso de certos tipos de cabo, como por exemplo, o cabo coaxial que nunca pode ser curvado num raio inferior a 10 vezes do diâmetro externo.

Instalação e encaminhamento

Toda fiação deve ser instalada de modo a ficar firme e com boa aparência. Sempre que possível, os fios e os chicotes devem correr paralelos ou em ângulos retos com as nervuras ou longarinas da área envolvida.

Como exceção desta regra temos o cabo coaxial, que deve ser orientado em linha reta tanto quanto possível.

A fiação deve ser fixada adequadamente em toda sua extensão. Um número suficiente de suportes deve ser instalado para evitar vibração indevida dos trechos sem sustentações. Todos os fios e grupos de fios devem ser direcionados e instalados contra:

1) Fricção ou roçamento.
2) Alta temperatura.
3) Ser usado como alças ou como suporte de pertences pessoais e equipamento.
4) Danos pela movimentação de pessoal no interior do avião.
4) Danos por armazenamento ou movimentação da carga.
6) Danos por vapores, borrifos ou salpicos de ácido da bateria.
7) Danos por solventes ou fluidos.

Proteção contra fricção

Os fios e os grupos de fios devem ser protegidos contra fricção ou roçamento nos locais onde o contato com superfícies pontiagudas ou outros fios possam danificar o isolamento.

Os danos ao isolamento podem provocar curto-circuito, mau funcionamento ou operação indevida do equipamento.

Braçadeiras devem ser usadas para sustentar os chicotes em cada orifício através de um anteparo (figura 4-92).

Se os fios se aproximarem mais de ¼ de polegada da borda do orifício, usa-se um ilhós adequado (figura 4-93).

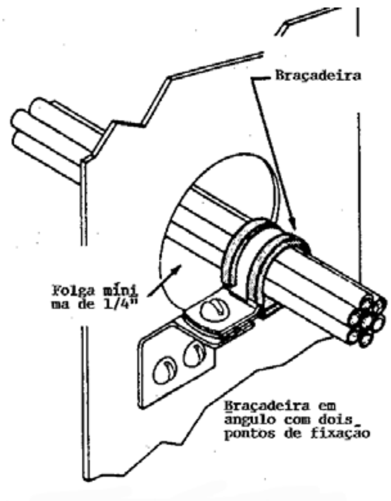


Figura 4-92 Braçadeira de cabo no orifício do anteparo.

Às vezes é necessário cortar o ilhós de náilon ou borracha para facilitar a instalação. Nestas circunstâncias, depois de colocado, o ilhós pode ser mantido no lugar com cola de uso geral. O corte da emenda dele deverá estar na parte superior do orifício, e feito num ângulo de 45° com o eixo do orifício do chicote.

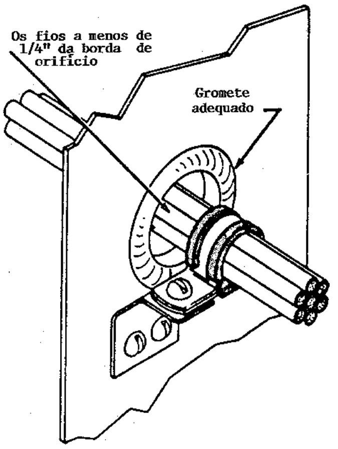


Figura 4-93 Braçadeira de cabo e gromete no orifício de passagem.

Proteção contra alta temperatura

Para evitar deterioração do isolamento, os fios devem ser mantidos afastados de equipamentos de alta temperatura, tais como resistores, tubos de descarga ou dutos de aquecimento. A distância de separação é normalmente especificada pelos desenhos de engenharia.

Alguns fios devem invariavelmente passar através de áreas quentes. Esses fios devem ser isolados com material resistente a altas temperaturas, tal como amianto, fibra de vidro ou teflon. Proteção adicional é também freqüentemente necessária sob a forma de conduítes. Um fio com isolamento de baixa temperatura não deve ser usado para substituir um fio com isolamento de alta temperatura.

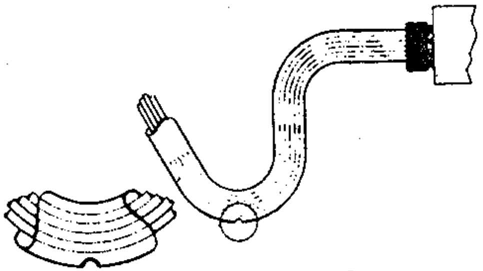
Muitos cabos coaxiais possuem isolamento de plástico mole tal como polietileno, o qual está especialmente sujeito a deformações e deterioração a temperaturas elevadas. Todas as áreas sujeitas a temperaturas elevadas devem ser evitadas ao se instalar esses tipos de cabos.

Proteção adicional contra fricção deve ser fornecida aos fios de amianto envolvidos por um conduíte. Pode ser usado um conduíte com revestimento de borracha de alta temperatura; ou os fios de amianto podem ser envolvidos, individualmente, em tubos plásticos de alta temperatura antes de serem instalados no conduíte.

Proteção contra solventes e fluidos

Os fios não devem ser instalados em áreas onde fiquem sujeitos a estragos por fluidos, ou a menos de 4 polegadas da parte mais baixa da fuselagem do avião, com exceção daqueles que devem atingir aquela área.

Se houver possibilidade do fio ser molhado com fluidos, deverá ser usada uma tubulação plástica para protegê-lo. Essa tubulação deve estender-se através da área em ambos os sentidos, e deve ser amarrada em cada extremidade. Se o fio possuir um ponto baixo entre as extremidades da tubulação, um orifício de dreno de 1/8 de polegada deverá ser feito) nessa área (figura 4-94).



Furo de drenagem de 1/8" de diâmetro na parte mais baixa do tubo. Fazer o furo após completar a instalaçao tendo a parte mais baixa já estabelecida.

Figura 4-94 Orifício de dreno no ponto baixo da tubulação.

Esse orifício deve ser perfurado na tubulação após completar-se a instalação e o ponto baixo, estabelecido pelo uso do perfurador para cortar um meio círculo.

Toma-se cuidado para não danificar qualquer um dos fios no interior da tubulação quando se usa o perfurador.

O fio nunca deve passar por baixo da bateria do avião.

Todos os fios nas proximidades da bateria devem ser inspecionados freqüentemente, e os fios descoloridos pelos gases prejudiciais da bateria devem ser subtituídos.

Proteção dos fios na área do alojamento das rodas

Os fios localizados nos alojamentos das rodas estão sujeitos a diversos problemas adicionais em serviço, tais como: exposição a fluidos, apertos e acentuada flexibilidade.

Todos os chicotes devem ser protegidos por luvas de tubulação flexível, presas firmemente em cada extremidade, e não deve existir nenhum movimento relativo nos pontos onde a tubulação flexível estiver presa.

Esses fios e a tubulação isolante devem ser inspecionados cuidadosamente a intervalos freqüentes e, tanto os fios quanto a tubulação, devem ser substituídos ao primeiro sinal de desgaste.

Não deve haver nenhum esforço nas fixações quando as partes estiverem completamente estendidas, mas a frouxidão não deverá ser excessiva.

Precauções na instalação

Quando a fiação tiver que ser instalada paralelamente a linhas de fluidos combustíveis ou de oxigênio em curtas distâncias, a separação deverá ser mantida tanto maior quanto possível.

Os fios devem estar nivelados com ou acima das tubulações.

As braçadeiras devem ser espaçadas de modo que, se um fio for quebrado em uma braçadeira, ele não entrará em contato com a linha. Onde não for possível uma separação de 6 polegadas, o chicote e a tubulação podem ser fixados na mesma estrutura para impedir qualquer movimento relativo.

Se a separação for menor do que 2 polegadas, porém maior do que ½ polegada, uma luva de polietileno pode ser usada sobre o chicote para proporcionar maior proteção. Além disso, duas braçadeiras de cabo, costas com costas (figura 4-95), podem ser usadas somente para manter uma separação rígida, e não para suportar o chicote.

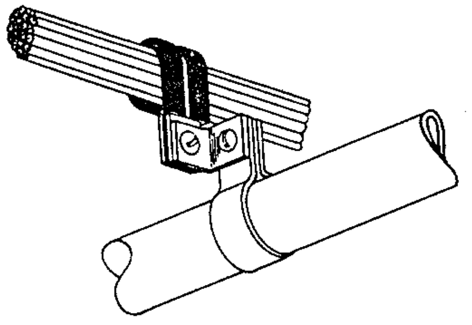


Figura 4-95 Separação entre a fiação e a tubulação.

Nenhum fio pode ser direcionado de modo que fique localizado mais próximo do que ½ polegada de uma tubulação. Nem mesmo um fio ou um chicote pode ser sustentado por tubulação que conduza fluidos inflamáveis ou oxigênio.

A fiação deve ser instalada para manter uma folga mínima de pelo menos 3 polegadas dos cabos de controle. Se isso não puder ser observado, guardas mecânicas deverão ser instaladas para evitar o contato entre a fiação e os cabos de controle.

Instalação das braçadeiras de cabos

As braçadeiras de cabo devem ser instaladas considerando-se o ângulo adequado (figura 4-96).

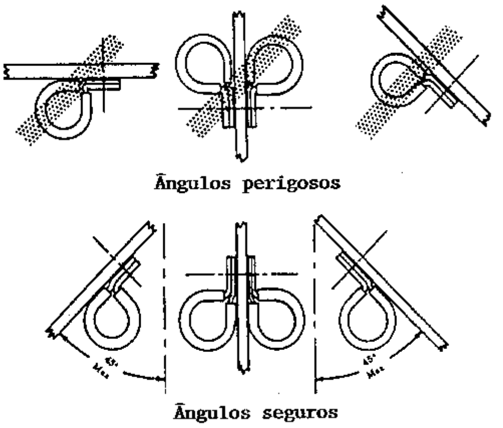


Figura 4-96 Ângulos de montagem adequados para braçadeiras de cabo.

O parafuso de montagem deve estar acima do chicote. É também conveniente que a parte traseira da braçadeira de cabo se apoie contra um membro estrutural, onde e quando for prático.

A figura 4-97 mostra algumas ferragens típicas de montagens usadas na instalação das braçadeiras de cabo.

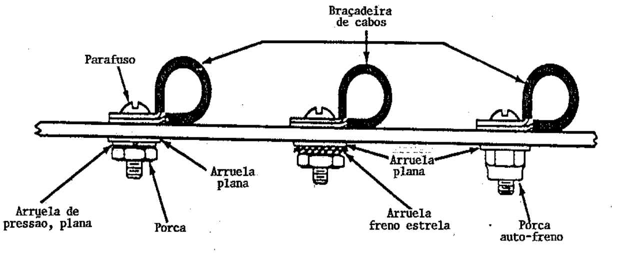

Braçadeira de cabos
Parafuso
Arruela plana
Arruela plana
Arruela de pressao, plana
Porca
Arruela freno estrela
Porca auto-freno

Figura 4-97 Ferragens típicas de montagem para braçadeiras de cabo.

É preciso atenção para que os fios não fiquem comprimidos nas braçadeiras de cabo. Onde possível, instala-se os cabos diretamente aos membros estruturais (figura 4-98).

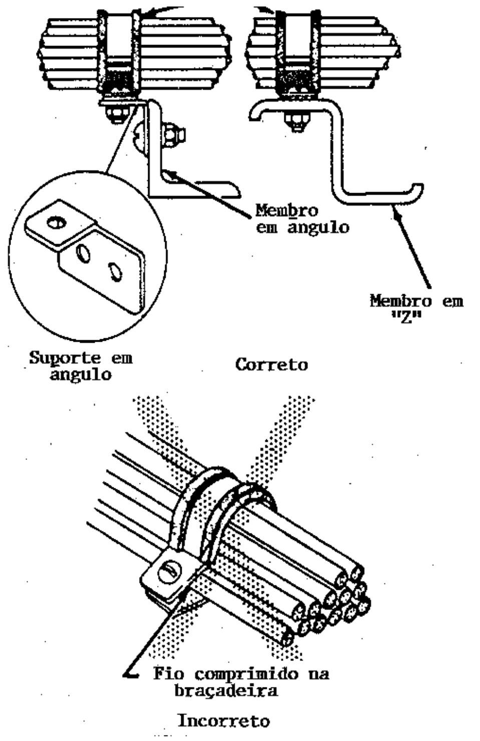

Membro em angulo
Membro em "Z"
Suporte em angulo
Correto
Fio comprimido na braçadeira
Incorreto

Figura 4-98 Montagem da braçadeira de cabo na estrutura.

As braçadeiras podem ser usadas com proteção de borracha, para prender os chicotes às estruturas tubulares (figura 4-99).

Essas braçadeiras devem se adaptar firmemente, mas não devem ser deformadas quando fixadas no lugar.

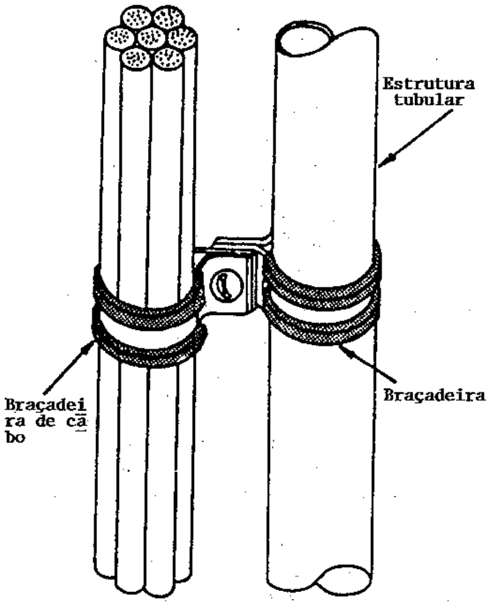

Estrutura tubular
Braçadeira de cabo
Braçadeira

Figura 4-99 Instalação da braçadeira de cabo na estrutura tubular.

AMARRAÇÃO E LAÇAGEM DOS CHICOTES

Os grupos de fios e chicotes são amarrados, ou laçados, com cordão para tornar mais fácil a instalação, manutenção e inspeção. Esta seção descreve e ilustra os procedimentos recomendados para amarrar e laçar os fios com nós, que se manterão firmemente sob todas as condições. A finalidade dessa apresentação definimos os seguintes termos:

1) Laçagem é prender junto um grupo de fios ou um chicote através de pedaços individuais de cordão, amarrados em volta daqueles em intervalos regulares.

2) Amarração é prender junto um grupo de fios ou um chicote por um pedaço contínuo de cordão, formando laços em intervalos regulares em volta daqueles.

3) Um grupo de fios é constituído de dois ou mais fios amarrados ou laçados juntos para identificar um sistema individual.

4) Um chicote é constituído de dois ou mais grupos de fios amarrados ou laçados juntos para facilitar a manutenção.

O material usado para laçar ou amarrar é um cordão de náilon ou de algodão. O cordão de náilon é resistente à umidade e fungos, mas o cordão de algodão deve ser encerado antes de ser usado, para que adquira as características necessárias de proteção.

Amarração com cordão inteiriço

A figura 4-100 mostra o processo gradual de amarração do chicote com um cordão inteiriço.

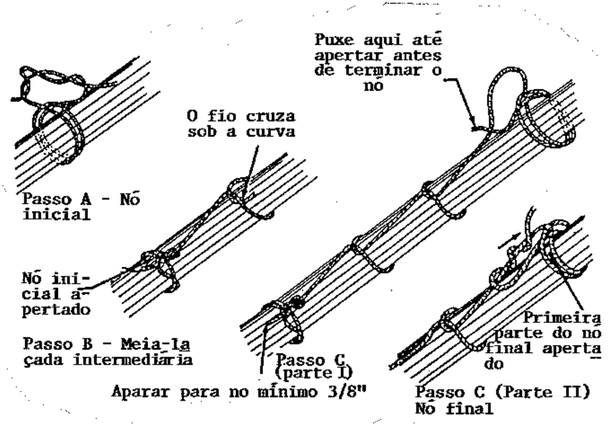

Puxe aqui até apertar antes de terminar o nó
O fio cruza sob a curva
Passo A - Nó inicial
Nó inicial apertado
Passo B - Meia-laçada intermediária
Passo C (parte I)
Aparar para no mínimo 3/8"
Primeira parte do nó final apertado
Passo C (Parte II) Nó final

Figura 4-100 Amarração com cordão inteiriço.

A amarração é iniciada na extremidade espessa do grupo de fios ou chicote com nó, denominado "nó de porco" com um laço extra. A amarração é então continuada com meias laçadas em intervalos regulares ao longo do chicote e a cada ponto onde um fio ou um grupo de fios se ramificam.

As meias laçadas devem ser espaçadas, de modo que o chicote apresente bom aspecto e segurança.

A amarração termina com um "nó de porco" e um laço extra. Após apertar o nó, as extremidades livres do cordão devem ser aparadas em aproximadamente 3/8 de polegada.

Amarração com cordão duplo

A figura 4-101 ilustra o processo de amarração com cordão duplo.

A amarração é iniciada na extremidade mais espessa do chicote com um nó tipo "laçada" ("A" da figura 4-101).

Em intervalos regulares ao longo do chicote, e em cada ponto onde um fio se ramifica, a amarração continua usando meias-laçadas, com ambos os cordões firmemente juntos.

As meias-voltas devem ser espaçadas de modo que o chicote apresente bom aspecto e segurança.

A amarração termina com um nó de meia-volta, continuando um dos cordões no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, e amarra-se as extremidades com um nó quadrado. As extremidades livres dos cordões de amarração devem ser aparadas em aproximadamente 3/8 de polegada.

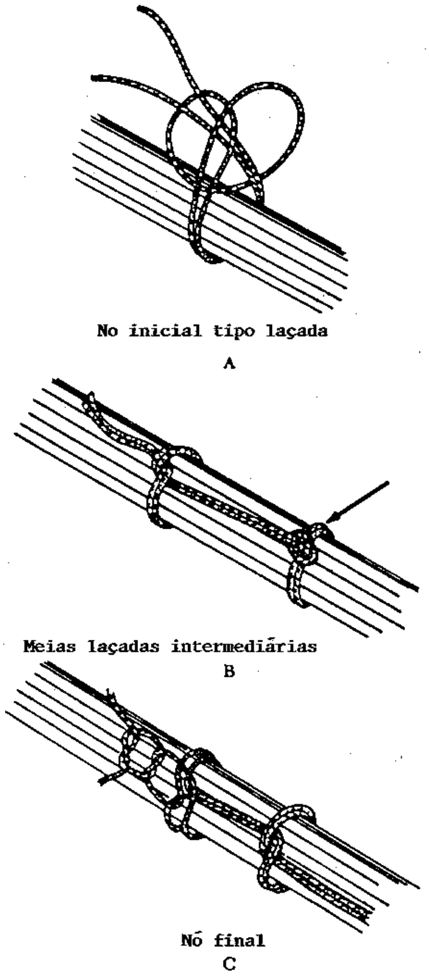

No inicial tipo laçada
A
Meias laçadas intermediárias
B
Nó final
C

Figura 4-101 Amarração com cordão duplo.

Amarração de ramificações

A figura 4-102 ilustra um procedimento recomendado para amarrar um grupo de fios que ramifica do chicote principal.

A amarração do grupo de fios começa com um nó localizado no chicote logo após o ponto de ramificação.

Ela é continuada ao longo do grupo de fios ramificados, usando meias-voltas regularmente espaçadas.

Se for usado o cordão duplo, ambos os cordões devem ser mantidos apertados juntos.

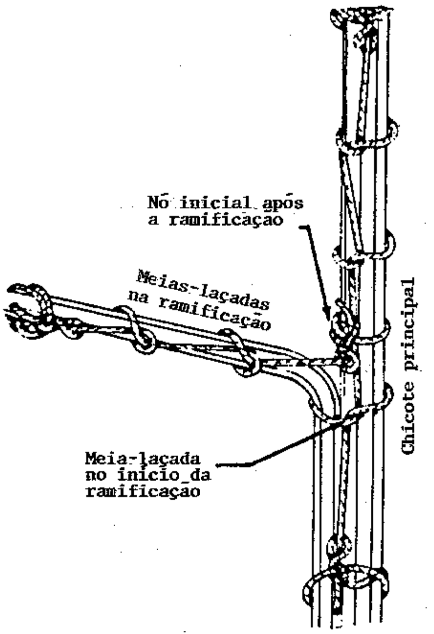

Nó inicial após a ramificação
Meias-laçadas na ramificação
Meia-laçada no início da ramificação
Chicote principal

Figura 4-102 Amarração de uma ramificação.

As meias-voltas devem ser espaçadas para amarrar o grupo de fios com bom aspecto e segurança. A amarração é terminada com o nó final regular usado na amarração de cordão inteiriço ou duplo. As extremidades livres do cordão devem ser aparadas corretamente.

Enlaçe

Todos os grupos de fios ou chicotes devem ser enlaçados onde os suportes estiverem com mais de 12 polegadas de distância. As laçadas são feitas usando-se cordão de algodão encerado, cordão de nylon ou de fibra de vidro.

Alguns fabricantes permitem o uso de uma fita de vinil, sensível à pressão e própria para equipamentos elétricos. Quando for possível, a fita deverá ser enrolada três voltas em torno do chicote, e o final deve ser selado para evitar que a fita desenrole.

A figura 4-103 ilustra um procedimento recomendado para laçar um chicote. O laço é iniciado passando-se o cordão em volta do chicote fazendo um "nó de porco".

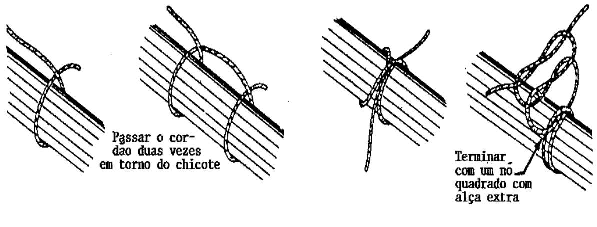

Passar o cordão duas vezes em torno do chicote
Terminar com um nó quadrado com alça extra

Figura 4-103 Laçando um chicote.

Depois de um nó quadrado com uma alça extra é amarrado, e as extremidades livres do cordão são aparadas.

. Laços temporários são, às vezes, usados para formar e instalar grupos de fios e chicotes. O cordão colorido é normalmente usado para fazer laços temporários, visto que eles serão retirados assim que a instalação estiver completa

Sejam laçados ou amarrados, os chicotes devem estar seguros para evitar deslizamento, mas não tão fortemente que o cordão chegue a cortar ou deformar o isolamento. Isto se aplica especialmente ao cabo coaxial, que possui um isolamento dielétrico mole entre o condutor interno e o externo.

A parte de um chicote localizada no interior de um conduíte não é amarrada ou laçada, mas os grupos de fios ou chicotes dentro de partes fechadas, tais como caixas de junção, devem ser apenas laçados.

CORTE DE FIOS E CABOS

Para tornar mais fácil a instalação, manutenção e o conserto, os cabos e fios instalados num avião são interrompidos em locais específicos por junções, tais como conectores, blocos terminais ou barras. Antes de serem instalados nestas junções, os fios e cabos devem ser cortados no comprimento adequado.

Todos os fios e cabos devem ser cortados na extensão especificada nos desenhos ou nos diagramas elétricos.

+.O corte deve ser feito cuidadosamente e, o fio ou o cabo, não devem ser deformados. Se necessário, um fio de bitola grande deve ser retocado depois do corte.

Bons cortes podem ser feitos somente se as lâminas das ferramentas estiverem afiadas e sem dentes.

Uma lâmina cega (sem corte) deformará e deslocará as extremidades do fio.

DESENCAPAMENTO DE FIOS E CABOS

Praticamente todos os fios e cabos utilizados como condutores elétricos possuem algum tipo de isolamento.

Antes que o fio possa ser instalado nos conectores, terminais, emendas, etc., o isolamento deve ser desemcapado nas extremidades de conexão para expor o fio nu.

O fio de cobre pode ser desencapado de várias maneiras, dependendo da bitola e do isolamento.

A tabela 5 apresenta alguns tipos de ferramentas desencapadoras recomendadas para várias bitolas de fios e tipos de isolamento.

DESCASCADOR	BITOLA	ISOLANTE
Térmico	#26---#4	TODOS MENOS AMIANTO
Elétrico	#26---#4	TODOS
Debaricata	#20---#6	TODOS
Manual	#26---#8	TODOS
Tipo faca	#2---#0000	TODOS

Tabela 5 - Desencapadores de fio de cobre.

O fio de alumínio deve ser desencapado muito cuidadosamente, usando cuidado extremo, visto que as pernas quebrar-se-ão facilmente após terem sido apertadas.

As seguintes precauções são recomendadas quando é desencapado qualquer tipo de fio:

1) Ao se usar qualquer tipo de desencapador, segure o fio de modo que fique perpendicular às lâminas de corte.

2) Ajustar as ferramentas desencapadoras automáticas cuidadosamente. Seguir as instruções do fabriante para evitar incisões, cortes ou, de algum modo, danificar as pernas dos fios. Isto é muito importante para os fios de alumínio e para os fios de cobre de bitola menor do que a n° 10. Examinar os fios desencapados quanto a avarias. Cortar e desencapar novamente (se a extensão for suficiente), ou rejeitar e substituir qualquer fio tendo mais do que o número permitido de incisões ou pernas quebradas, como mencionado na lista de instruções do fabricante.

3) Ter a certeza de que o isolamento possui um corte definido sem bordas esgarçadas ou ásperas. Aparar se necessário.

4) Ter a certeza de que todo o isolamento foi retirado da área desencapada. Alguns tipos de fio são fornecidos com uma camada transparente de isolante entre o condutor e o isolamento primário. Se este estiver presente, retirá-lo.

5) Ao fazer uso de alicates desencapadores para retirar extensões de isolamento maiores do que ¾ de polegada, é mais fácil executá-lo em duas ou mais operações.

6) Retorcer as pernas de cobre manualmente ou com um alicate, se necessário, para restaurar a camada natural e a rigidez das pernas.

A figura 4-104 mostra um alicate desencapador de fio. Esta ferramenta é usada geralmente para desencapar a maior parte dos tipos de fio.

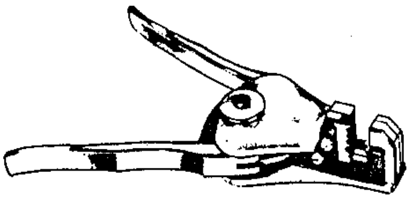


Figura 4-104 Desencapador manual de fios.

Os itens seguintes descrevem os procedimentos para desencapar o fio com um alicate (ver a figura 4-105).

1) Colocar o fio no meio exato da fenda cortante correspondente à bitola do fio a ser desencapado. Cada fenda está marcada com a bitola do fio.

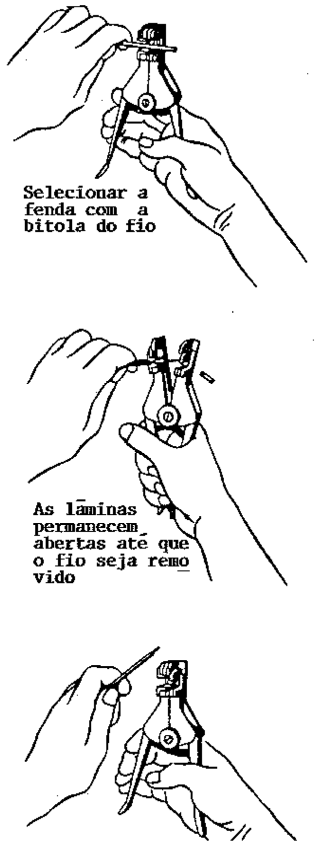

Selecionar a fenda com a bitola do fio
As lâminas permanecem abertas até que o fio seja removido

Figura 4-105 Desencapando o fio com o desencapador manual.

2) Apertar os punhos tanto quanto possível.

3) Soltar os punhos, permitindo que o prendedor do fio retorne à posição aberta.

4) Retirar o fio desencapado.

Terminais e emendas sem solda

A emenda do cabo elétrico deve ser mantida num mínimo, e totalmente evitada em locais sujeitos às vibrações externas.

Os fios individuais num grupo de fios ou em um chicote podem ser geralmente emendados, desde que toda a emenda seja localizada de modo que ela possa ser inspecionada periodicamente.

As emendas devem ser espaçadas para que o grupo de fios não se torne excessivamente grosso. Diversos tipos de conectores de emenda são utilizados para a emenda de fios individuais.

Os conectores de emenda auto-isolante geralmente são os mais preferidos; entretanto, um conector de emenda não isolado pode ser usado se a emenda for revestida com luva plástica presa nas duas extremidades.

As emendas de solda podem ser usadas, mas elas são geralmente inseguras e não recomendáveis.

Os fios elétricos possuem um acabamento com alça de terminal sem solda para permitir uma conexão fácil e eficiente, e para a desconexão dos blocos terminais, barras de ligação, ou outro equipamento elétrico.

As emendas sem solda ligam os fios elétricos para formar um circuito contínuo permanente.

As alças de terminal sem solda e as emendas são feitas de cobre ou alumínio, e são pré-isoladas ou não isoladas, dependendo da aplicação desejada.

As alças de terminal são geralmente encontradas em três tipos, para serem usadas em condições e locais diferentes. Essas alças são do tipo bandeirola, reta e em ângulo reto. Os terminais são estampados com os fios por meio de alicates de estampagem manual ou máquinas de estampagem.

A explanação seguinte descreve os métodos recomendados para acabamentos de fios de cobre ou alumínio, utilizando terminais sem solda. Ela ainda descreve o método de emenda dos fios de cobre usando emendas sem solda.

Terminais de fio de cobre

Os fios de cobre possuem um acabamento com terminais de cobre reto pré-isolados sem solda. O isolamento é parte do terminal e se estende ao longo do seu cilindro, de modo que revestirá uma parte do isolamento do fio, tornando desnecessário o uso de uma luva isolante (figura 4-106).

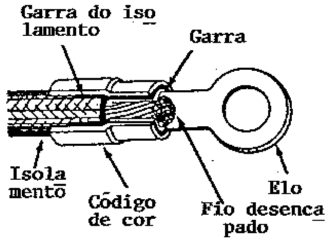


Figura 4-106 Terminal pré-isolado.

Além disso, os terminais pré-isolados possuem uma garra (uma luva de reforço metálico) embaixo do isolamento, para reforço de aperto extra sobre o isolamento do fio.

Os terminais pré-isolados adaptam-se a mais de uma bitola de fio, o isolamento geralmente possui um código colorido cuja finalidade é identificar as bitolas dos fios, cujos acabamentos podem ser executados com cada terminal.

Ferramentas de estampagem

Existem ferramentas portáteis, manuais e elétricas, bem como máquinas elétricas de bancada, para estampagem dos terminais. Essas ferramentas prendem o cilindro do terminal ao condutor e, simultaneamente, prendem a garra isolante ao isolante do fio.

Todas as ferramentas de estampagem manual possuem uma catraca auto-frenante, que evita a abertura da ferramenta até que a estampagem esteja pronta. Algumas ferramentas de estampagem manual são equipadas com um jogo de diversas estampas para adaptar os tamanhos diferentes de terminais.

Outras são usadas com um tamanho único de terminal.

Todos os tipos de ferramentas de estampagem manual são verificadas pelos calibradores para ajuste adequado nas mandíbulas de aperto.

A figura 4-107 mostra um terminal introduzido numa ferramenta manual.

Os itens abaixo descrevem como proceder durante a estampagem:

1) Desencapar o fio na extensão adequada;

2) Enfiar o terminal, começando pela alça, nas mandíbulas de aperto da ferramenta, até que a alça do terminal encoste no batente da ferramenta;

3) Instalar o fio desencapado no cilindro do terminal até que o isolamento do fio encoste na extremidade do cilindro;

4) Apertar os punhos da ferramenta até que a catraca seja liberada;

5) Retirar o conjunto completo, e examiná-lo quanto à estampagem adequada.

Alguns tipos de terminais não-isolados-anteriormente são isolados após a instalação num fio, por meio de tubos flexíveis transparentes denominados luvas.

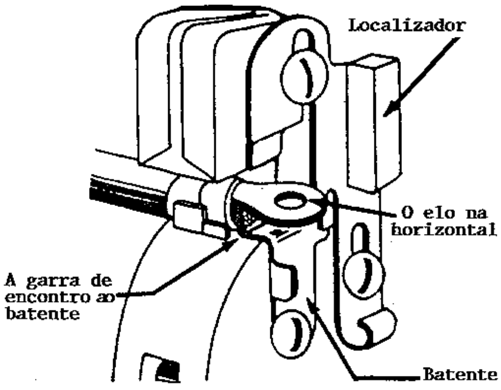

Localizador
O elo na horizontal
A garra de encontro ao batente
Batente

Figura 4-107 Inserindo o terminal na ferramenta manual.

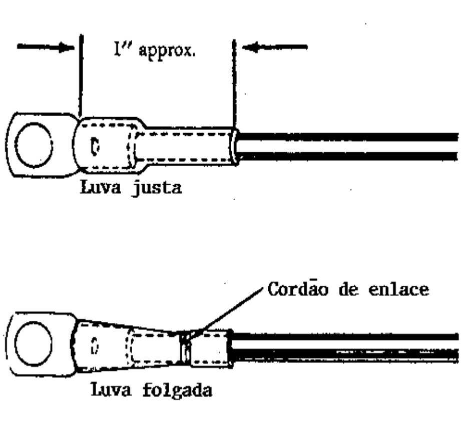

1" approx.
Luva justa
Cordão de enlace
Luva folgada

Figura 4-108 Luva isolante.

A luva proporciona proteção elétrica e mecânica à conexão.

Quando o tamanho da luva usada for o ideal para que ela se ajuste firmemente sobre o cilindro do terminal, a luva não precisa de aperto; caso contrário, ela deve ser laçada com um cordão, como ilustrado na figura 4-108.

Terminais de alumínio

O uso do fio de alumínio nos sistemas de aeronaves está aumentando devido à vantagem de seu peso sobre o do cobre.

Entretanto, a dobradura freqüente do alumínio provoca fadiga do metal tornando-o quebradiço. Isso resulta em falha ou rompimento das pernas dos fios mais rápido do que num caso semelhante com fio de cobre.

O alumínio também forma uma película de óxido altamente resistente assim que exposto ao ar. Para compensar estas desvantagens, é importante que sejam usados os mais confiáveis procedimentos de instalação.

Somente as alças de terminal de alumínio são usadas para acabamento dos fios. Elas são geralmente encontradas em 3 (três) tipos: (1) Retos; (2) Ângulo Reto; e (3) Bandeira. Todos os terminais de alumínio possuem um furo de inspeção (figura 4-108) onde se verifica a profundidade da inserção do fio. O cilindro do terminal de alumínio contém um composto de pó de petrolato de zinco.

Esse composto retira a camada muito fina do óxido de alumínio através do processo de abrasão, durante a operação de estampagem.

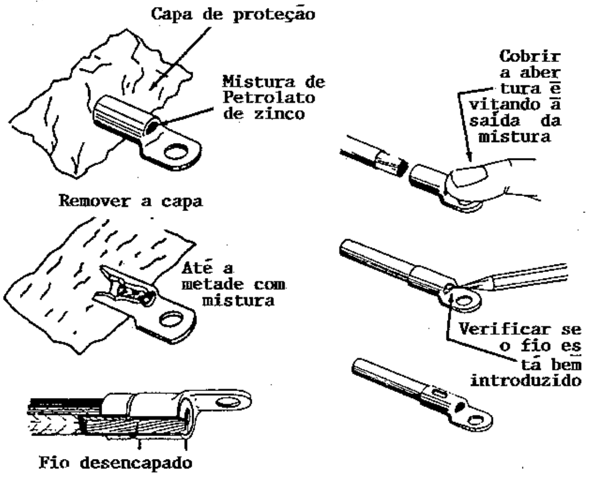

Capa de proteção
Mistura de Petrolato de zinco
Cobrir a abertura evitando a saída da mistura
Remover a capa
Até a metade com mistura
Verificar se o fio está bem introduzido
Fio desencapado

Figura 4-109 Introdução de fio de alumínio em terminal de alumínio.

O composto também diminuirá, mais tarde, a oxidação pela eliminação da umidade do ar. O composto é retido na parte interna do cilindro do terminal por um plástico ou um selante de alumínio na sua extremidade.

Emenda de fios de cobre usando emendas pré-isoladas

As emendas de cobre permanente pré-isoladas unem fios pequenos de bitola 22 até 10. Cada tamanho de emenda pode ser usado para mais de uma bitola de fio. As emendas são isoladas com plástico branco; elas também são usadas para reduzir as bitolas dos fios (figura 4-110).

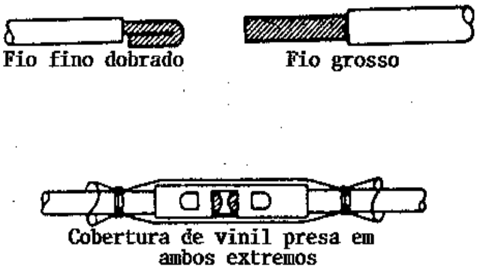


Figura 4-110 Redução da bitola do fio com uma emenda permanente.

As ferramentas de estampagem são usadas para realizar esse tipo de emenda. Os procedimentos de estampagem são semelhantes aos usados para os terminais, excetuando-se que o aperto deve ser feito duas vezes, uma para cada extremidade da emenda.

EMENDAS DE EMERGÊNCIA

Os fios quebrados podem ser consertados através de emendas de estampagem, usando um terminal do qual a alça foi cortada, ou soldando as pernas quebradas, e aplicando o composto condutor antioxidante.

EsSes consertos são aplicáveis ao fio de cobre; já o fio de alumínio danificado não deve ser emendado temporariamente.

As emendas são usadas somente em caso de emergência temporária, e devem ser substituídas, logo que seja possível, fazer consertos permanentes.

Visto que alguns fabricantes proibem a emenda, as instruções fornecidas por eles devem ser consultadas permanentemente.

Emenda com solda e composto condutor/antioxidante

Quando não houver disponibilidade de nenhuma emenda permanente ou nenhum terminal, um fio quebrado pode ser emendado da seguinte maneira (figura 4-111):

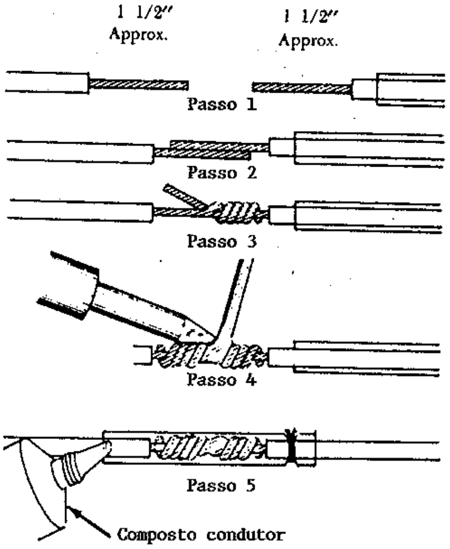


Figura 4-111 Soldando um fio quebrado.

1) Instalar um pedaço de luva plástica com 3 polegadas de comprimento e de diâmetro apropriado para adaptar-se frouxamente sobre o isolamento, num dos lados do fio quebrado.

2) Desencapar aproximadamente 1 ½ polegada de cada extremidade do fio quebrado.

3) Colocar as extremidades desencapadas lado a lado, e enrolar um fio ao redor do outro com aproximadamente quatro voltas.

4) Enrolar a extremidade livre do segundo fio ao redor do primeiro com aproximadamente 4 voltas. As voltas de fio são soldadas juntas, usando uma solda de 60/40 estanho chumbo com núcleo de resina.

5) Quando a solda estiver fria, puxar a luva sobre os fios soldados e amarrá-la numa das extremidades. Se o composto condutor antioxidante estiver disponível, encher a luva com esse material, e amarrar firmemente a outra extremidade.
6) Permitir que o composto permaneça sem ser tocado durante 4 horas. A cura completa e as características elétricas são atingidas em 24 horas.

CONEXÃO DE TERMINAIS A BLOCOS TERMINAIS

Os terminais devem ser instalados sobre os blocos terminais, de modo que eles sejam presos contra o movimento no sentido de afrouxamento (figura 4-112).

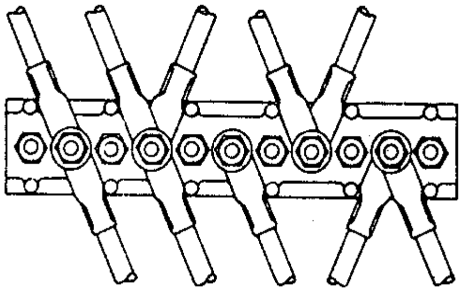


Figura 4-112 Conexão de terminais a bloco de terminais.

Os blocos terminais são geralmente equipados com estojos retidos por uma arruela lisa, uma arruela-freno e uma porca. Ao conectar os terminais, a prática recomendada é colocar a alça dos terminais de cobre diretamente sobre a porca, seguida por uma arruela lisa e uma porca autofrenante, ou uma arruela lisa, arruela-freno de aço e uma porca comum.

Os terminais de alumínio devem ser instalados sobre arruelas lisas com banho de latão, seguida por outra arruela igual, uma arruela-freno de aço e uma porca comum ou autofrenante.

A arruela lisa deve possuir um diâmetro igual a largura da alça do terminal de alumínio. As instruções fornecidas pelo fabricante concernentes às dimensões dessas arruelas devem ser consultadas.

Não se instala nenhuma arruela entre os dois terminais de alumínio, ou entre dois terminais de cobre.

Além disso, não se instala uma arruela-freno junto a um terminal de alumínio.

Para unir um terminal de cobre a um terminal de alumínio, coloca-se uma arruela lisa com banho de latão sobre a porca que mantém o estojo no lugar; e depois o terminal de alumínio, seguido por uma arruela lisa com banho de latão, um terminal de cobre, uma arruela lisa, uma arruela-freno de aço e uma porca comum ou auto-frenante.

Como regra geral, usa-se uma chave dinamométrica para apertar as porcas, a fim de assegurar pressão de contato suficiente.

As instruções do fabricante fornecem torques de instalação para todos os tipos de terminais.

LIGAÇÃO À MASSA

Ligação à massa é a ligação elétrica de um objeto condutor com a estrutura primária completando o caminho de retorno da corrente. As estruturas primárias são a fuselagem e as asas do avião, comumente denominadas como massa ou terra. A ligação à massa é encontrada nos sistemas elétricos do avião, para:

1) Proteger o avião e o pessoal contra descarga de raio.

2) Proporcionar caminhos de retorno da corrente.

3) Evitar o desenvolvimento de potenciais de radio-freqüência.

4) Proteger o pessoal contra choques.

5) Proporcionar estabilidade de transmissão e recepção do rádio.

6) Evitar a acumulação de carga estática.

Procedimentos gerais para ligação à massa

Os procedimentos gerais e as precauções seguintes são recomendadas quando forem feitas ligações à massa:

1) Ligar as partes à massa através da estrutura primária do avião, e onde for mais adequado.

2) Fazer as conexões de massa de modo que nenhuma parte da estrutura do avião seja enfraquecida.

3) Ligar as partes à massa individualmente, se possível.

4) Instalar as ligações à massa sobre superfícies lisas e limpas.

5) Instalar as ligações à massa, de modo que a vibração, expansão ou contração, ou o movimento relativo em operação normal não quebre ou afrouxe a conexão.

6) Instalar as conexões à massa em áreas protegidas sempre que for possível

As ligações à massa devem ser mantidas tão próximas quanto possível; ela não deve interferir na operação dos elementos móveis do avião tais como superfícies de controle.

O movimento normal destes elementos não deve resultar em avaria na ligação à massa.

A ação eletrolítica pode corroer rapidamente uma ligação à estrutura se não forem observadas as precauções adequadas.

As ligações de liga de alumínio são recomendadas para a maioria dos casos; entretanto, as de cobre podem ser usadas para unir as partes feitas de aço inoxidável, aço com banho de cádmio, cobre latão ou bronze.

Onde o contato entre metais diferentes não possa ser evitado, a escolha da ligação e das ferragens deve ser tal que a corrosão seja reduzida, e a parte que mais provavelmente sofrerá corrosão seja a ligação ou a ferragem associada. As partes A e B da figura 4-113 mostram algumas combinações para fazer as conexões de ligação à estrutura.

Em locais onde o acabamento é removido, uma camada protetora deve ser aplicada à conexão completa, para evitar corrosão.

O uso de solda para fixar as conexões deve ser evitado.

Os membros tubulares devem ser ligados por meio de braçadeiras às quais a conexão está fixada.

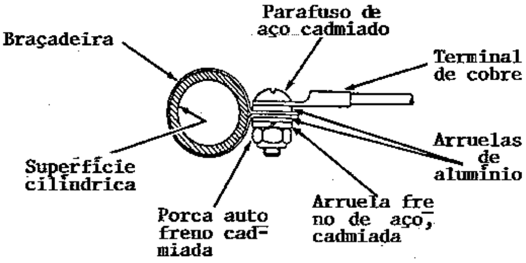
A escolha correta do material de braçadeira diminui a probabilidade de corrosão. Quando as ligações à estrutura conduzirem uma corrente de retorno de intensidade substancial, a capacidade de corrente da conexão deve ser adequada, e deverá ser determinado que seja produzida uma queda de voltagem insignificante.

As ligações à massa são geralmente feitas em superfícies planas, furadas por meio de parafusos onde existe fácil acesso para instalação. Outros tipos gerais de conexões aparafusadas são as seguintes:

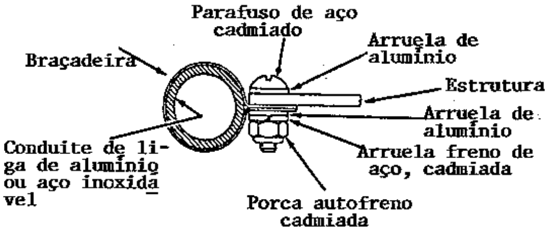
A. Conexão de junção de cobre à estrutura tubular;

B. Fixação do conduíte à estrutura;

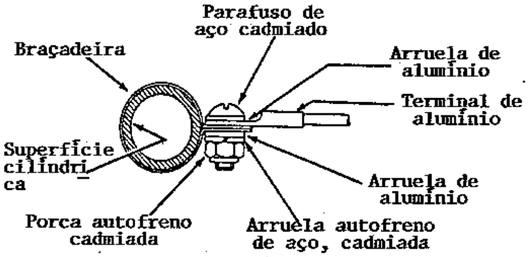
C. Conexão de junção de alumínio à estrutura tubular.


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Terminal de cobre
Arruelas de alumínio
Superfície cilíndrica
Porca autofreno cadmiada
Arruela freno de aço, cadmiada

A - Terminal de cobre conectado à estrutura tubular


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Arruela de alumínio
Estrutura
Arruela de alumínio
Conduite de liga de alumínio ou aço inoxidável
Arruela freno de aço, cadmiada
Porca autofreno cadmiada

B - Fixando um conduite na estrutura


Parafuso de aço cadmiado
Braçadeira
Arruela de alumínio
Terminal de alumínio
Superfície cilíndrica
Arruela de alumínio
Porca autofreno cadmiada
Arruela autofreno de aço, cadmiada

C - Terminal de alumínio conectado à estrutura tubular

Figura 4-113 Combinações de ferragens para fazer conexões à estrutura.

1) Na confecção de uma conexão estojo (figura 4-114), um parafuso é preso firmemente à estrutura, tornando-se assim um estojo. As ligações à massa podem ser retiradas ou acrescentadas à espiga, sem retirar o estojo da estrutura.

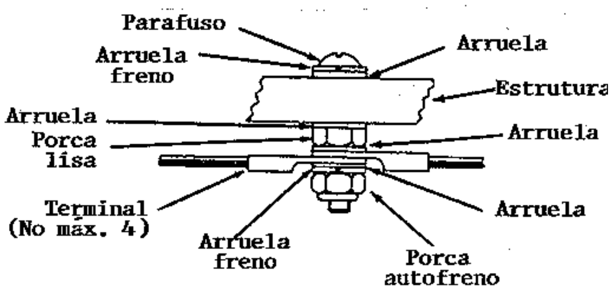

Parafuso
Arruela freno
Arruela
Estrutura
Arruela
Porca lisa
Arruela
Terminal (No máx. 4)
Arruela freno
Arruela
Porca autofreno

Figura 4-114 Ligação à massa com estojo numa superfície plana

2) As porcas de âncora são usadas onde o acesso às porcas para conserto é difícil. Elas são rebitadas ou soldadas numa área limpa da estrutura (figura 4-115).

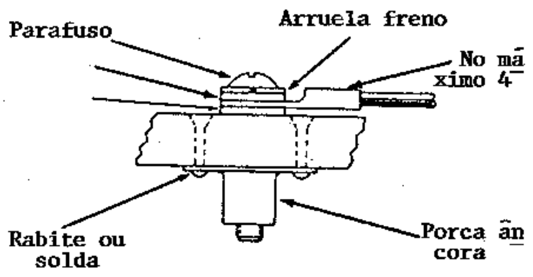

Parafuso
Arruela freno
No máximo 4
Rabite ou solda
Porca âncora

Figura 4-115 Ligação à massa com porca de âncora numa superfície plana.

As ligações à massa são feitas também numa chapa rebitada na estrutura. Em tais casos, é importante limpar a superfície da ligação à massa, e fazer a ligação como se a conexão estivesse sendo feita na estrutura. Se for necessário remover a chapa por qualquer motivo, os rebites devem ser substituídos por outros de um número imediatamente superior, e as superfícies conjugadas da estrutura e da chapa devem estar limpas e livres de película anódica.

As ligações à massa podem ser feitas com às ligas de alumínio, magnésio ou de estrutura tubular de aço resistente à corrosão, conforme apresentado na figura 4-116, que mostra o arranjo das ferragens para conexão com terminal de alumínio.

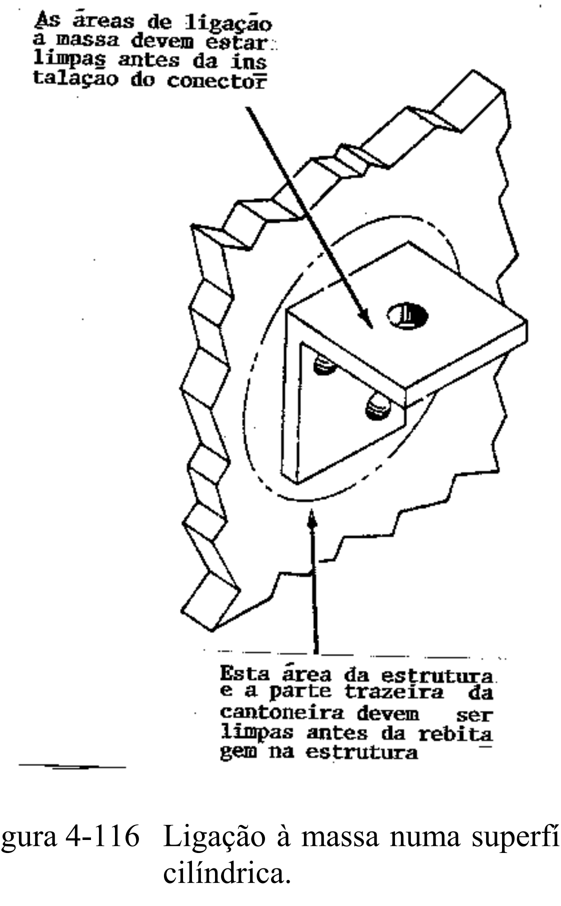

As áreas de ligação a massa devem estar limpas antes da instalação do conector
Esta área da estrutura e a parte trazeira da cantoneira devem ser limpas antes da rebitagem na estrutura

Figura 4-116 Ligação à massa numa superfície cilíndrica.

Devido a facilidade com que o alumínio é deformado, é necessário distribuir a pressão do parafuso e da porca por meio de arruelas lisas.

As ferragens usadas para fazer as ligações à massa devem ser selecionadas com base na resistência mecânica, na corrente a ser conduzida e na facilidade de instalação.

Se a conexão for feita por terminal de alumínio ou de cobre, uma arruela de material adequado deverá ser instalada entre os metais diferentes, de modo que qualquer corrosão que ocorre na arruela, poderá ser descartada.

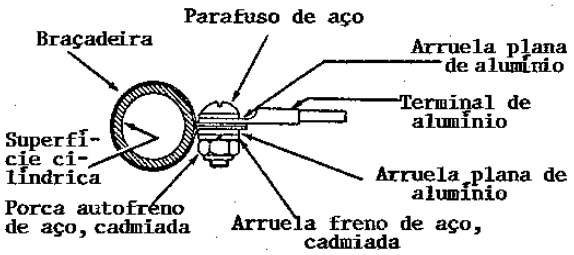

Parafuso de aço
Braçadeira
Arruela plana de alumínio
Terminal de alumínio
Superfície cilíndrica
Arruela plana de alumínio
Porca autofreno de aço, cadmiada
Arruela freno de aço, cadmiada

Figura 4-117 Ligação à massa numa superfície cilíndrica.

O material e o acabamento da ferragem devem ser selecionados a partir do material da estrutura, onde a fixação é feita, e no material da ligação e do terminal especificado para ligação à massa.

Pode ser usado qualquer tipo de parafuso do tamanho adequado para o terminal da conexão especificada. Quando se consertar, ou substituir, as ligações de massa existentes, deverá ser mantido o mesmo tipo de ferragem usado na conexão original.

CONECTORES

Os conectores (plugues e receptáculos) facilitam a manutenção quando for necessária uma desconexão freqüente. Visto que o cabo está soldado aos pinos inseridos no conector, as ligações devem ser instaladas individualmente, e o chicote firmemente suportado para evitar danos devido a vibração.

No passado, os conectores foram particularmente vulneráveis à corrosão devido a condensação dentro do invólucro. Conectores especiais, com características à prova d'água, têm sido desenvolvidos para que possam substituir plugues que não são à prova d'água nas áreas onde a umidade constitui um problema.

Um conector do mesmo tipo e modelo deve ser usado quando substituir um outro.

Os conectores suscetíveis à corrosão podem ser tratados com uma gelatina à prova d'água quimicamente inerte.

Quando se substitui os conjuntos de conectores, o tampão do tipo soquete deve ser usado na metade que está "viva" ou "quente" depois da desconexão do conector, para evitar uma ligação à massa.

Tipos de conectores

Os conectores são identificados pelos números da classe AN, e são divididos em classes com variações do fabriante para cada classe. As variações do fabricante são diferentes em aparência e em método para seguir uma especificação.

Alguns conectores mais comumente usados são mostrados na figura 4-118.

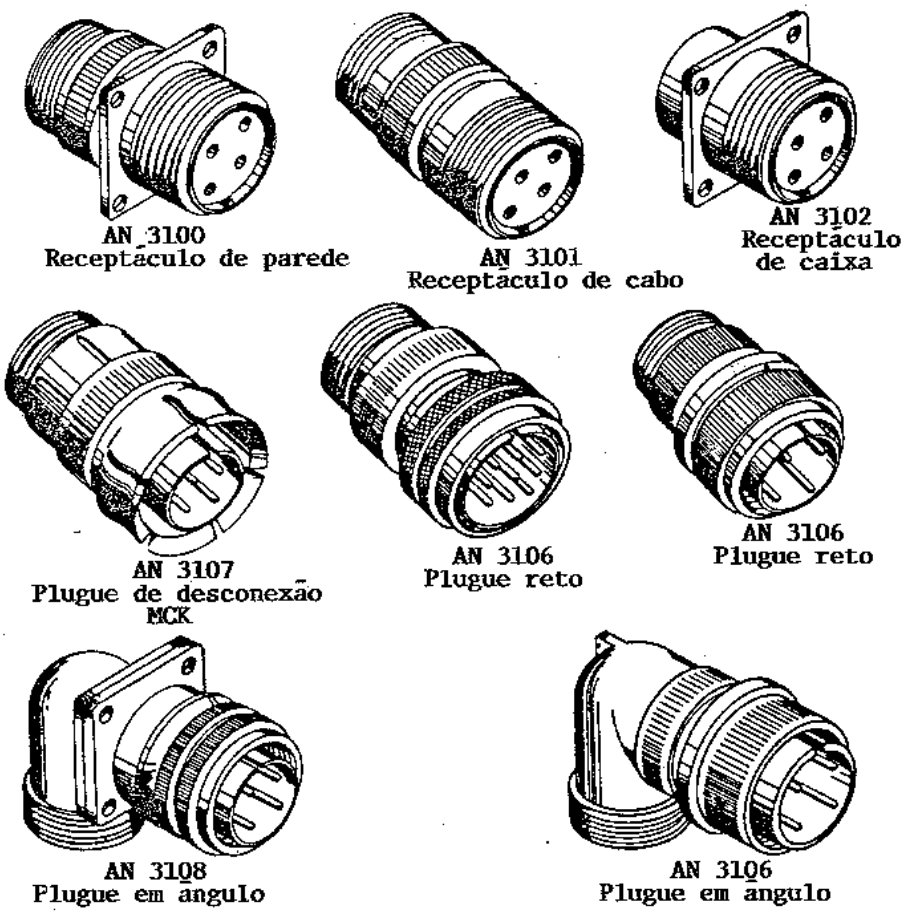
Existem cinco classes básicas de conectores AN usados na maioria das aeronaves. Cada classe de conector diferencia-se ligeiramente da outra em sua característica de construção. As classes A, B, C e D são feitas de alumínio e a classe K é feita de aço.

1 - Classe A - Conector sólido, de invólucro traseiro inteiriço com finalidade geral.

2 - Classe B - O invólucro traseiro do conector separa-se em duas partes longitudinalmente. Usado principalmente onde for importante o pronto acesso aos conectores soldados. O revestimento traseiro é mantido junto por um anel roscado ou por parafusos.

3 - Classe C - Um conector pressurizado com pinos inseridos não removíveis. Semelhante ao conector classe "A" na aparência, mas a disposição do selante interno é, às vezes, diferente. Ele é usado nos anteparos do equipamento pressurizado.

4 - Classe D - Conector resistente à vibração e a umidade, que possui um ilhós selante de borracha no invólucro traseiro. Os fios são passados através dos orifícios apertados de borracha selante no ilhós, e, dessa forma, selados contra a umidade.



AN 3100 Receptáculo de parede

AN 3101 Receptaculo de cabo

AN 3102 Receptáculo de caixa

AN 3107 Plugue de desconexão MCK

AN 3106 Plugue reto

AN 3106 Plugue reto

AN 3108 Plugue em angulo

AN 3106 Plugue em angulo

Figura 4-118 Conectores AN.

5 - Classe K - Um conector à prova de fogo, usado em áreas onde é vital que a corrente elétrica não seja interrompida, mesmo quando o conector estiver exposto a uma chama aberta contínua.

Os fios são estampados aos pinos ou contatos do soquete, e os invólucros são feitos de aço. Essa classe de conector é geralmente maior do que as outras.

Identificação de conectores

As letras e os números do código são marcados no anel de acoplamento ou no invólucro, para identificar o conector.

O código (figura 4-119) proporciona toda informação necessária para se obter uma substituição correta da peça defeituosa ou avariada.

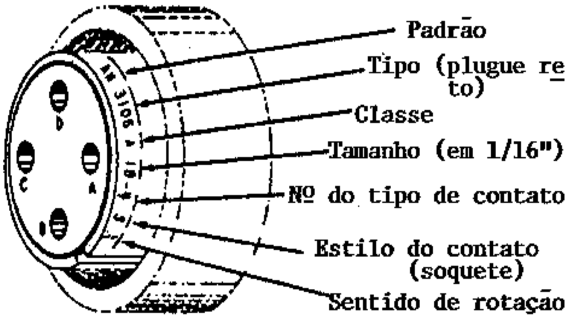


Figura 4-119 Codificação do conector AN.

Muitos conectores com finalidades especiais têm sido construídos para o uso em aeronaves. Esses incluem conectores de invólucro subminiatura e retangulares, e conectores com invólucro de corpo pequeno ou de construção de invólucro bipartido.

Instalação de conectores

Os procedimentos seguintes descrevem um método recomendado de instalação dos conectores com os receptáculos.

1) Localizar a posição adequada do plugue em relação ao receptáculo, alinhando a chaveta de uma peça com a ranhura da outra peça.

2) Colocar o plugue no receptáculo com uma leve pressão para frente, e encaixar as roscas do anel de acoplamento e do receptáculo.

3) Alternadamente, empurrar o plugue para dentro, e apertar o anel de acoplamento até que o plugue esteja completamente assentado.

4) Se o espaço ao redor do conector for muito pequeno para segurá-lo firmemente, usar alicates de conectores para apertar os anéis de acoplamento 1/16 até 1/8 de uma volta além do aperto manual.

5) Nunca usar força para unir os conectores aos receptáculos. Não usar martelo para introduzir um plugue em seu receptáculo, e nunca usar uma chave de torque ou alicate para frenar os anéis de acoplamento.

Um plugue é geralmente desmontado de um receptáculo da seguinte maneira:

1) Usar alicates de conectores para afrouxar os anéis de acoplamento, que estejam apertados demais para serem afrouxados manualmente.

2) Alternadamente, puxar o plugue, e desapertar o anel de acoplamento, até que o plugue esteja solto.

3) Proteger os plugues e os receptáculos desconectados com tampões ou sacos plásticos, para evitar a entrada de materiais estranhos que possam acarretar falhas.

4) Não usar força excessiva, e não puxar os fios instalados.

CONDUÍTE

O conduíte é usado nas instalações da aeronave para a proteção mecânica dos fios e dos chicotes. Ele é encontrado em materiais metálicos e não metálicos, nas formas rígida e flexível.

Quando é selecionado o diâmetro do conduíte para a aplicação em um chicote, para facilitar a manutenção, no caso de uma possível expansão futura, é comum especificar o diâmetro interno do conduíte em torno de 25% maior do que o diâmetro máximo do chicote. O diâmetro nominal de um conduíte metálico rígido é o diâmetro externo.

Portanto, para se obter o diâmetro interno, basta subtrair duas vezes a espessura da parede do tubo.

Do ponto de vista da abrasão, o condutor é vulnerável nas extremidades do conduíte. Adaptações apropriadas são afixadas às extremidades do conduíte, de maneira que uma superfície lisa entre em contato com o condutor. Quando as conexões não forem usadas, a extremidade do conduíte deve ser flangeada para evitar estragos no isolamento do fio. O conduíte é sustentado por braçadeiras ao longo de seu percurso.

Muitos dos problemas comuns de instalação de conduíte podem ser evitados, prestando-se atenção aos seguintes detalhes:

1) Não instalar o conduíte onde ele possa ser usado como apoio das mãos ou dos pés.

2) Instalar orifícios dreno nos pontos mais baixos ao longo do conduíte. As rebarbas devem ser cuidadosamente retiradas desse orifícios.

3) Apoiar o conduíte para evitar atrito na estrutura, e ainda evitar esforço nas adaptações em suas extremidades.

As partes danificadas do conduíte devem ser consertadas para evitar danos aos fios ou aos chicotes. O raio de curvatura mínimo permitido para um conduíte rígido deve ser o descrito nas instruções do fabricante. As curvaturas torcidas ou enrugadas num conduíte rígido não são aceitáveis.

O conduíte de alumínio flexível é encontrado comumente em dois tipos: conduíte flexível desencapado; e revestido com borracha. O conduíte de latão flexível é normalmente usado no lugar do conduíte de alumínio flexível, onde for necessário minimizar a interferência no rádio.

O conduíte flexível pode ser usado onde for impossível usar o conduíte rígido, como em áreas que possuam movimento entre as extremidades do conduíte, ou onde forem necessárias curvaturas complexas. A fita adesiva transparente é recomendada quando se corta a tubulação flexível com uma serra para minimizar a desfiadura da trança.

INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELÉTRICO

Esta parte fornece os procedimentos gerais e medidas de segurança para instalação de componentes e equipamentos elétricos comumente usados.

Os limites de carga elétrica, meios aceitáveis de controle das cargas elétricas e dispositivos de proteção do circuito, são assuntos com os quais os mecânicos devem se familiarizar para instalar e manter adequadamente os sistemas elétricos do avião.

Limites de carga elétrica

Ao se instalar equipamento elétrico adicional que consuma energia elétrica numa aeronave, a carga elétrica total deverá ser controlada, ou remanejada, dentro dos limites dos componentes afetados no sistema de alimentação da aeronave.

Antes que qualquer carga elétrica de aeronave seja aumentada, os fios, cabos e dispositivos de proteção de circuito (fusíveis ou disjuntores) associados deverão ser verificados para determinar se a nova carga elétrica (carga elétrica anterior mais a carga acrescentada) não excede os limites estabelecidos dos fios existentes, cabos ou dispositivos de proteção.

Os valores de saída do gerador ou do alternador, determinados pelo fabricante, devem ser comparados às cargas elétricas que podem ser impostas ao gerador ou alternador afetado pelo equipamento instalado.

Quando a comparação mostra que a carga elétrica total provável conectada pode exceder os limites de carga de saída dos geradores ou dos alternadores, deverá haver uma redução para que não ocorra sobrecarga.

Quando uma bateria fizer parte do sistema de força elétrica, essa deve ser continuamente carregada em vôo, exceto quando pequenas cargas intermitentes estiverem ligadas, tais como um transmissor de rádio, um motor de trem de pouso ou outros aparelhos semelhantes, que possam solicitar cargas da bateria em curtos intervalos de tempo.

Controle ou monitoramento da carga elétrica

É recomendável a instalação de placares para informar a tripulação quanto às combinações de cargas elétricas que podem ser conectadas com segurança ao sistema de geração da aeronave.

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo da bateria, e o sistema regulador limita a corrente máxima que o gerador ou o alternador pode distribuir, um voltímetro pode ser instalado na barra do sistema. Enquanto o amperímetro não indicar "descarga" (exceto para pequenas cargas intermitentes, tais como as que operam trens de pouso e flapes), e o voltímetro permanecer indicando "voltagem do sistema" , o gerador ou alternador não estarão sobrecarregados.

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo do gerador ou do alternador, e o regulador do sistema não limita a corrente máxima que o gerador ou o alternador pode fornecer, o amperímetro pode ser marcado em vermelho em 100% da capacidade do gerador ou do alternador.

Se nunca for permitido à leitura do amperímetro exceder a linha vermelha, exceto para pequenas cargas intermitentes, o gerador ou o alternador não serão sobrecarregados.

Quando dois ou mais geradores funcionam em paralelo, e a carga total do sistema pode exceder a capacidade de saída de um gerador, deverão ser providenciados meios para corrigir rapidamente as sobrecargas súbitas que possam ser causadas por falha do gerador ou do motor. Poderá ser empregado um sistema de redução rápida de carga, ou um procedimento especificado onde a carga total possa ser reduzida a um valor que esteja dentro da capacidade do gerador em operação.

As cargas elétricas devem ser conectadas aos inversores, alternadores ou fontes de força elétrica semelhantes, de maneira que os limites de capacidade da fonte de força não sejam excedidos, a menos que algum tipo de monitoramento efetivo seja fornecido para manter a carga dentro de limites prescritos.

Dispositivos de proteção de circuitos

Os condutores devem ser protegidos com disjuntores ou fusíveis localizados, tão próximos quanto possível, da barra da fonte de força elétrica. Geralmente, o fabricante do equipamento elétrico especifica o fusível ou disjuntor a ser usado ao instalar o equipamento.

O disjuntor ou fusível deve abrir o circuito antes do condutor emitir fumaça. Para obter isto, a característica corrente/tempo do dispositivo de proteção deve cair abaixo da do condutor associado. As características do protetor do circuito devem ser igualadas para obter a utilização máxima do equipamento conectado.

A figura 4-120 mostra um exemplo da tabela usada na seleção do disjuntor e do fusível de proteção para condutores de cobre. Essa tabela limitada é aplicável a um conjunto específico de temperaturas ambientes e bitolas dos fios dos chicotes, e é apresentada somente como um exemplo típico. É importante consultar tais tabelas antes de selecionar um condutor para uma finalidade específica. Por exemplo, um fio único ao ar livre pode ser protegido pelo disjuntor de valor imediatamente superior aquele mostrado na tabela.

.Fio de cobre AN	Amperagem Do disjuntor	Amperagem Do fusível
22	5	5
20	7,5	5
18	10	10
16	15	10
14	20	15
12	30	20
10	40	30
8	50	50
6	80	70
4	100	70
2	125	100
1		150
0		150

Figura 4-120 Tabela do fio e protetor do circuito.

Todos os disjuntores rearmáveis devem abrir o circuito no qual eles estão instalados, independentemente da posição do controle de operação quando ocorrer sobrecarga ou falha do circuito. Tais disjuntores são chamados de "desarme-livre".

Os disjuntores de “rearme automático” ligam-se automaticamente, como o próprio nome sugere. Eles não devem ser usados como dispositivos de proteção nos circuitos da aeronave.

Interruptores

Um interruptor especificamente projetado deve ser usado em todos os circuitos onde um mau funcionamento de um interruptor seria perigoso.

Tais interruptores são de construção robusta, e possuem capacidade de contato suficiente para interromper, fechar e conduzir continuamente a carga da corrente conectada. O do tipo de ação de mola é geralmente preferido para se obter abertura e fechamento rápidos sem considerar a velocidade de operação da alavanca, o que, conseqüentemente, diminui o centelhamento dos contatos.

O valor da corrente nominal do interruptor convencional do avião está geralmente estampado no seu alojamento. Esse valor representa o valor da corrente de trabalho com os contatos fechados. Os interruptores devem ter reduzida a capacidade nominal de corrente para os seguintes tipos de circuitos:

1) Circuitos de Alta-Intensidade Inicial - Os circuitos que possuem lâmpadas incandescentes podem puxar uma corrente inicial que seja 15 vezes maior do que a corrente de trabalho. A queima ou fusão do contato pode ocorrer quando o interruptor for fechado.
2) Circuitos Indutivos - A energia magnética armazenada nas bobinas dos solenóides ou relés é liberada, e aparece sob forma de arco quando o interruptor de controle for aberto.

3) Motores - Os motores de corrente contínua puxarão diversas vezes sua corrente nominal de trabalho durante a partida, e a energia magnética, armazenada no seu rotor e nas bobinas de campo será liberada quando o interruptor de controle for aberto.

A tabela da figura 4-121 é similar às encontradas para seleção do valor nominal apropriado do interruptor, quando a corrente da carga de trabalho for conhecida.

Essa seleção é, essencialmente, uma redução da capacidade normal de carga para se obter uma razoável vida útil e eficiência do interruptor.

Os erros prejudiciais na operação do interruptor podem ser evitados por uma instalação consistente e lógica.

Os interruptores de duas posições, "liga-desliga", devem ser instalados de modo que a posição "liga" seja alcançada movimentando-se a alavanca para cima ou para frente.

Quando o interruptor controlar partes móveis do avião, tais como trem de pouso ou flapes, a alavanca deve se mover no mesmo sentido que o desejado.

A operação acidental de um interruptor pode ser evitada instalando-se uma guarda adequada sobre o mesmo.

Relés

Os relés são usados como interruptores, onde se possa obter redução de peso, ou simplificação dos controles elétricos.

Um relé é um interruptor operado eletricamente, e está, portanto, sujeito a falhas sob condições de baixa voltagem no sistema.

A apresentação anterior sobre os interruptores é geralmente aplicável para os valores de contato dos relés

VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	**TIPO DE CARGA**	**FATOR DE REDUÇÃO DA CAPACIDADE**
24 V.C.C.	Lâmpada	8
24 V.C.C.	Indutiva (Relé /Sole noide)	4
24 V.C.C.	Resistiva (Aquecedor)	2
24 V.C.C.	Motor	3
12 V.C.C.	Lâmpada	5
12 V.C.C.	Indutiva (Relé / Solenoide)	2
12 V.C.C.	Resistiva (Aquecedor)	1
12 V.C.C.	Motor	2

Figura 4-121 Fatores de redução da carga dos interruptores.

CAPÍTULO 5

SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES

INTRODUÇÃO

A maioria dos motores de aeronaves é acionada por um dispositivo chamado motor de partida (starter), ou arranque. O arranque é um mecanismo capaz de desenvolver uma grande quantidade de energia mecânica que pode ser aplicada a um motor, causando sua rotação.

Nos estágios anteriores de desenvolvimento de aeronaves, os motores de baixa potência eram acionados pela rotação da hélice através de rotação manual. Algumas dificuldades foram frequentemente experimentadas na partida, quando as temperaturas do óleo estavam próximas ao ponto de congelamento.

Em adição, os sistemas de magnetos forneciam uma centelha fraca na partida, e em velocidades muito baixas de acionamento.

Isto foi muitas vezes compensado providenciando-se uma centelha quente, usando dispositivos de ignição como bobina de reforço, vibrador de indução ou acoplamento de impulso.

Algumas aeronaves de baixa potência, que usam acionamento manual da hélice para a partida, ainda estão sendo operadas. Para instruções gerais sobre a partida desse tipo de aeronave, consulta-se o Capítulo 11 do volume 1 de Matérias Básicas.

SISTEMAS DE PARTIDA DE MOTORES CONVENCIONAIS

Desde o início do desenvolvimento de motores convencionais ou alternativos de aeronaves (do sistema de partida mais antigo até o presente), os inúmeros sistemas foram desenvolvidos. Os mais comuns são:

(1) Cartucho. (Não usado comumente).
(2) Manual de Inércia . (Não usado comumente).
(3) Elétrico de Inércia. (Não usado comumente).
(4) Inércia Combinado. (Não usado comumente).
(5) Elétrico de Engrazamento Direto.

A maioria dos arranques de motores convencionais é do tipo elétrico de engrazamento direto.

Alguns dos poucos modelos mais antigos de aeronaves estão ainda equipados com um dos tipos de acionadores de inércia, sendo em ocasiões muito raras, um exemplo de arranque de acionamento manual, inércia manual ou de cartucho podem ser encontrados. Então, somente uma breve descrição desses sistemas de partida estarão incluídos nesta seção.

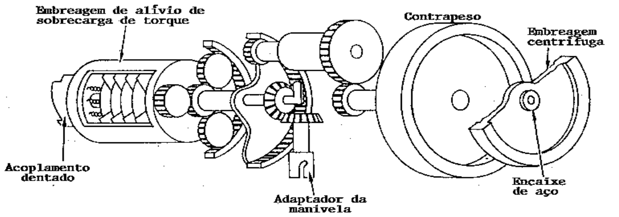


Figura 5-1 Motor de partida de inércia, combinado manual e elétrico.

Motores de partida de inércia

Existem três tipos gerais:

(1) Manual de inércia;
(2) Elétrico de inércia;
(3) De inércia, combinado manual e elétrico.

A operação de todos os tipos de arranques de inércia, depende da energia cinética armazenada em um volante de rotação rápida em condições de giro. (Energia cinética é a força processada por um corpo pela eficiência do seu estado de movimento, que pode ser movido ao longo de uma linha ou pela ação de rotação).

No arranque de inércia, a potência é armazenada vagarosamente durante o processo de energização pelo giro manual ou elétrico, utilizando-se um pequeno motor.

O volante e as engrenagens móveis de um arranque de inércia, combinado manual e elétrico, são mostrados na figura 5-1. O circuito elétrico para um arranque de inércia elétrica é mostrado na figura 5-2.

Durante a energização do motor de partida, todas as partes internas se movem, incluindo o volante, formando um conjunto em movimento.

Assim que o arranque tiver sido completamente energizado, ele é acoplado ao eixo de manivelas do motor por um cabo, acionado manualmente, ou por um solenóide de acoplamento que é eletricamente energizado.

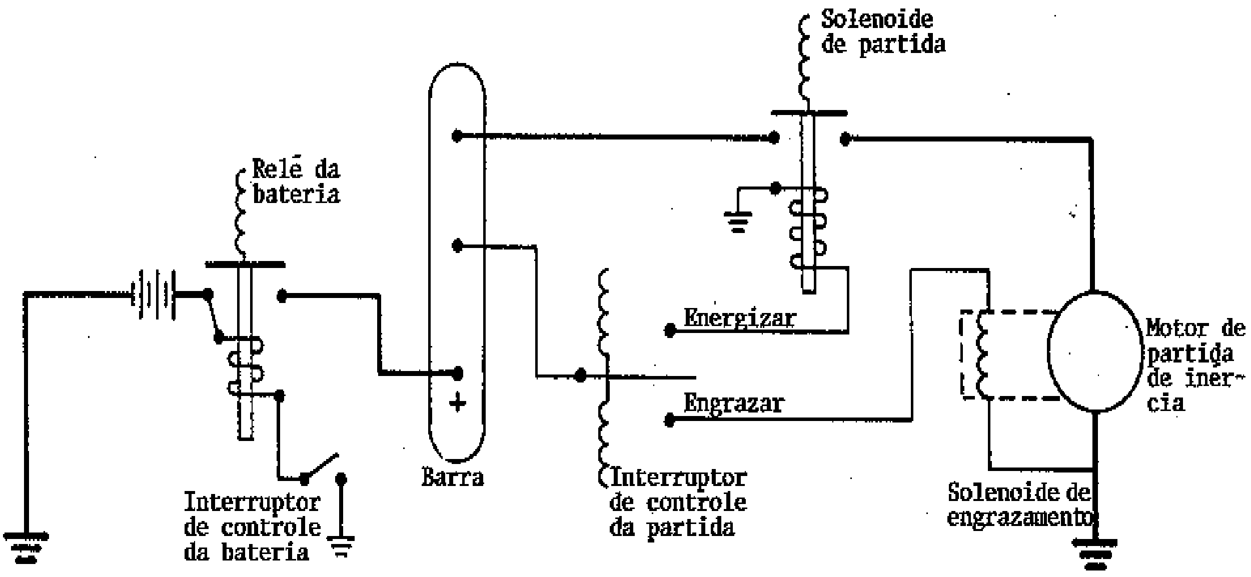

Solenoide de partida
Relé da bateria
Energizar
Motor de partida de inercia
+
Engrazar
Barra
Interruptor de controle da bateria
Interruptor de controle da partida
Solenoide de engrazamento

Figura 5-2 Circuito de partida.

Quando o arranque é acoplado ou engrazado, a energia do volante é transferida para o motor através de um conjunto de engrenagens de redução e embreagens de liberação de sobrecarga de torque.(ver figura 5-3)

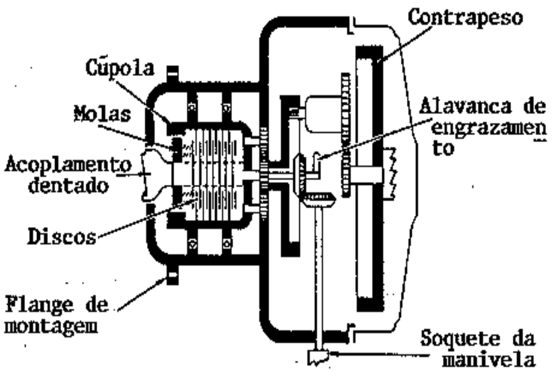

Contrapeso
Cúpola
Molas
Alavanca de engrazamento
Acoplamento dentado
Discos
Flange de montagem
Soquete da manivela

Figura 5-3 Embreagem de alívio da sobrecarga de torque.

Motor de partida elétrico de engrazamento direto

O sistema de partida largamente utilizado em todos os tipos de motores alternativos, é o arranque elétrico de acionamento direto.

Esse tipo de arranque provê acionamento instantâneo e contínuo quando energizado, consistindo, basicamente, em um motor elétrico, engrenagens de redução e um mecanismo de acoplamento e desacoplamento, que são operados através de uma embreagem ajustável de alívio de sobrecarga de torque.

Um circuito típico para um arranque elétrico de acionamento direto é mostrado na figura 5-4.

O motor é acionado diretamente quando o solenóide do arranque é fechado.

Desde que não haja nenhum volante sendo usado, não há armazenamento preliminar de energia, como no caso de um arranque de inércia.

Conforme mostrado na figura 5-4, os cabos condutores principais do arranque para a bateria, são para os serviços pesados, para conduzir o fluxo que pode ser tão alto como 350 ampères, dependendo do torque requerido na partida.

O uso de solenóides e cablagens grossas com chaves de controle remoto, reduzem, acima de tudo, o peso do cabo e a queda total de voltagem no circuito.

Um motor de arranque típico é um motor de 12 ou 24 volts, enrolamento em série, que desenvolve elevado torque na partida.

O torque do motor é transmitido através de engrenagens de redução para a embreagem de alívio de sobrecarga. Tipicamente, essa ação faz atuar um eixo estriado helicoidal, movendo a castanha do motor de arranque para fora, acoplando-a à castanha de acionamento do motor da aeronave, antes que a castanha do arranque comece a girar. Assim que o motor da aeronave alcança uma velocidade pré-determinada, o motor de arranque desacopla automaticamente.

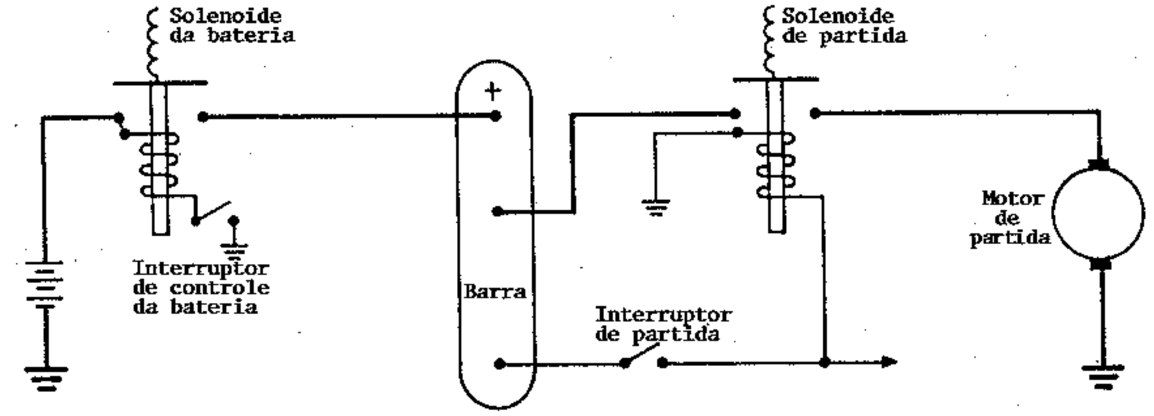

Solenoide da bateria
Interruptor de controle da bateria
+
Barra
Solenoide de partida
Interruptor de partida
Motor de partida

Figura 5-4 Típico circuito de partida, usando um motor de partida elétrico de engrazamento direto.

O esquema da figura 5-5 provê um arranjo pictorial de um sistema de partida completo para uma aeronave leve de dois motores.

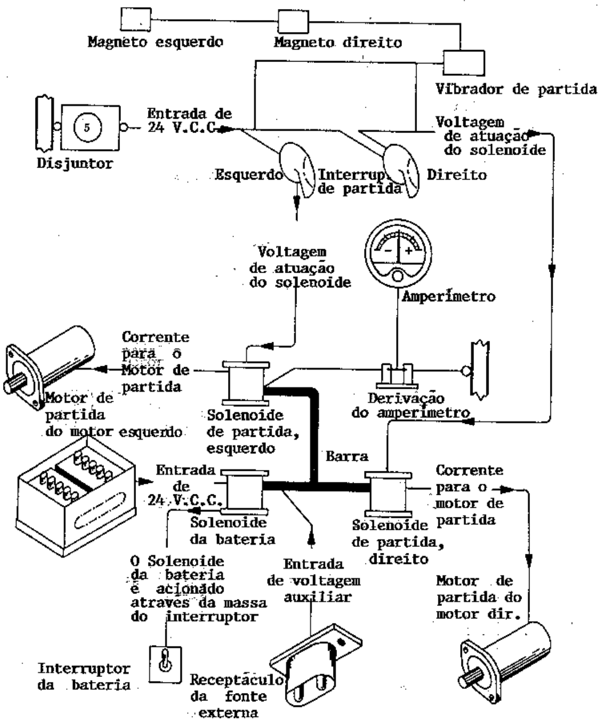

Magneto esquerdo
Magneto direito
Vibrador de partida
Entrada de 24 V.C.C.
5
Disjuntor
Voltagem de atuação do solenoide
Esquerdo
Interruptor de partida
Direito
Voltagem de atuação do solenoide
Amperímetro
Corrente para o Motor de partida
Motor de partida do motor esquerdo
Solenoide de partida, esquerdo
Derivação do amperímetro
Barra
Entrada de 24 V.C.C.
Solenoide da bateria
Corrente para o motor de partida
Solenoide de partida, direito
O Solenoide da bateria é acionado através da massa do interruptor
Entrada de voltagem auxiliar
Motor de partida do motor dir.
Interruptor da bateria
Receptáculo da fonte externa

Figura 5-5 Esquema de partida do motor de uma aeronave leve bimotora.

SISTEMA DE PARTIDA USANDO MOTOR DE INÉRCIA COMBINADO

O assunto seguinte cobre um tipo de sistema utilizado em grandes aeronaves bimotoras. Esse sistema inclui para cada motor, um arranque de inércia combinado, uma bobina de reforço, uma chave de polo simples, duplo acionamento na cabine, cablagens e solenóides con forme necessário.

O arranque de inércia combinado é mostrado na figura 5-6.

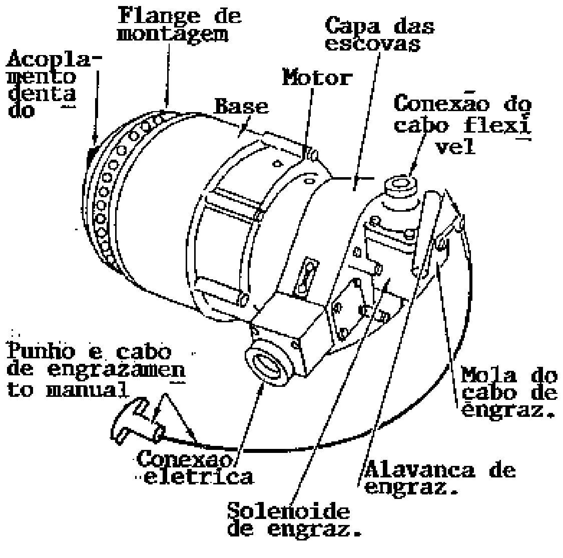

Flange de montagem
Capa das escovas
Acoplamento dentado
Base
Motor
Conexão do cabo flexivel
Punho e cabo de engrazamento manual
Mola do cabo de engraz.
Conexao eletrica
Alavanca de engraz.
Solenoide de engraz.

Figura 5-6 Motor de partida de inércia combinado.

Controles externos de partida manual, incorporando uma manivela para acionamento do arranque e cabo de controle para a partida, são providos para a partida do motor, manualmente (figura 5-7).

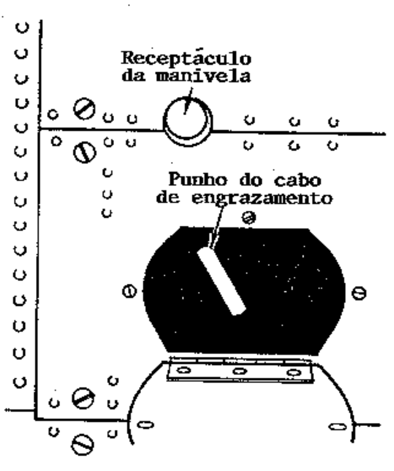


Figura 5-7 Controles de partida.

Duas chaves de partida estão localizadas no painel elétrico da cabine. Colocando a chave na posição "up" opera-se o arranque. A mesma chave, colocada na posição "down" opera o solenóide de acoplamento de arranque e a bobina ativadora de ignição. A posição "off " da chave está entre as outras duas posições.

A bobina de reforço operada pela bateria, montada em um alojamento blindado, está instalada no suporte de cada motor. Conduítes flexíveis protegem os condutores da bobina para os magnetos de cada motor.

SISTEMA DE PARTIDA ELÉTRICO DE ENGRAZAMENTO DIRETO PARA GRANDES MOTORES CONVENCIONAIS

Para um sistema de partida típico para motor alternativo de alta potência, o arranque elétrico de acionamento direto consiste em dois componentes básicos: um conjunto motor e uma seção de engrenagens.

A seção de engrenagens é aparafusada no terminal do eixo de acionamento do motor para formar uma unidade completa.

O motor consiste de um induzido e um conjunto pinhão, o conjunto do sino traseiro e o conjunto do alojamento do motor. O alojamento do motor também age como cabeçote magnético para o campo da estrutura.

O motor de arranque é irreversível, interpolado em série. Sua velocidade varia diretamente com a voltagem aplicada, e inversamente com a carga.

A seção de engrenagens do motor de arranque, mostrada na figura 5-8, consiste de um alojamento com flange de montagem, engrenagem planetária de redução, um conjunto de engrenagem sol e integral, uma embreagem limitadora de torque, e um conjunto de castanha e cone.

Quando o circuito do motor é fechado, o torque desenvolvido no motor do arranque é transmitido para a castanha através do trem de engrenagem de redução e embreagem. O trem de engrenagem do arranque converte a alta velocidade e baixo torque do motor em baixa velocidade e alto torque.

Na seção de engrenagem, o pinhão do motor acopla a engrenagem na árvore de transmissão intermediária (consultar a figura 5-8). O pinhão da árvore intermediária acopla a engrenagem interna, esta fica sendo uma parte integral do conjunto da engrenagem sol, e é rigidamente fixada ao eixo da engrenagem. A engrenagem sol aciona três engrenagens planetas, que são parte do conjunto planetário.

Os eixos individuais das engrenagens planetas são suportados por um braço de apoio do planetário, uma parte semelhante a um cilindro mostrado na figura 5-8. O braço de apoio transmite o torque das engrenagens planetas para a castanha do arranque como segue:

(1) A porção cilíndrica do braço de apoio é estriada longitudinalmente ao redor da superfície interna.

(2) As ranhuras são cortadas sobre a superfície exterior da parte cilíndrica da castanha do arranque.

(3) A castanha desliza para frente e para trás, dentro do braço de apoio, para acoplar e desacoplar com o motor.

As três engrenagens planetárias também acoplam os dentes internos circundantes nos seis discos de embreagem (figura 5-8). Esses discos são intercalados com os de bronze, que são estriados externamente, evitando-os de girar.

A pressão correta é mantida sobre o pacote de embreagens por um conjunto de mola de retenção da embreagem.

Uma porca de passeio cilíndrica dentro da castanha do arranque estende e retrai a castanha. Estrias espirais da castanha de acoplamento ao redor da parede interna da porca casam com as estrias similares, cotadas sobre a extensão do eixo da engrenagem sol (figura 5-8).

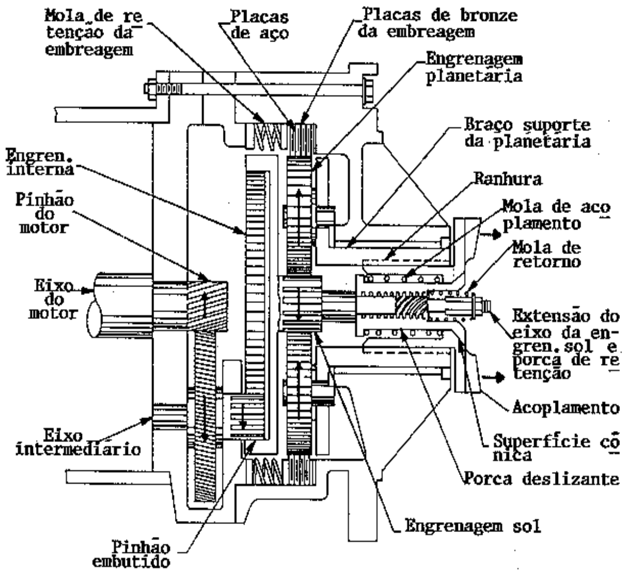


Figura 5-8 Seção de engrenagens do motor de partida.

A rotação do eixo força a porca para fora e esta faz o apoio com a castanha.

A mola, ao redor da porca de passeio, apoia com a porca, e tende a manter a superfície da embreagem helicoidal ao redor da parede interna da cabeça da castanha, assentada contra uma superfície similar ao redor do lado inferior da cabeça da porca.

Uma mola de retorno está instalada sobre a extensão do eixo da engrenagem sol, entre o anteparo formado pelas estrias ao redor da parede interna da porca de passeio e uma porca de retenção do batente sobre a ponta do eixo.

Por causa da superfície cônica das embreagens, a porca de passeio e a castanha do arranque são acopladas pela pressão de mola da castanha, e as duas partes tendem a girar na mesma velocidade. Entretanto, a extensão do eixo da engrenagem sol gira seis vezes mais rápida do que a castanha.

As estrias espirais sobre ela são cortadas à esquerda, e a extensão do eixo da engrenagem sol, girando para a direita em relação a castanha, força a porca e a castanha para fora do arranque no seu passeio total (cerca de 5/16 polegadas), em aproximadamente 12 graus da rotação da castanha. A castanha move-se para fora até ser parada pelo acoplamento com o motor, ou pela porca de retenção do seu batente.

O passeio da porca continua a mover-se lentamente além do limite do curso da castanha; sendo o suficiente para aliviar a pressão da mola sobre as superfícies da embreagem cônica helicoidal. Enquanto o arranque continua a girar, há uma pressão suficiente sobre as superfícies da embreagem cônica para prover torque sobre as estrias espirais, que pesam mais do que a pressão da mola da castanha.

Se o motor falhar na partida, a castanha do arranque não se retrairá, desde que o mecanismo do arranque não produza força de retração.

Entretanto, quando o motor inflama e ultrapassa a velocidade do arranque, as rampas inclinadas dos dentes da castanha forçam a castanha do arranque para dentro, contra a pressão de mola.

Assim, desacopla inteiramente as superfícies cônicas da embreagem, e a pressão da mola da castanha força a porca de passeio a deslizar ao longo das estrias espirais, até que as superfícies da embreagem cônica estejam novamente em contato.

Com ambos, motor e arranque girando, haverá uma força de acoplamento mantendo as castanhas em contato, que continuarão até que o arranque seja desenergizado. Entretanto, o rápido movimento dos dentes da castanha do motor, encontrarão o movimento vagaroso dos dentes da castanha do arranque, segurando o desacoplamento desta.Tão logo o arranque comece a repousar, a força de acoplamento é removida, e a pequena mola de retorno jogará a castanha do arranque para dentro da posição totalmente retraída, onde permanecerá até a próxima partida.

Quando a castanha do arranque acopla a castanha do motor, o induzido do motor precisa ter um tempo para alcançar uma velocidade considerável por causa do seu alto torque na partida.

O repentino acoplamento da castanha do arranque em movimento poderia desenvolver forças suficientemente altas para danificar severamente o motor ou o arranque, não fazendo de certo modo sobre os discos embreagens, na qual deslizariam quando o torque do motor excedesse o torque de deslizamento da embreagem.

Em ação normal de acionamento, os discos internos da embreagem (aço) são mantidos parado pela fricção dos discos de bronze, além de serem intercalados.

Quando o torque imposto pelo motor excede o conjunto de embreagens, os os discos de embreagem interna giram contra as embreagens de fricção, permitindo que as engrenagens planetas girem enquanto o braço de apoio da planetária e a castanha permanecem parados.

Quando o motor da aeronave sobe para a velocidade na qual o arranque está tentando acioná-lo, o torque cai para um valor menor que o assentado para as embreagens.

Os discos de embreagem da engrenagem interna permanecem parados, e a castanha gira a uma velocidade na qual o motor está tentando acioná-los.

As chaves de controle do arranque são mostradas esquematicamente na figura 5-9.

A chave seletora do motor deve ser posicionada, e ambas as chaves do arranque e de segurança (ligadas em série) devem ser fechadas antes da energização do arranque.

A corrente é suprida para o circuito de controle do arranque através de um interruptor, estampado “Starter, Primer e Induction Vibrator” (figura 5-9). Quando a chave seletora está posicionada para a partida do motor, fechando as chaves do arranque e de segurança, ela energiza o relé do arranque localizado na caixa de junção da parede de fogo.

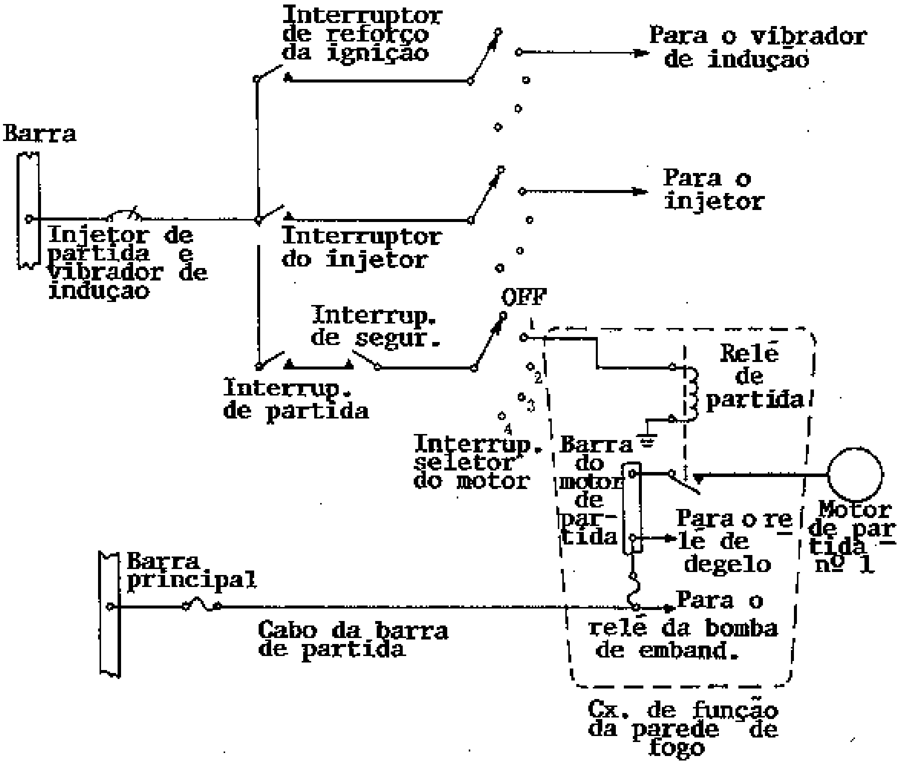

Interruptor de reforço da ignição
Para o vibrador de induçao
Barra
Para o injetor
Injetor de partida e vibrador de induçao
Interruptor do injetor
OFF
Interrup. de segur.
1
2
3
4
Relé de partida
Interrup. de partida
Interrup. seletor do motor
Barra do motor de partida
Motor de partida nº 1
Para o relé de degelo
Barra principal
Para o relé da bomba de emband.
Cabo da barra de partida
Cx. de função da parede de fogo

Figura 5-9 Circuito de controle de partida.

Energizando o relé do arranque, completa-se o circuito de potência para o motor de partida. A corrente necessária para essa carga pesada está sendo tomada diretamente do barramento principal através dos cabos do arranque.

Após a energização do arranque por um minuto, deverá ser permitido pelo menos um minuto para resfriamento. Após um segundo, ou subsequente período de acionamento de 1 minuto, deveria resfriar por 5 minutos.

SISTEMA DE PARTIDA ELÉTRICO DE ENGRAZAMENTO DIRETO PARA PEQUENAS AERONAVES

A maioria das pequenas aeronaves de motor alternativo emprega sistema de partida elétrico de acionamento direto. Alguns desses sistemas são automaticamente acoplados aos sistemas de partida, enquanto outros o são manualmente.

Os sistemas de partida acoplados automaticamente, empregam um motor de arranque elétrico montado sobre um adaptador do motor. Um solenóide de partida é ativado, ou por um botão de empurrar, ou por uma chave de ignição no painel de instrumento.

Quando o solenóide é ativado, seus contatos fecham, e a energia elétrica energiza o motor de partida.

A rotação inicial do motor elétrico acopla o motor de partida através de uma embreagem no adaptador, que incorpora engrenagens espirais (sem fim) de redução.

Os sistemas de partida acoplados manualmente em pequenas aeronaves empregam um pinhão de acionamento da embreagem para transmitir potência de um motor de partida elétrico para uma engrenagem de acionamento de partida da árvore de manivelas. (Ver fig. 5-10). Um botão ou punho no painel de instrumento está conectado por um controle flexível a uma alavanca sobre o motor de partida. Esta alavanca eleva o pinhão de acionamento do motor de partida para a posição acoplada, e fecha os contatos da chave do motor de partida quando o botão do motor de partida ou o punho é empurrado. A alavanca do motor de partida está presa na mola que retorna a alavanca e o controle flexível para a posição OFF. Quando o motor dá a partida, a ação da embreagem protege o pinhão de acionamento do motor de partida até que a alavanca de mudança possa estar livre para desacoplar o pinhão.

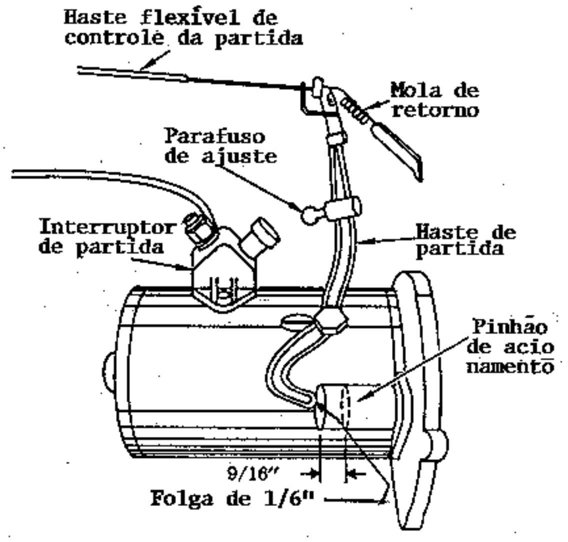


Figura 5-10 Hastes de controle do motor de partida e ajustes.

Conforme mostrado na figura 5-10, para uma unidade típica, há um comprimento específico de curso para engrenagem pinhão do motor de partida. É importante que a alavanca do motor de partida mova a engrenagem pinhão a uma distância apropriada, antes que o estojo da alavanca ajustável faça contato com a chave do arranque.

Práticas de manutenção do sistema de partida

A maioria das práticas de manutenção do sistema de partida incluem substituição das molas e das escovas, limpeza de acúmulos dos comutadores e torneamento das partes queimadas ou arredondamento dos comutadores do motor de partida.

Como regra, as escovas do motor de partida devem ser substituídas quando desgastadas aproximadamente na metade do seus comprimentos originais.

A tensão da mola da escova deve ser o suficiente para que elas tenham um bom e firme contato com o comutador. Os guias das escovas devem ser inquebráveis, e os parafusos do terminal bem apertados.

Sujeira ou espelhamento dos comutadores do motor de partida podem ser limpos segurando uma tira de lixa "00", ou uma pedra de assentamento da escova contra o comutador enquanto ele é girado.

A lixa ou a pedra devem ser movidas para frente e para trás para evitar desgaste da ranhura.

Lixa de esmeril ou "carborundum" nunca devem ser usadas para este propósito, por causa de sua possível ação de curto circuito.

Rugosidade, fora de arredondamento, ou condições de "*alta mica",* são razões para tornear o comutador.

No caso de condição de "alta mica", ela deve ser cortada assim que a operação de torneamento esteja cumprida.

Consulta-se, o Manual de Matérias Básicas (Volume 1), para uma revisão de comutadores de "alta mica" nos motores

PROBLEMAS	ISOLANDO O PROBLEMA	AÇÃO CORRETIVA
	ARRANQUE NÃO OPERA:	
Defeito da chave principal ou do circuito.	Verificar o circuito.	Reparar o circuito.
Defeito na chave do arranque ou no circuito.	Verificar a continuidade da chave e do circuito.	Substituir a chave ou os fios.
A alavanca do arranque não atua a chave.	Verificar o ajuste da alavanca do arranque.	Ajustar a alavanca de acordo com as instruções do fabri-

		cante.
Arranque defeituoso.	Verificar os itens anteriores, se não houver outra causa, o defeito é do arranque.	Remover e reparar ou substituir o arranque.
O ARRANQUE GIRA MAS NÃO ENGRAZA NO MOTOR		
Alavanca do arranque ajustada para ativar a chave sem engrazar o pinhão na engrenagem.	Verificar a ajustagem da alavanca do arranque.	Ajustar a alavanca de acordo com as instruções do fabricante.
Defeito na embreagem ou na engrenagem de acionamento.	Remover o arranque e testar a embreagem e a engrenagem.	Substituir a parte defeituosa.
Engrenagem pinhão ou de acionamento com defeito.	Remover e testar o pinhão e a engrenagem de acionamento.	Substituir a parte defeituosa.
ARRANQUE SEM FORÇA PARA GIRAR		
Bateria fraca.	Testar a bateria.	Recarregar a bateria ou substitui-la.
Contatos do relé ou da chave queimados ou sujos.	Testar os contatos.	Substituir por unidades perfeitas.
Arranque defeituoso.	Verificar as escovas e a tensão das suas molas e fixação.	Reparar ou substituir o arranque.
Comutadores sujos ou gastos.	Limpar e verificar visualmente.	Tornear o comutador.
ARRANQUE EXCESSIVAMENTE BARULHENTO:		
Pinhão gasto .	Remover e examinar o pinhão.	Substituir o acionamento do arranque.
Engrenagens gastas ou com dentes quebrados.	Remover o arranque e girar o seu motor com a mão para examinar o eixo das engrenagens.	Substituir as partes danificadas.

Tabela 6 - Procedimentos para pesquisa de problemas no sistema de partida de pequenas aeronaves.

Pesquisa de panes nos sistemas de partida em pequenas aeronaves.

Os procedimentos de pesquisa de panes listados na tabela 6 são típicos daqueles usados para isolar mal funcionamento em sistemas de partida de pequenas aeronaves.

PARTIDAS DOS MOTORES DE TURBINA A GÁS

Motores de turbina a gás são acionados pela rotação do compressor. Nos motores com dois estágios axiais do compressor, apenas o compressor de alta pressão é girado pelo motor de partida. Para acionar um motor de turbina a gás, é necessário acelerar o compressor provendo ar suficiente para suportar a combustão nos queimadores. Uma vez que o combustível tenha sido introduzido, e o motor tenha partido, o motor de partida deve continuar acionando o motor para chegar a uma velocidade acima da velocidade de auto aceleração. O torque suprido pelo motor de partida deve estar acima do que é requerido, a fim de superar a inércia do compressor e as cargas de fricção do motor.

Os tipos básicos de motores de partida, que foram desenvolvidos para uso nos motores de turbina a gás, são motores elétricos C.C., turbina de ar e combustão. Um sistema de partida de impacto é algumas vezes usado em motores pequenos. Uma partida desse tipo consiste de jatos de ar comprimido, dirigidos para dentro do compressor ou da carcaça da turbina, de modo que a rajada do jato de ar seja direcionada para dentro do compressor ou das palhetas do rotor da turbina, causando sua rotação.

O gráfico na figura 5-11 ilustra uma seqüência típica de partida para um motor de turbina a gás, a despeito do tipo de motor empregado.

Tão logo o arranque tenha acelerado o compressor suficientemente para estabelecer o fluxo de ar através do motor, a ignição é ligada, e depois o combustível. A sequência exata do procedimento de partida é importante, desde que haja fluxo de ar suficiente através do motor para suportar a combustão, antes que a mistura ar/combustível seja inflamada.

A baixas velocidades do eixo do motor, a razão do fluxo de combustível não é suficiente para possibilitar a aceleração do motor e, por essa razão, o motor de partida continua a girar até que a velocidade de auto aceleração tenha sido conseguida. Se a assistência do motor de partida for cortada abaixo da velocidade de auto aceleração, o motor falha para acelerar até a velocidade de marcha lenta, ou pode ainda ser desacelerado, porque não pode produzir energia suficiente para sustentar a rotação ou para acelerar durante a fase inicial do ciclo de partida.

O motor de partida não deve continuar a auxiliar o motor, consideravelmente acima da velocidade de auto aceleração, para evitar um retardo no ciclo de partida, que poderia resultar em uma partida quente ou falsa, ou uma combinação de ambas.

Em pontos apropriados na sequência, o motor de partida, e geralmente a ignição, serão desligados automaticamente.

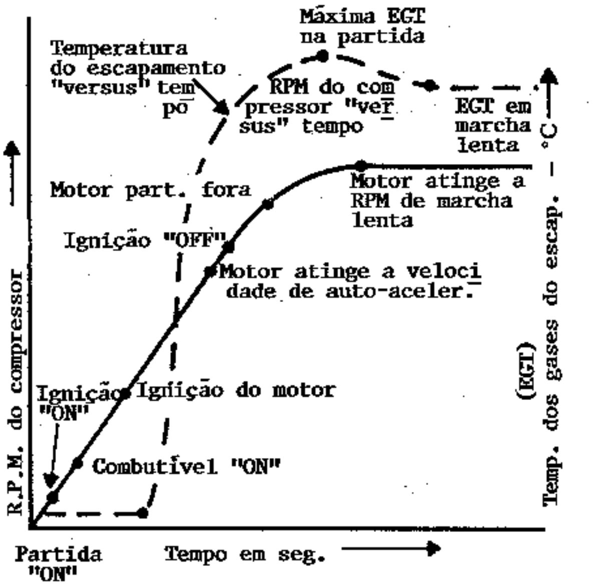


Figura 5-11 Típica sequência de partida de motor a turbina.

Sistemas elétricos de partida

Os sistemas elétricos de partida são de dois tipos, em geral:
(1) Sistemas elétricos de acionamento direto; e
(2) sistemas de arranque e gerador.

Os sistemas elétricos de partida de acionamento direto são similares aqueles usados nos motores alternativos.

O sistema de motor de partida e gerador são similares aos sistemas elétricos de acionamento direto.

Eletricamente, os dois sistemas podem ser idênticos, mas o motor de partida-gerador é permanentemente acoplado com o eixo do motor através de necessárias engrenagens de acionamento, enquanto o motor de partida de acionamento direto deve empregar alguns meios de desacoplamento do eixo após o acionamento do motor da aeronave.

Motores de partida de acionamento direto nos motores de turbina a gás

Em alguns arranques de acionamento direto, usados nos motores de turbina a gás, nenhuma embreagem de alívio de sobrecarga ou mecanismo de engrenagem de redução são usados. Isto acontece por causa dos requerimentos de baixo torque e de alta velocidade para a partida dos motores de turbina a gás. Um mecanismo de redução de voltagem é utilizado, principalmente nos sistemas de partida para evitar danos no conjunto de acoplamento.

A figura 5-12 mostra o circuito de controle de redução de voltagem. O mecanismo é montado em alojamento à prova de explosão, que contém 5 relés e uma resistência de 0,042 ohm. Quando a chave da bateria é fechada, a mola do relé de retardo é energizada. O aterramento do circuito para a mola deste relé é completada através do motor de partida.

Quando a chave do motor de partida é movida para a posição partida, um circuito é completado para a mola do relé de aceleração. O fechamento dos contatos do relé completam um circuito da barra através dos contatos fechados, o resistor de 0,042 ohm, da bobina do relé em série, e finalmente através do motor de partida para o aterramento. Desde que o resistor de 0,042 ohm cause uma queda na voltagem, a baixa voltagem é aplicada ao motor de partida, evitando danos de torque elevado. O relé de retardo volta para a sua posição normal (fechado), desde que nenhuma diferença de potencial exista entre os terminais da bobina do relé de retardo com os contatos fechados do relé de aceleração.

O fechamento do relé de retardo completa um circuito para a bobina do relé do motor (fig. 5-12). Com o relé do motor energizado, um circuito completo existe através desse relé e a bobina do relé em série para o motor de partida, desviando o resistor de 0,042 ohm.

Quando a corrente de 200 ampères ou mais flui para o motor de partida, a bobina do relé em série é energizada suficientemente para fechar os seus contatos .

A chave do motor de partida pode então estar liberada para retornar para sua posição normal "off", porque o circuito do motor de partida está completo através do relé de parada, e o relé em série contacta a mola do relé do motor. Conforme o motor de partida aumenta a rotação, uma força eletromotiva contrária se desenvolve o suficiente para permitir ao relé em série abrir-se e interromper o circuito para o relé do motor. Entretanto, o período de partida é controlado automaticamente pela velocidade do motor do arranque.

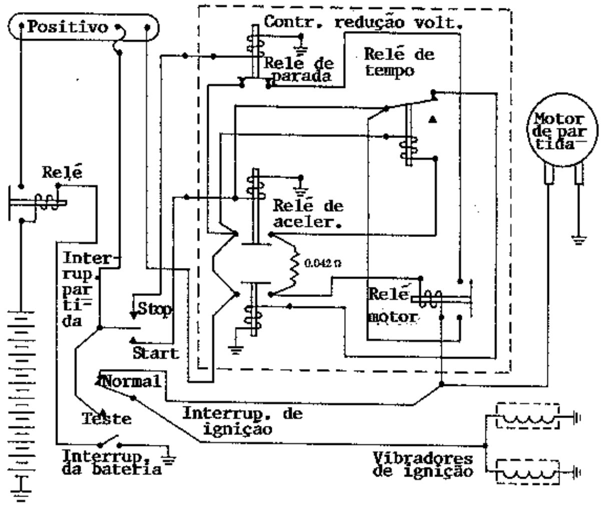

Positivo
Contr. redução volt.
Relé de parada
Relé de tempo
Motor de partida
Relé
Relé de aceler.
0.042 Ω
Inter-rup. partida
Stop
Start
Relé motor
Normal
Teste
Interrup. de ignição
Interrup. da bateria
Vibradores de ignição

Figura 5-12 Circuito de controle de voltagem reduzida para sistema de partida de engrazamento direto para motor de turbina a gás.

SISTEMA DE PARTIDA ARRANQUE-GERADOR

Muitos dos aviões de turbina a gás são equipados com sistemas de arranque-gerador. Esses sistemas de partida usam uma combinação de arranque-gerador que opera como um motor de arranque para acionar o motor durante a partida; e, após o motor ter alcançado a velocidade de auto-sustentação, opera como um gerador para suprir a potência do sistema elétrico.

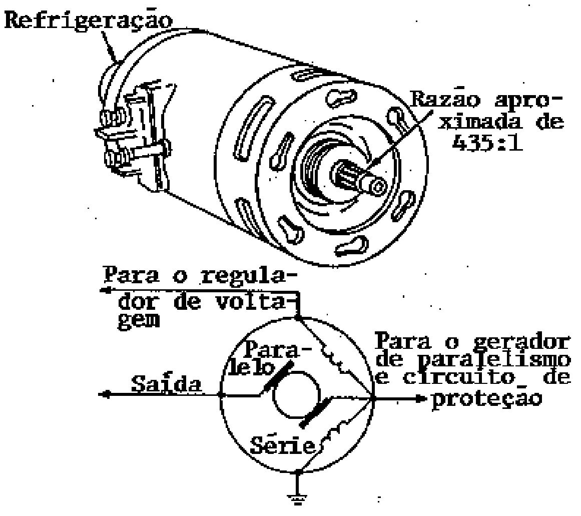

Refrigeração
Razão aproximada de 435:1
Para o regulador de voltagem
Para o gerador de paralelismo e circuito de proteção
Paralelo
Saída
Série

Figura 5-13 Típico "Arranque-gerador".

A unidade arranque-gerador, mostrada na figura 5-13, é basicamente uma derivação do gerador com uma quantidade adicional de enrolamentos em série. Este enrolamento em série está eletricamente conectado para produzir um forte campo, resultando num alto torque para a partida.

As unidades arranque-gerador são desejáveis por um ponto de vista econômico, uma vez que executa as funções de ambos, arranque e gerador.

Adicionalmente, o peso total dos componentes do sistema de partida é reduzido, e poucas peças de reposição são requeridas.

O circuito interno de um arranque-gerador mostrado na figura 5-14 tem 4 enrolamentos de campo. (1) Campos em série (campo "C"); (2) Uma derivação do campo; (3) Um campo de compensação; e (4) Um enrolamento de interpolação ou comunicação. Durante a partida, os enrolamentos em série ("C"), de compensação e comunicação, são usados.

A unidade é similar ao arranque de acionamento direto, uma vez que todos os enrolamentos usados durante a partida estão em série com a fonte.

Enquanto agindo como arranque, a unidade não faz uso prático da sua derivação de campo. Uma fonte de 24 volts e 15500 ampères é geralmente requerida para a partida.

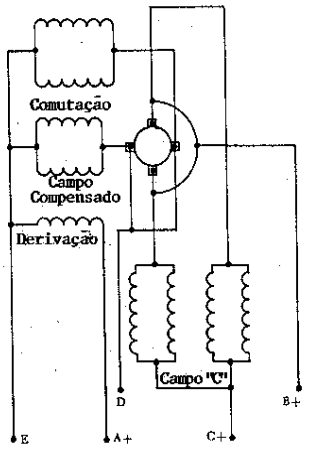

Comutação
Campo Compensado
Derivação
Campo "C"
D
B+
E
A+
C+

Figura 5-14 Circuito interno do arranque-gerador.

Quando operando como gerador, os enrolamentos de derivação, compensação e comunicação são usados. O campo "C" é usado somente para propósitos de partida. O campo de derivação é conectado no circuito de controle de voltagem convencional para o gerador. Enrolamentos de compensação e comutação (interpolos) suprem a comutação quase sem centelha, de nenhuma carga para carga total.

A figura 5-15 ilustra o circuito externo de um arranque-gerador com um controlador de baixa corrente.

Essa unidade controla o arranque-gerador quando este é usado. Seu propósito é assegurar ação positiva de arranque, e mantê-lo operando até que o motor esteja girando rápido o suficiente para sustentar a combustão.

O bloco de controle do controlador de baixa corrente contém dois relés, um é o relé do motor, que controla a entrada para o arranque; o outro é o relé de baixa corrente, que controla a operação do relé do motor.

A sequência de operação para o sistema de partida mostrado na figura 5-15 é discutido nos parágrafos seguintes.

Para dar partida num motor equipado com um relé de baixa corrente, primeiro é necessário desligar a chave mestra do motor. Isto completa o circuito da barra da aeronave para a chave de partida, para as válvulas de combustível e para o relé da manete de potência. Energizando esse relé, as bombas de combustível são acionadas, e completando o circuito da válvula de combustível, dá a pressão necessária para a partida do motor.

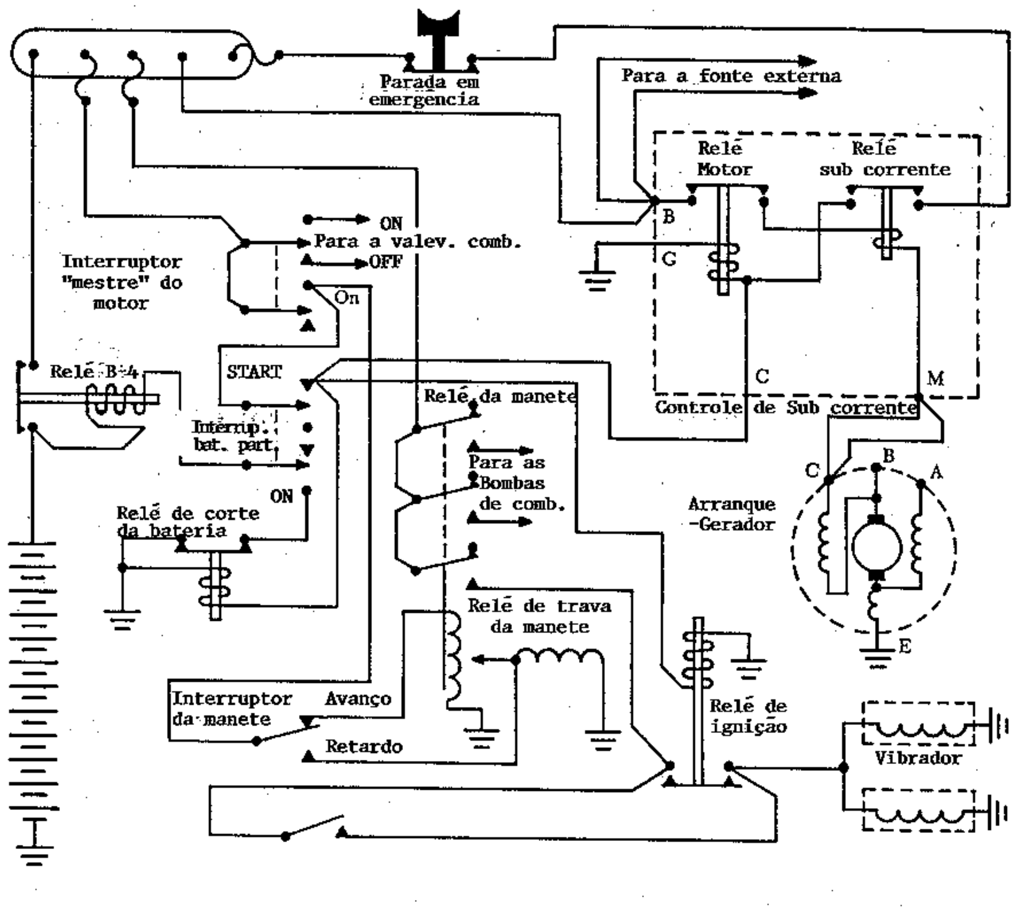

Parada em emergência
Para a fonte externa
Relé Motor
Relé sub corrente
B
C
ON
Para a valev. comb.
OFF
Interruptor "mestre" do motor
On
Relé B-4
START
Relé da manete
Interrup. bat. part.
Para as Bombas de comb.
ON
Relé de corte da bateria
C
M
Controle de Sub corrente
C
B
A
Arranque -Gerador
E
Relé de trava da manete
Interruptor da manete
Avanço
Retardo
Relé de ignição
Vibrador

Figura 5-15 Circuito de motor de arranque-gerador.

Conforme a chave da bateria e de partida são ligadas, três relés fecham. Eles são o relé do motor, o da ignição e o de corte da bateria. O relé do motor fecha o circuito da fonte de potência para o motor de arranque; o relé de ignição fecha o circuito da unidade de ignição; e o de corte da bateria, desconecta a bateria. A abertura do circuito da bateria é necessária devido ao pesado dreno de energia motor de arranque danificaria a bateria.

O fechamento do relé do motor permite que uma corrente muito alta flua para o motor. Desde que essa corrente flua através da bobina do relé de baixa corrente, ele fecha.

O fechamento do relé de baixa corrente completa um circuito da barra positiva para a bobina do relé do motor de partida, bobina do relé de ignição e bobina do relé de corte da bateria.

A chave de partida está liberada para retornar a sua posição normal “desligada“, e todas as unidades continuam a operar.

Conforme a velocidade do motor se desenvolve, o dreno de corrente começa a diminuir, e ao atingir menos de 200 ampères o relé de baixa corrente abre. Isto abre o circuito da barra positiva para as bobinas dos relés do motor, ignição e corte da bateria. A desenergização das bobinas dos relés faz parar a operação de partida.

Depois que os procedimentos descritos estiverem completos, o motor está operando eficientemente, e a ignição auto sustentada. Se o motor falhar para atingir a velocidade suficiente, interrompendo a operação de partida, a chave de parada pode ser usada para abrir o circuito da barra positiva para os contatos principais do relé de baixa corrente.

Numa instalação típica de aeronave, um arranque-gerador é montado na caixa de acessórios do motor.

Durante a partida, a unidade do arranque-gerador funciona como um motor de partida C.C. até que o motor tenha chegado a uma velocidade pré-determinada de auto-sustentação. Aviões equipados com duas baterias de 24 volts podem suprir a carga elétrica requerida pela operação das baterias em configuração.

A descrição seguinte do procedimento de partida usado num avião turbojato de 4 motores, equipado com uma unidade de arranque-gerador, é típico da maioria dos sistemas de partida de arranque-gerador.

A potência de partida, que só pode ser aplicada a um arranque-gerador por vez, está conectada a um terminal de seleção do arranque-gerador através de um relé de partida correspondente. A partida do motor é controlada por um painel.

Um painel de partida típico (figura 5-16) contém as seguintes chaves: chave seletora do motor, seletora de potência, de partida em vôo e uma chave de partida. A chave seletora do motor mostrada na figura 5-16 tem cinco posições (“1”, “2”, “3”, “4” e “OFF”), e é girada para a posição correspondente ao motor a ser acionado. A chave seletora de energia é usada para selecionar o circuito elétrico aplicável da fonte de externa (unidade auxiliar de energia ou bateria) que está sendo usada. A chave de partida em vôo, quando colocada na posição “NORMAL”, arma o circuito de partida no solo.

Quando colocada na posição “AIR-START”, os ignitores podem ser energizados independentemente da chave de ignição da manete. A chave de partida, quando na posição “START”, completa o circuito para o arranque-gerador do motor selecionado para a partida, e causa a rotação do motor. O painel de partida do motor, mostrado também, inclui uma chave de bateria.

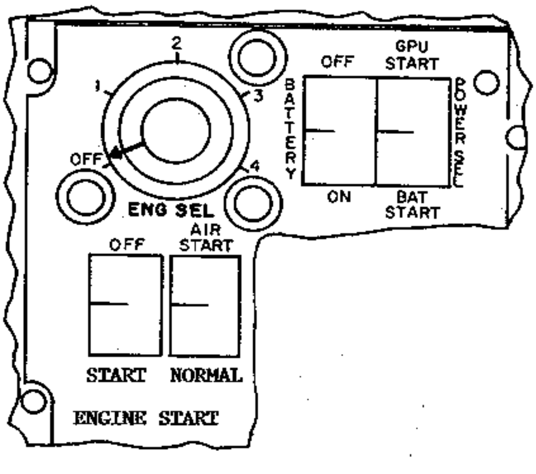


Figura 5-16 Painel de partida do motor.

Quando um motor de partida é selecionado com a chave seletora, e a chave de partida é mantida na posição “START”, o relé de partida correspondente ao motor selecionado é energizado, e conecta aquele arranque-gerador do motor à barra de partida. Quando a chave de partida é colocada na posição “START”, um relé de travamento de partida é também energizado. Uma vez energizado, o relé provê seu próprio circuito de atuação e permanece energizado, provendo circuitos fechados para as funções de partida.

Durante a partida no solo, o relé de alívio temporário de sobrevoltagem para cada arranque-gerador selecionado, é energizado através de circuitos de controle de partida. Quando o relé está energizado, a proteção de sobrevoltagem para o arranque-gerador selecionado é suspensa. Um caminho alternativo do regulador de voltagem para o arranque-gerador selecionado é também provido para remover controle e resistência indesejáveis do campo de derivação de partida.

Em algumas aeronaves, uma chave de bateria está instalada no compartimento do receptáculo da fonte externa. Quando a porta é fechada, ativando a chave, os circuitos de controle de partida no solo funcionam somente para partida com a bateria. Quando a porta é aberta, somente partidas com a fonte externa podem ser efetuadas. Um relé em série para a bateria é também uma unidade necessária no sistema de partida. Quando energizado, o relé da bateria conecta duas baterias de 24 volts em série para o barramento de partida, provendo uma voltagem inicial de 48 volts. A grande queda de voltagem, que ocorre na entrega da corrente necessária para a partida, reduz a voltagem em aproximadamente 20 volts. A voltagem aumenta gradualmente, à medida em que a corrente de partida diminui com a aceleração do motor e a voltagem no barramento do arranque.

Eventualmente se aproxima do seu máximo original de 48 volts.Algumas aeronaves multimotoras equipadas com arranque-geradores incluem um relé de partida em paralelo no seu sistema de partida.

Logo que os dois primeiros motores de uma aeronave de 04 motores tenha girado,o fluxo de corrente para partida dos dois últimos motores passa através de um relé de partida em paralelo.

Problemas	**Isolando o problema**	**Ação corretiva**
O MOTOR DA AERONAVE NÃO GIRA DURANTE A TENTATIVA DE PARTIDA:		
Baixo suprimento de voltagem para o arranque.	Verificar a voltagem da bateria ou da fonte externa.	Ajustar a voltagem da fonte externa ou das baterias.
Chave de força defeituosa.	Verificar a continuidade do interruptor.	Substituir a chave.
Interruptor do quadrante da manete.	Verificar a continuidade do interruptor.	Substituir o interruptor.
Relé de travamento (lockout) energizado.	Verificar a posição da chave de controle do gerador.	Colocar a chave na posição “OFF”.
Relé em série da bateria está defeituoso.	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé em série da bateria, acusa 48 V. C.C.	Substituir o relé se não houver voltagem.
O relé de partida está defeituoso.	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé de partida, cruzam 48 V. C.C.	Substituir o relé se não houver voltagem.
Defeito no motor de arranque.	Com o circuito de partida energizado, verificar se a voltagem adequada chega ao arranque.	Se houver voltagem, substituir o arranque.
Defeito no relé de travamento ligado (lock-in).	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé cruzam 28 V. C.C.	Substituir o relé se não houver voltagem.
Eixo de acionamento do arranque de um componente da	Ouvir o som do arranque durante a tentativa de partida.	Substituir o motor da aeronave.

caixa de engrenagens está cisalhado.	Se o arranque gira e o motor da aeronave não, o eixo está cisalhado	
O MOTOR DA AERONAVE DÁ PARTIDA, MAS NÃO ACELERA PARA A MARCHA LENTA		
Arranque com voltagem insuficiente.	Testar a voltagem terminal do arranque.	Utilizar uma fonte externa de maior potência, ou aumentar a carga da bateria.
O MOTOR DA AERONAVE FALHA NA PARTIDA QUANDO A MANETE É COLOCADA EM MARCHA LENTA (IDLE):		
Sistema de ignição com defeito.	Ligar o sistema e ouvir se os acendedores estão operando.	Limpar ou substituir os acendedores, ou substituir os excitadores ou a fiação para os acendedores..

Tabela 7 - Procedimentos para pesquisa de problemas no sistema de partida Arranque-gerador.

Quando se parte os dois primeiros motores, o requerimento de potência, necessário para a partida, conecta as duas bateria em série. Assim que os geradores de dois ou mais motores estejam provendo energia, a energia combinada das duas baterias em série não é mais necessária. Quando o relé de partida em paralelo é energizado, o circuito da bateria é trocado de série para paralelo.

Para dar a partida num motor com as baterias do avião, a chave de partida é colocada na posição “START” (Figura 5-16). Isto completa um circuito através de um disjuntor, da chave de ignição da manete e da chave seletora do motor, para energizar o relé de travamento na posição ligada (*lock-in)*. A energia, então, tem um caminho da chave do arranque através da posição “BAT START” da chave seletora de energia, para energizar o relé de baterias em série, pois ele conecta as baterias do avião em série com a barra de partida

Energizando o relé do arranque do motor Nº 1, direciona-se energia da barra de partida para o arranque-gerador Nº 1, que então gira o motor.

Ao mesmo tempo em que as baterias são conectadas para a barra de partida, a energia é direcionada para a barra apropriada pela chave de ignição da manete. O sistema de ignição é conectado para a barra de partida através de um relé de sobrevoltagem, que não se torna energizado até que o motor comece a acelerar e a voltagem da barra de partida chegue acerca de 30 volts. Conforme o motor é girado pelo arranque, a aproximadamente 10% de r.p.m., a manete é avançada para a posição “IDLE” (Marcha Lenta). Esta ação atua sobre a chave de ignição da manete, energizando o relé do ignitor. Quando o relé do ignitor é fechado, a energia é provida para excitar os ignitores e inflamar o motor.

Quando o motor chega entre 25 a 30% de r.p.m., a chave de partida é liberada para a posição “OFF”.

Isto remove os circuitos de ignição e partida do ciclo de partida do motor, que então acelera sob sua própria potência.

Pesquisa de panes do sistema de partida arranque-gerador

Os procedimentos listados na tabela 7 são típicos daqueles usados para reparo de mal funcionamento no sistema de partida arranque-gerador, similar ao sistema descrito nesta seção Esses procedimentos são apresentados como um guia.. As instruções apropriadas dos fabricantes e as diretivas aprovadas de manutenção de vem sempre ser consultadas para a aeronave envolvida.

MOTOR DE PARTIDA DE TURBINA A AR

Os arranques de turbina a ar são projetados para proverem alto torque na partida de uma fonte pequena e de peso leve. O arranque de turbina a ar típico pesa de um quarto a metade de um arranque elétrico, capaz de dar partida no mesmo motor. Ele é capaz de desenvolver duas vezes o torque de um arranque elétrico. O arranque de turbina a ar típico consiste em uma turbina de fluxo axial, que gira um acoplamento de acionamento através de um trem de engrenagens de redução e um mecanismo de embreagens de partida. O ar, para operar um arranque de turbina a ar, é suprido tanto de um compressor operado no solo ou ar sangrado de outro motor. Garrafas auxiliares de ar comprimido estão disponíveis em algumas aeronaves para operar o arranque de turbina a ar.

A figura 5-17 é uma vista em corte de um arranque de turbina a ar. O arranque é operado pela introdução de pressão e volume suficientes de ar na entrada do arranque. O ar passa por dentro do alojamento da turbina do arranque, onde é direcionado contra as lâminas do rotor pelas aletas do bocal, ocasionando a rotação do rotor da turbina. Conforme o rotor gira, ele aciona o trem de engrenagens de redução e o arranjo de embreagens, que inclui o pinhão do rotor, engrenagens planetárias e de suporte, conjunto de embreagens de escora, conjunto do eixo de saída e acoplamento de acionamento.

O conjunto de embreagens de escora acopla automaticamente assim que o rotor começa a girar, mas desacopla logo que o conjunto de acionamento gira mais rapidamente que o lado do rotor. Quando o arranque alcança esta velocidade, a ação da embreagem de escora permite que o trem de engrenagem gire livre até parar. O conjunto do eixo de saída e o acoplamento de acionamento continuam a girar enquanto o motor estiver girando.

Um atuador da chave do rotor, montado no cubo do rotor da turbina, está programado para abrir a chave quando o arranque alcançar a velocidade desta. A abertura da chave da turbina interrompe o sinal elétrico para a válvula reguladora de pressão. Isto fecha a válvula e corta o suprimento de ar para o arranque.

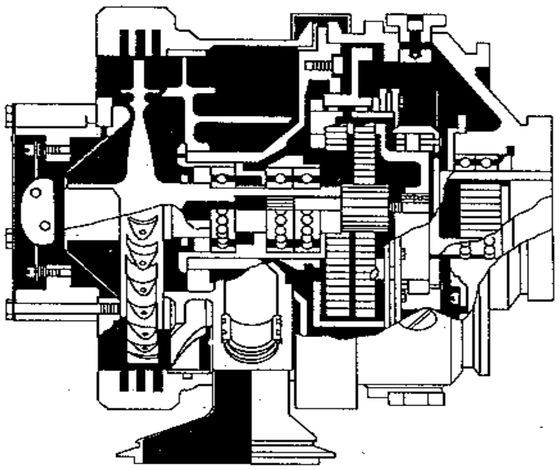


Figura 5-17 Corte de um motor de partida à turbina de ar.

O alojamento da turbina contém o rotor da turbina, o atuador da chave do rotor e os componentes dos bocais que direcionam o ar de entrada contra as palhetas do rotor. O alojamento da turbina incorpora um anel de contenção do rotor da turbina, projetado para dissipar a energia dos fragmentos das palhetas e, direcionar suas descargas a baixas energias para os dutos de escapamento, no caso de falha do rotor devido a excessiva velocidade da turbina.

O alojamento da turbina contém as engrenagens de redução, componentes da embreagem e o acoplamento de acionamento. O alojamento da transmissão também possui um reservatório de óleo lubrificante.

O óleo é acrescentado ao cárter do alojamento da transmissão através de um bocal na parte superior do arranque. Esse bocal é fechado por uma tampa ventilada, contendo uma válvula de esfera que permite que o cárter seja ventilado para a atmosfera durante o vôo normal, e evita perda de óleo durante o vôo invertido.

O alojamento também incorpora dois orifícios de verificação do nível de óleo. Uma tampa magnética na abertura do dreno da transmissão atrai qualquer partícula ferrosa que possa estar no óleo.

O alojamento da engrenagem anel, que é interno, contém o conjunto do rotor. O alojamento da chave contém a chave da turbina e o conjunto de ferragens.

Para facilitar a instalação e remoção do arranque, um adaptador de montagem está aparafusado na bloco de montagem do motor.

Braçadeiras de desengate rápido juntam o arranque ao adaptador de montagem e ao duto de entrada.

Então, o arranque é facilmente removido para manutenção ou revisão, desconectando a linha elétrica, afrouxando-se as braçadeiras e, cuidadosamente, removendo o acoplamento de acionamento do arranque do motor conforme este seja retirado máxima disponível do arranque for alcançada.

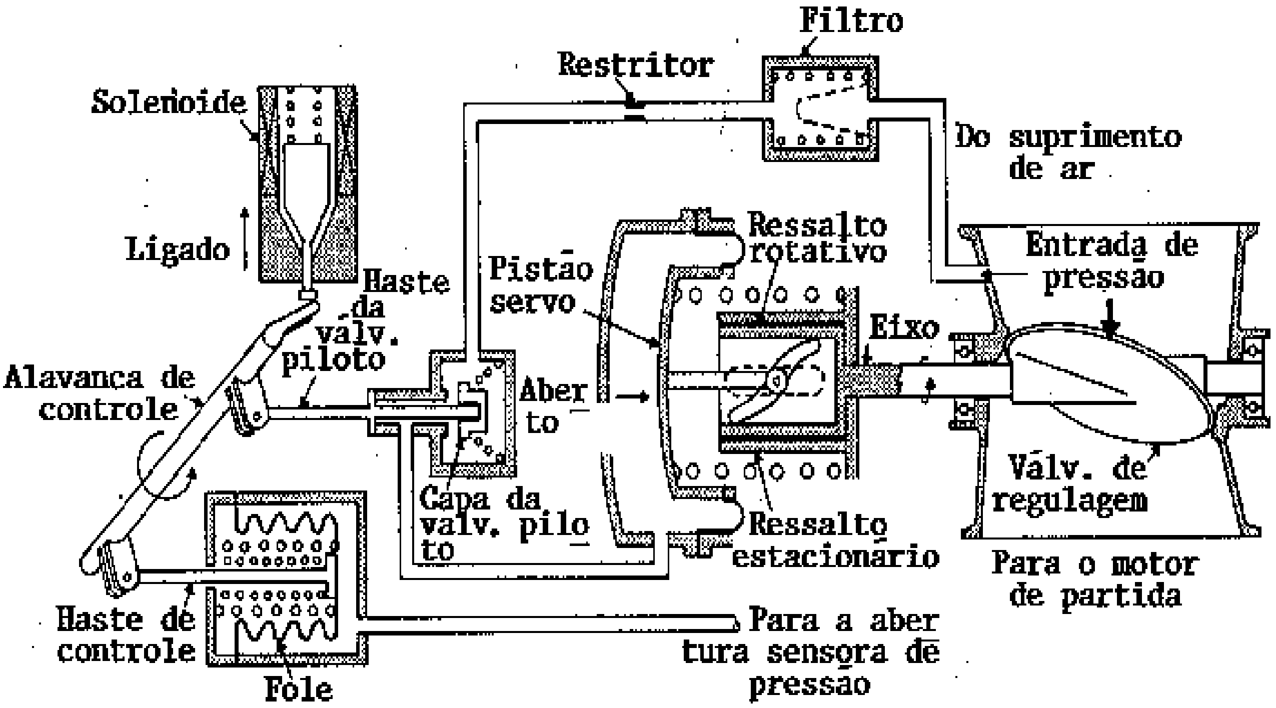

Filtro
Restritor
Solenoide
Do suprimento de ar
Ligado
Pistão servo
Ressalto rotativo
Entrada de pressão
Haste da válv. piloto
Eixo
Alavanca de controle
Aberto
Capa da válv. piloto
Válv. de regulagem
Ressalto estacionário
Para o motor de partida
Haste de controle
Fole
Para a abertura sensora de pressão

Figura 5-18 Válvula de corte e de regulagem da pressão na posição "aberta".

O arranque de turbina a ar, mostrado na figura 5-17, é utilizado para acionar grandes motores de turbina a gás. O arranque é montado no bloco do motor, e seu eixo de acionamento é conectado por hastes mecânicas ao compressor do motor. Ar vindo de uma fonte disponível, como uma unidade operada no solo ou compressor de ar, é utilizado para operar o arranque.

O ar é direcionado através de uma combinação de pressão regulada e válvula de corte no duto de entrada do arranque.

Essa válvula regula a pressão do ar de operação do arranque, e corta o suprimento de ar quando a velocidade O conjunto da válvula reguladora consiste de um corpo de válvula, contendo uma válvula tipo borboleta (figura 5-18).

O eixo da válvula borboleta é conectado através de um arranjo de cames para o pistão de um servo. Quando o pistão é atuado, seu movimento sobre o came causa a rotação da válvula borboleta.

A inclinação do ressalto foi projetada para prover pequenos passeios iniciais e elevados torques, quando o arranque é atuado. A inclinação do ressalto também provê ação mais estável pelo aumento do tempo de abertura da válvula.

O conjunto de controle está montado sobre o alojamento da válvula, e consiste de um alojamento de controle onde o solenóide é usado para parar a ação do controle da haste na posição "OFF" (Figura 5-18).

A haste de controle é ligada a uma válvula piloto, que mede a pressão para o pistão servo, e aos foles conectados por uma linha de ar à entrada sensitiva de pressão no arranque.

Ligando-se a chave do arranque, energiza-se o solenóide da válvula. O solenóide retrai e permite que o controle de acionamento gire para a posição "OPEN". O controle de acionamento é girado pela mola da haste de controle, movendo-a contra o terminal dos foles. Como a válvula reguladora está fechada, e a pressão a jusante é desprezível, os foles podem ser estendidos totalmente pelas molas.

Conforme o controle de acionamento gira para a posição aberta, a haste da válvula piloto abre, permitindo ar a montante, que é suprido para a válvula piloto através de um filtro e uma restrição no alojamento, para fluir para o interior da câmara do pistão servo.

O lado de dreno da válvula piloto, que sangra a câmara do servo para a atmosfera, é agora fechado pela haste da válvula piloto, e o pistão servo move-se para dentro (Figura 5-18). Esse movimento linear do pistão do servo é transformado em movimento de rotação do eixo da válvula pela rotação do came, abrindo então a válvula reguladora.

Conforme a válvula abre, a pressão ajusante aumenta. Essa pressão é sangrada de volta para os foles através da linha sensitiva, comprimindo-os. Esta ação move a haste de controle, girando o controle de acionamento e movendo a haste da válvula piloto gradualmente na direção da câmara do servo, para escapar para a atmosfera (Figura 5-18).

Quando a pressão a jusante (regulada) alcança um valor pré-determminado, a quantidade de ar fluindo no interior do servo através da restrição, equaliza a quantidade de ar sendo sangrada para a atmosfera, através do servo e do sistema que está em estado de equilíbrio.

Quando a válvula está aberta, o ar regulado passando através da entrada do alojamento do arranque, colide com a turbina causando a rotação.

Conforme a turbina gira, o trem de engrenagem é ativado e a engrenagem da embreagem interna que é rosqueada a um parafuso helicoidal, move-se para frente conforme este gira e seus dentes acoplam aqueles da engrenagem da embreagem externa, para acionar o eixo de saída do arranque. A embreagem é do tipo “overruning” para facilitar o acoplamento positivo e minimizar trepidações. Quando a velocidade de partida é alcançada, um jogo de contrapesos em uma chave de corte centrífuga atua um pistão, que corta o circuito de aterramento do solenóide. Quando o circuito de aterramento é quebrado e, o solenóide é desenergizado, a válvula piloto é forçada a voltar para a posição “OFF”, abrindo a câmara do servo para a atmosfera (ver figura 5-19). Esta ação permite que a mola do atuador mova a válvula reguladora para a posição “CLOSED”. Para manter um vazamento mínimo na posição “OFF”, a válvula piloto incorpora uma cobertura interna, que sela a pressão a montante para o servo e a passagem de ar sangrado para a câmara do servo.

Quando o ar para o arranque é cortado, a engrenagem da embreagem externa acionada pelo motor, começará a girar mais rápido do que a engrenagem da embreagem interna, e a engrenagem da embreagem interna, atuada pela mola de retorno, desacoplará a engrenagem da embreagem externa, permitindo ao rotor girar livre até parar. O eixo da embreagem externa continuará a girar com o motor.

Guia de pesquisa de panes do arranque de turbina a ar

Os procedimentos de pesquisa de panes listados na tabela 8 são aplicáveis aos sistemas de partida à turbina a ar, equipados com uma combinação de válvula reguladora de pressão e válvula de corte.

Estes procedimentos devem ser usados como guia, não tendo a intenção de substituir as instruções do fabricante.

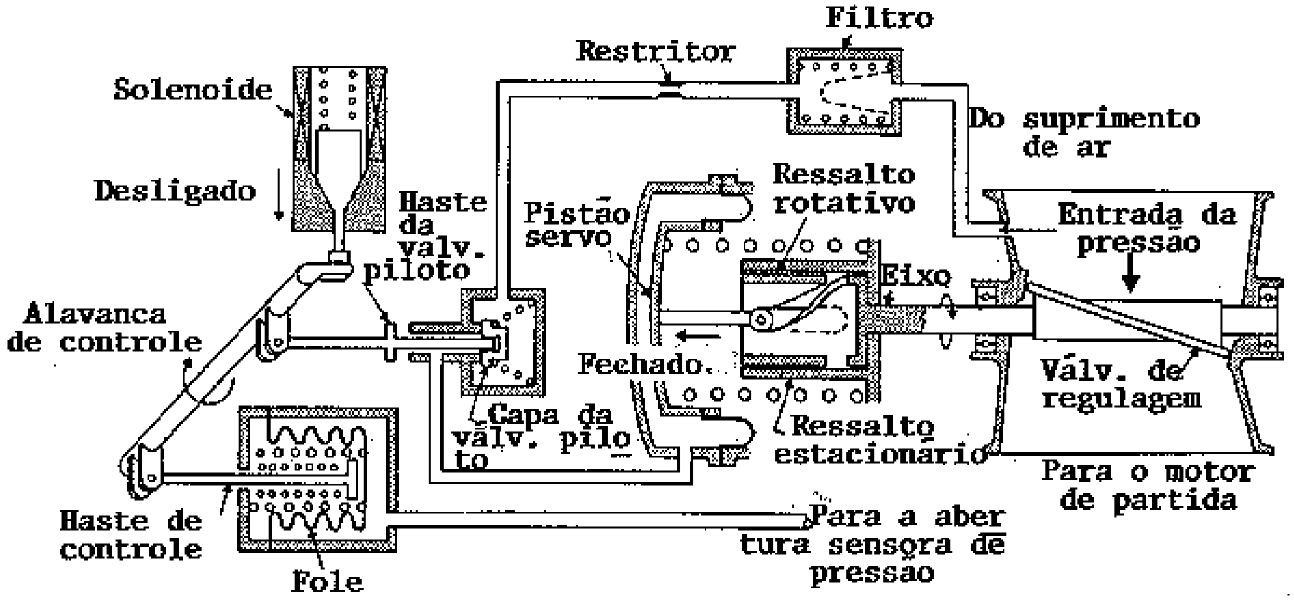

Filtro
Restritor
Solenoide
Do suprimento de ar
Desligado
Ressalto rotativo
Haste da valv. piloto
Pistão servo
Entrada da pressão
Eixo
Alavanca de controle
Fechado
Válv. de regulagem
Capa da valv. piloto
Ressalto estacionario
Para o motor de partida
Haste de controle
Para a abertura sensora de pressao
Fole

Figura 5-19 Válvula de corte e de regulagem da pressão na posição “fechada”.

PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	AÇÃO CORRETIVA
Arranque não gira	Sem suprimento de ar.	Verificar o suprimento de ar.
.	Circuito elétrico aberto na chave de corte.	Verificar a continuidade da chave. Se não houver, remover o arranque e ajustar ou trocar a chave.
	Acoplamento do arranque cisalhado.	Remover o arranque e substituir o acoplamento.
	Defeito interno do arranque.	Remover e substituir o arranque.
Arranque não acelera para a velocidade normal de corte.	Pouco suprimento de ar.	Verificar a pressão da fonte de ar.
	Chave de corte do arranque desregulada.	Ajustar o rotor atuador da chave.
	Válvula regulada para pressão muito baixa.	Substituir a válvula.
	Defeito interno do arranque.	Remover e substituir o arranque.
Vazamento externo de óleo	Nível de óleo muito alto.	Drenar o óleo e reabastecer como previsto.
	Conexões de ventilação do filtro de óleo, ou do plugue magnético, frouxas.	Apertar o plugue magnético para o torque previsto. Apertar e frenar as conexões de ventilação e do filtro de óleo.
O arranque gira, sem acionar o motor da aeronave.	Conjunto de união com braçadeiras frouxas.	Apertar a braçadeira para o torque adequado.
	Acoplamento do arranque cisalhado.	Remover o arranque e substituir o acoplamento. Se persitir a quebra do acoplamento em um período relativamente curto, substituir o arranque.
A admissão do arranque não se alinha com o duto de suprimento.	Instalação imprópria do arranque no motor, ou adaptação inadequada para o arranque.	Verificar a instalação e/ou adequação de acordo com as instruções de instalação do fabricante e a posição da adaptação específica da aeronave.
Partículas metálicas no plugue do dreno magnético	Partículas diminutas como pó indicam desgaste normal.	Nenhuma ação é necessária.
.	Partículas mais grossas do que pó como lascas, limalhas etc., indicando problemas internos.	Remover e substituir o arranque.
Aletas orientadoras quebradas.	Grandes partículas estranhas no suprimento de ar.	Remover e substituir o arranque, e verificar o filtro do suprimento de ar.
Vazamento de óleo do conjunto de ventilação.	Instalação inadequada do arranque.	Verificar o alinhamento das conexões de óleo, e fazer as correções de acordo com as instruções do fabricante.
Vazamento de óleo no conjunto de acionamento.	Vazamento no conjunto de vedação traseiro.	Remover e substituir o arranque.

Tabela 8 - Procedimento para pesquisa de problemas no sistema de partida dos motores de partida (arranque) de turbina a ar.

Arranques de cartucho de motores à turbina

O arranque de cartucho de motores à turbina, algumas vezes chamados de sólido propelente, é usado em alguns grandes motores à turbina. Ele é similar em operação ao arranque de turbina a ar, mas deve ser construído para suportar altas temperaturas, resultantes da queima da carga do propelente sólido para suprir a energia para a partida. Proteção é também provida contra as pressões de torque excessivas e sobrevelocidade da turbina de partida.

Desde que os arranques de cartucho são similares em operação aos arranques à turbina, alguns fabricantes fazem um arranque de motor à turbina que pode ser operado usando-se gás gerado por um cartucho, ar comprimido de uma carreta de suprimento em terra, ou ar sangrado do motor.

Um arranque típico de cartucho/pneumático é descrito em detalhes na próxima seção.

MOTOR DE PARTIDA PNEUMÁTICO/CARTUCHO PARA MOTOR A TURBINA

Um arranque típico pneumático/cartucho de motores a turbina é mostrado na figura 5-20. Este tipo de arranque pode ser operado como um simples arranque de turbina a ar, de um suprimento de ar operado no solo ou de uma fonte de ar sangrado do motor. Ele pode também ser operado como um arranque de cartucho.

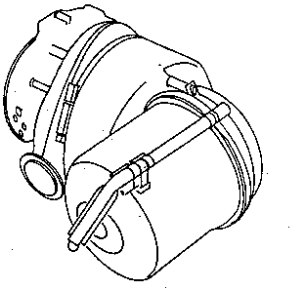


Figura 5-20 Motor de partida pneumática/cartucho.

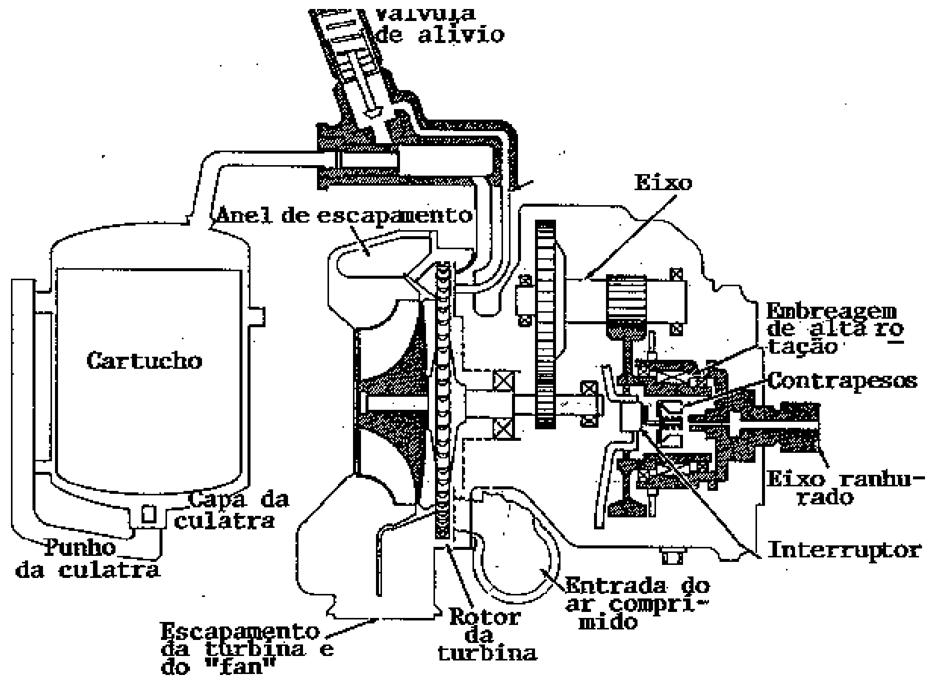

valvula de alivio
Anel de escapamento
Eixo
Embreagem de alta rotação
Contrapesos
Eixo ranhurado
Interruptor
Cartucho
Capa da culatra
Punho da culatra
Entrada do ar comprimido
Rotor da turbina
Escapamento da turbina e do "fan"

Figura 5-21 Esquema de motor de partida pneumática/cartucho.

Os principais componentes do arranque de cartucho estão ilustrados no diagrama esquemático da figura 5-21.

A referência deste diagrama facilitará o entendimento da discussão seguinte. Para efetuar uma partida deste tipo, um cartucho é primeiro colocado na tampa traseira (culatra). A parte traseira é então fechada sobre a câmara por meio de um punho e girado uma fração de volta para acoplar as orelhas entre as duas seções traseiras.

Esta rotação permite que a seção inferior do punho da culatra caia dentro de uma soquete e complete o circuito de ignição do cartucho. Até que o circuito de ignição esteja completado, é impossível ao cartucho inflamar-se. O cartucho é inflamado pela aplicação de voltagem ao conector do terminal do punho da culatra. Este energiza o contato de isolamento de ignição na entrada da tampa da culatra, que toca um ponto sobre o próprio cartucho. O circuito é completado para a massa por um grampo, uma parte do cartucho que faz contato com a parede interna da tampa da culatra. Um esquema do sistema elétrico de partida cartucho/pneumático é mostrado na figura 5-22.

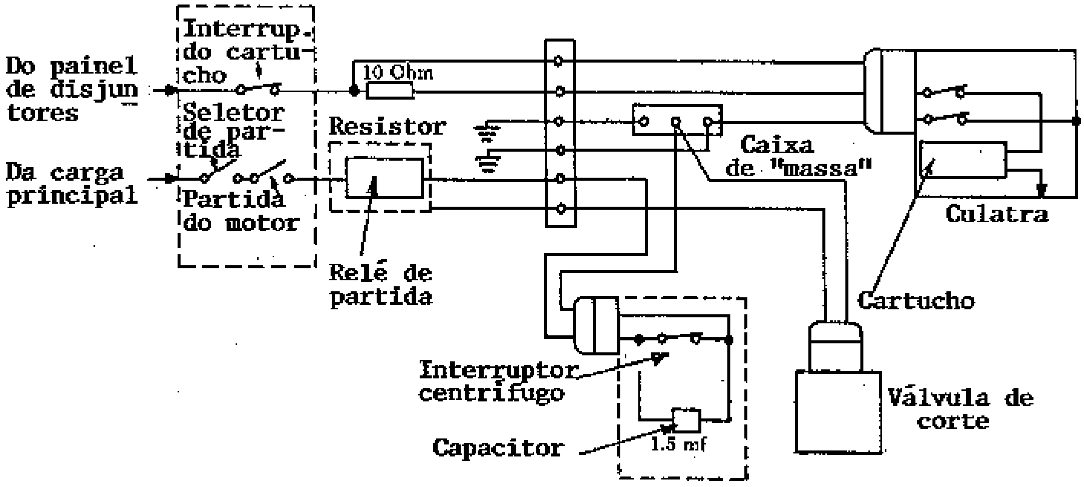


Figura 5-22 Esquema elétrico do motor de partida pneumático/cartucho.

Na ignição, o cartucho começa a gerar gás. O gás é forçado para fora da culatra para aquecer os bocais de gás que são direcionados rumo ao êmbolo no rotor da turbina, e a rotação é produzida.

Gás emergindo do lado oposto da roda da turbina entra no anel e no duto de exaustão, onde é coletado e enviado para fora do arranque via coletor de descarga. Antes de chegar ao bocal, o gás passa por um condutor de saída para a válvula de alívio.

Essa válvula direciona gás quente para a turbina, fazendo um caminho alternativo ao bocal de gás, conforme a pressão aumenta acima da pressão pré-determinada. Então, a pressão de gás dentro do circuito de gás quente é mantido num ótimo nível.

O arranque cartucho/pneumático também pode ser operado por um compressor de ar de uma fonte no solo, ou por uma sangria de ar do motor conduzido por um duto da aeronave para a entrada de ar do compressor.

O ar passa pelo interior do anel de um bocal, e é direcionado contra o êmbolo do rotor da turbina pelas palhetas colocadas ao redor do anel. A rotação é então produzida essencialmente da mesma maneira, como a partida a cartucho. Ar comprimido, deixando o rotor da turbina coletado no mesmo anel de descarga, é direcionado para o exterior através do coletor de descarga.

Se a partida for efetuada pelo cartucho ou ar comprimido, alguma força oposta é requerida para manter a velocidade da turbina entre os limites de segurança. Essa força de oposição é fornecida por uma ventoinha de freio aerodinâmico.

A ventoinha é conectada diretamente ao eixo da turbina. Ele é suprido com ar da nacele da aeronave e sua saída é descarregada para fora por um anel de exaustão concêntrico, localizado dentro do anel de descarga da turbina. Gás aquecido ou ar comprido da descarga e, a saida da ventoinha de freio aerodinâmico, são mantidos separados pelo coletor de escapamento para o exterior.

O eixo da engrenagem é parte da redução de dois estágios, que reduz a velocidade máxima da turbina de aproximadamente 60.000 r.p.m. para uma saída de aproximadamente 4.000 r.p.m. A engrenagem maior gira o conjunto do eixo de saída através de uma embreagem.

A embreagem está situada na área de saída entre o eixo da engrenagem, sobre o qual a engrenagem de acionamento está localizada, e o conjunto do eixo de saída. A embreagem é do tipo uma via; seu propósito é evitar que o motor seja acionado pelo arranque após ele operar sob sua própria potência. A natureza da embreagem é que esta possa levar o torque somente em uma direção. Então o membro de acionamento pode operar através da embreagem, para entregar o torque total para o motor, pois o membro acionado não pode se tornar o acionador, ainda que voltando na mesma direção. Qualquer tendência para fazê-lo desacoplará a embreagem.

Quando o motor tiver partido e o arranque completado o seu ciclo, somente o conjunto do eixo de saída e a parte externa (acionamento) da embreagem estarão girando. As outras partes do arranque estarão em descanso.

No caso de mal funcionamento ou travamento da embreagem de saída, o motor pode, sem outro dispositivo de segurança, acionar o arranque a uma velocidade acima da projetada "disparo de r.p.m." do rotor da turbina. Para que isto seja evitado, o arranque é projetado com um desacoplamento para o conjunto do eixo de saída.

Esse conjunto consiste de duas molas pré- carregadas, seções ranhuradas presas juntas por um parafuso de tensão. Uma série de dentes da cremalheira engrenam as seções. Se a falha interna causa ou manifesta um torque excessivo no eixo, os dentes da cremalheira tenderão a separar as duas seções do eixo.

A força de separação é suficiente para cisalhar o parafuso de tensão e desacoplar o arranque completamente. Ambos, parafuso de tensão e eixo, cisalham e dasacoplam o arranque, se o torque brusco exceder os limites projetados para seção de cisalhamento do eixo.

Durante partidas pneumáticas, um relé corta o ar comprimido quando a saída tiver chegado a uma velocidade pré-determinada. Isto é cumprido por um sensor de velocidade do motor, que monitora a r.p.m. no bloco de montagem do arranque. O sensor é atuado por um par de contrapesos. Nas velocidades abaixo da de corte do motor, a haste de um atuador pressiona contra uma chave.

Conforme o arranque se aproxima da velocidade de corte, uma força centrífuga criada pela rotação do eixo de saída, causa ao par de contrapesos a compressão da mola, levantando a haste do atuador e abrindo a chave.

A velocidade de corte pode ser regulada pelo ajuste do parafuso que controla a pressão sobre a mola.

` O motor de partida (arranque) é lubrificado por um sistema de salpique.

Os distribuidores de óleo, presos na pista de saída da embreagem, retiram o óleo da cuba e o distribuem através do interior do arranque, quando as ranhuras giram.

Uma pequena cuba, constituída na carcaça e acoplada a um tubo de óleo, transporta o óleo para a embreagem de ultrapassagem e outras áreas difíceis de serem atingidas. Como a parte em que os distribuidores de óleo estão fixados está constantemente em rotação, sempre que o arranque tiver completado o seu ciclo, a lubrificação continua enquanto o motor da aeronave estiver em operação.

A cuba de óleo contém um plugue magnético para coletar a contaminação do óleo.

MOTOR DE PARTIDA À COMBUSTÃO DE MISTURA COMBUSTÍVEL/AR

Esse tipo de arranque é usado para partidas, tanto em motores turbojato como turboélice, usando a energia da combustão comum do motor à reação e ar comprimido.

O arranque consiste de uma unidade de força girando a turbina e sistemas auxiliares de combustível, ar e ignição.

A operação deste tipo de arranque é, na maioria das instalações, totalmente automática; a atuação de uma simples chave faz com que o arranque funcione e acelere o motor desde o repouso até a velocidade de corte do arranque.

O arranque a combustão (figura 5-23) é um motor a turbina de gás, que libera a sua potência através de um sistema de engrenagens de redução de alta razão.

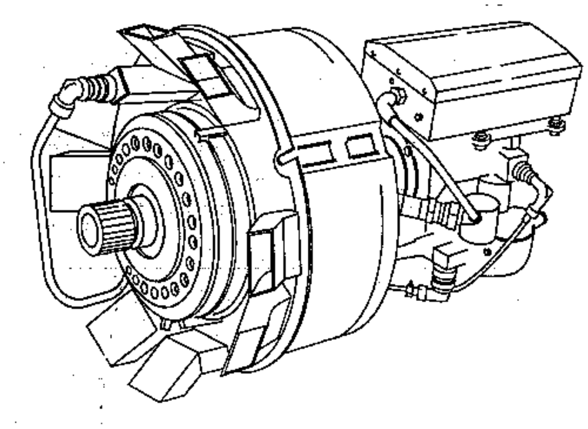


Figura 5-23 Motor de partida a combustão de combustível/ar.

O ar comprimido é normalmente estocado em um cilindro a prova de estilhaçamento, próximo a turbina de combustão a gás.

Esse arranque foi desenvolvido inicialmente para aeronaves de transporte para vôos curtos. Quando ele está instalado, permite partidas rápidas em terminais onde não existe equipamento de solo para partida.

O uso de cilindros de ar comprimido, para girar diretamente um arranque à turbina convencional, está atualmente substituindo os de combustão de misturas combustível/ar.

Normalmente são fornecidos meios de recarga dos cilindros atavés de uma unidade auxiliar de solo. Este tipo de sistema permite várias partidas com apenas uma garrafa de ar comprimido.

CAPÍTULO 6

SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

-

INTRODUÇÃO

O primeiro propósito da lubrificação é reduzir a fricção entre as partes móveis.

Devido o fato dos lubrificantes líquidos (Óleos) poderem circular prontamente, eles são usados, universalmente, em motores aeronáuticos.

O calor excessivo é sempre indesejável, tanto no motor convencional como no motor a reação.Se não houver um meio de controlar o calor,ou eliminá-lo, um grande dano ou falha completa do motor poderá ocorrer.

Em Teoria, a lubrificação fluida é baseada na ação da separação de superfícies, de tal forma que o contato “metal com metal” não ocorra.

Enquanto uma película de óleo permanecer contínua, a fricção metálica é substituída por uma fricção interna no fluido lubrificante. Sob condições ideais, fricção e desgaste são mantidos em um nível mínimo.

Em adição à redução de atrito, a película de óleo age como um colchão entre as peças metálicas.

Este efeito de amortecimento é particularmente importante para peças como bielas e eixos de manivelas, – as quais estão sujeitas a cargas de choque. Como o óleo circula através do motor, ele absorve o calor das peças.

Pistões e paredes dos cilindros em motores a explosão (convencionais) são especialmente dependentes do óleo para resfriamento.

O óleo ajuda na formação de um selo entre o pistão e a parede do cilindro, para prevenir vazamentos dos gases da câmara de combustão; além de reduzir o desgaste abrasivo, recolhendo partículas estranhas e levando-as até o filtro, onde são retidas.

REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS DOS LUBRIFICANTES PARA MOTORES A EXPLOSÃO (CONVENCIONAIS)

Existem diversas propriedades que um óleo adequado para motores deve possuir, porém a viscosidade é o mais importante para a operação do motor.

A resistência de um óleo para fluir é conhecida como viscosidade. Um óleo que flui vagarosamente é viscoso ou tem alta viscosidade; se flui livremente, este possui baixa viscosidade. Infelizmente, a viscosidade do óleo é afetada pela temperatura.

Não é incomum para alguns tipos de óleo se tornarem sólidos em climas frios. Isso aumenta o arrasto e faz com que a circulação seja quase impossível.

Outros óleos podem se tornar tão “finos” a alta temperatura, que a película de óleo se rompe, resultando em rápido desgaste das partes móveis.

O óleo selecionado para lubrificação de motores aeronáuticos deve ser “fino” o suficiente para circular livremente, e encorpado o bastante para prover uma película de óleo nas temperaturas de operação do motor.

Desde que os lubrificantes variem suas propriedades, e nenhum óleo é satisfatório para todo tipo de motor e condições de operação, é de extrema importância que somente o óleo de grau recomendado seja usado.

Diversos fatores devem ser considerados na determinação do grau do óleo a ser utilizado em um motor. A carga de operação, as rotações e as temperaturas de trabalho são as mais importantes.

As condições de operação, a serem atingidas em vários tipos de motores, determinarão o grau do óleo lubrificante a ser usado.

O óleo usado em motores a explosão (convencionais) tem uma viscosidade relativamente alta, porque:

1. O motor possui grandes folgas no funcionamento, devido a partes móveis de tamanho relativamente grande, diferentes materiais usados e diferentes taxas de expansão térmica desses materiais.
2. Está sujeito a altas temperaturas de operação.
3. Está sujeito a altas pressões nos rolamentos.

As seguintes características dos óleos lubrificantes servem para medir o grau e adequabilidade:

1. **Ponto de vapor e ponto de chama** - São determinados a partir de testes em laboratórios, que mostram a temperatura em que o óleo começa a desprender vapor; e a temperatura em que há suficiente vapor para alimentar uma chama. Esses pontos são estabelecidos para óleos dos motores para determinar se eles suportarão as altas temperaturas.

2. **Ponto de névoa e ponto de fluidez** - Também ajudam a indicar a adequabilidade. O ponto de névoa de um óleo é a temperatura na qual o seu conteúdo parafínico, normalmente mantido em solução, começa a solidificar e separar em microcristais, dando ao óleo uma aparência nebulosa ou enfumaçada. O ponto de fluidez de um óleo é a temperatura mais baixa, em que este fluirá ou poderá ser derramado.

3. **Peso específico_**- É a proporção do peso de uma substância pelo peso, de igual volume de água destilada a uma temperatura determinada. Como exemplo, a água pesa aproximadamente 8 libras por galão; um óleo de peso específico 0.9 pesará 7,2 libras por galão.

Geralmente os óleos comerciais de aviação são classificados numericamente como 80,100,140, etc., os quais são uma aproximação das suas viscosidades medidas por um instrumento de teste chamado Viscosímetro Universal de Saybolt. Nesse instrumento um tubo retém uma quantidade específica do óleo a ser testado.

O óleo é colocado na temperatura exata por um banho aquecido em torno do tubo.

O tempo em segundos, requerido para que exatamente 60 cm^3 de óleo fluam através de um acurado orifício calibrado, é anotado como a medida da viscosidade do óleo.

Se os valores de *Saybolt* obtidos fossem usados para designar a viscosidade do óleo, provavelmente existiriam centenas de tipos de óleo.

Para simplificar a seleção de óleos, eles freqüentemente são classificados sob um sistema SAE (*Society of Automotive Engineers*), o qual divide os óleos em sete grupos (SAE 10 a 70), de acordo com a viscosidade a 130°F ou 210°F.

As classificações SAE são puramente arbitrárias, e não possuem relacionamento direto com o de *Saybolt* ou outra classificação.

A letra "W" ocasionalmente é incluída no número SAE, dando uma designação tal como SAE 20W. Essa letra "W" indica que o óleo, por ter atingido os requerimentos de viscosidade nas temperaturas de teste especificadas, é um óleo satisfatório para o uso no inverno (*Winter*) em climas frios.

Embora a escala SAE tenha eliminado alguma confusão nas designações dos óleos lubrificantes, não se deve assumir que essa especificação cubra todos os requisitos de viscosidade importante.

Um número SAE indica somente a viscosidade (grau) ou viscosidade relativa; isso não indica qualidade ou outra característica essencial.

É bem sabido que existem bons óleos, e óleos inferiores, que possuem a mesma viscosidade a dadas temperaturas e, desta forma, estão sujeitos à classificação no mesmo grau.
– As letras "SAE" em uma lata de óleo não são um endosso, ou recomendação de um óleo, pela "*Society of Automotive Engineers*".

Número da Aviação Comercial	Número SAE Comercial	Número da Especificação Militar
65	30	1065
80	40	1080
100	50	1100
120	60	1120
140	70	

Figura 6-1 - Designação de graus para óleos de aviação

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE MOTORES A EXPLOSÃO (CON--VENCIONAIS)

Sistemas do tipo cárter seco.

Muitos motores à explosão (convencionais), de aeronaves, possuem sistemas de lubrificação do tipo cárter seco sob pressão.

O suprimento de óleo nesse tipo de sistema é mantido em um tanque.

Uma bomba de pressão circula o óleo através do motor; enquanto que as de sucção o retornam ao tanque.

A necessidade de um tanque de suprimento separado é evidente quando se considera as complicações que resultariam em uma larga quantidade de óleo, sendo mantida no cárter do motor. Em aeronaves multimotoras, cada motor é suprido com óleo pelo seu completo e independente sistema.

Embora o arranjo do sistema de óleo em diferentes aeronaves varie grandemente; e as unidades das quais esses sistemas são compostos diferem em detalhes de construção, as funções de todos esses sistemas são as mesmas. Um estudo irá esclarecer a operação, em geral, assim como os requerimentos de manutenção de outros sistemas.

Os principais componentes em um sistema do tipo cárter seco em um motor à explosão incluem um tanque de suprimento de óleo, uma bomba de óleo do motor, um radiador de óleo, uma válvula de controle de óleo, um atuador para controle de ar para o radiador de óleo, uma válvula de corte na parede de fogo, tubulação necessária e indicadores de quantidade, pressão e temperatura.

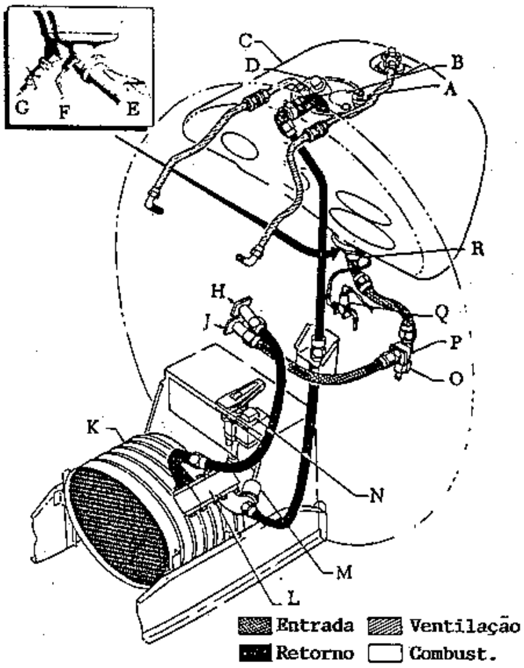
A maioria desses componentes é mostrada na figura 6-2.

Tanques de óleo

Os tanques de óleo são geralmente construídos de liga de alumínio.

O tanque de óleo usualmente é colocado próximo ao motor, e alto o bastante, acima da bomba de óleo, para lhe garantir alimentação por gravidade.

A capacidade do tanque de óleo varia com os diferentes tipos de aeronaves, mas geralmente é suficiente para assegurar um adequado suprimento de óleo pelo total de combustível fornecido.



A - Vareta indic. de quantidade
B - Bocal abastec.
C - Tanque de óleo
D - Transmissor de quantidade
E - Bulbo de temperatura
F - Conexão de comb. da diluição
G - Dreno da cuba
H - Saída do motor
J - Entrada no motor
K - Radiador
L - Válv. de controle
M - Termostato da bóia
N - Atuador do flape de saída do ar
O - Válv. dreno
P - Válv. de corte
Q - Válv. diluidora
R - Cuba do tanque

Figura 6-2 Sistema típico de lubrificação.

O tubo do bocal de abastecimento é posicionado para prover espaço suficiente à expansão do óleo e à espuma formada. A tampa de abastecimento, ou carenagem, é marcada com a palavra “Oil” e a capacidade do tanque. Um dreno na área do bocal elimina qualquer sobrefluxo causado durante a operação de abastecimento.

Linhas de ventilação do tanque de óleo são instaladas para garantir uma ventilação apropriada no tanque, em todas as atitudes de vôo. Essas linhas usualmente são conectadas ao cárter do motor para prevenir a perda de óleo através da ventilação. Isso indiretamente ventila o tanque para a atmosfera através do suspiro do cárter.

Alguns tanques de óleo possuem um “tubo interno” (Figura 6-3), ou turbilhonador acelerador de temperatura, que se estende desde a conexão de retorno de óleo no topo do tanque até a conexão de saída no coletor na base do tanque.

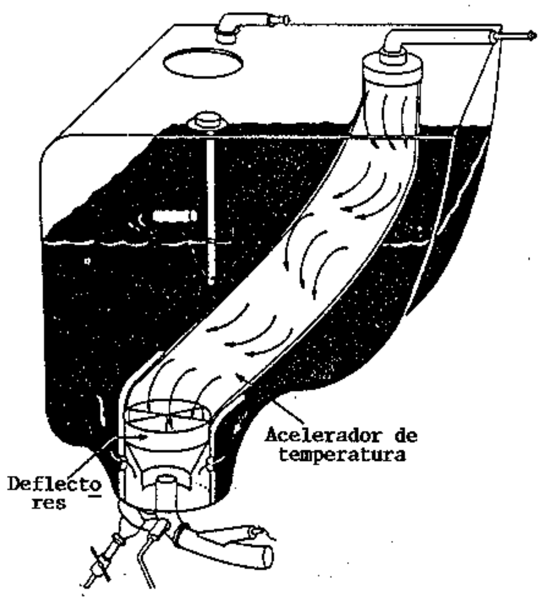


Figura 6-3 Tanque de óleo com turbilhonador.

Em alguns sistemas, o “tubo interno” é aberto para o suprimento principal de óleo na extremidade inferior; outro sistema tem válvulas do tipo “flapper” que separam o suprimento principal de óleo do óleo que está no tubo acelerador de temperatura.

A abertura na parte de baixo do tubo acelerador em um tipo, e as aberturas das válvulas tipo “flapper” no outro tipo, permitem que o óleo do tanque principal entre no tubo e reponha o óleo consumido pelo motor. Toda vez que o “tanque funil” incorpora as aberturas do tipo “flapper”, as válvulas são operadas por diferencial de pressão de óleo.

Devido o óleo que está circulando estar separado daqueles que envolvem o tubo no tanque, menos óleo é circulado; acelerando o aquecimento deste quando o motor é acionado. O tubo acelerador de temperatura também faz de maneira prática a diluição do óleo, porque somente uma pequena quantidade terá de ser diluído. Quando é necessário diluir o óleo, gasolina é adicionada em algum ponto da linha de entrada no motor, onde é misturada com o óleo em circulação.

A linha de retorno na parte superior do tanque é posicionada para descarregar o óleo de retorno próximo a parede do tubo interno, em um movimento circular. Esse método reduz consideravelmente a espumação.

Deflectores na parte de baixo do tanque anulam a ação de movimento circular, para prevenir a sucção de ar na linha de alimentação das bombas de pressão de óleo. No caso de hélices controladas por pressão de óleo, a principal saída do tanque pode ser em forma de um tubo vertical, pois assim haverá sempre uma reserva de óleo para o embandeiramento da hélice em caso de falha do motor.

Um coletor de óleo do tanque, fixado na superfície inferior do tanque, age como um captador de sedimentos e condensação (figura 6-2). A água e os resíduos podem ser drenados manualmente, abrindo a válvula de dreno na parte inferior do coletor.

Muitos sistemas de óleo de aeronaves são equipados com medidores de quantidade tipo vareta, freqüentemente chamados medidor baioneta. Alguns sistemas também têm um sistema de indicação de quantidade de óleo, que mostra a quantidade de lubrificante durante o vôo.

Um tipo de sistema consiste essencialmente de um braço e uma bóia, que verificam o nível de óleo, e atuam um transmissor elétrico no topo do tanque. O transmissor é conectado a um indicador de painel, o qual indica a quantidade de óleo em galões.

Bomba de óleo

O óleo que entra no motor é pressurizado, filtrado e regulado por componentes dentro do motor. Esses componentes serão discutidos durante a exposição do sistema externo, para prover um conceito do sistema de óleo completo.

Assim que o óleo entra no motor (figura 6-4), ele é pressurizado por uma bomba de descarga positiva, consistindo de duas engrenagens combinadas que giram dentro de uma caixa. A folga entre os dentes e a caixa é pequena. A entrada da bomba é localizada na esquerda; e a conexão de descarga é conectada na linha de pressão do sistema do motor. Uma engrenagem é ligada a um eixo acionador que se estende da caixa da bomba até um eixo de acionamento de acessórios do motor.

Retentores são usados para prevenir vazamento em torno do eixo de acionamento. Como a engrenagem inferior é girada no sentido anti-horário, a engrenagem acionada gira no sentido horário.

Assim que o óleo entra na câmara da engrenagem, ele é colhido pelos dentes da engrenagem, aprisionado entre eles e os lados da câmara, é levado pelo lado externo e descarregado na saída de pressão pela tela de passagem de óleo.

O óleo sob pressão flui para o filtro, onde quaisquer partículas sólidas suspensas são separadas dele, prevenindo possíveis danos às partes móveis do motor. O óleo sob pressão, então, abre a válvula unidirecional do filtro montada na parte superior. Essa válvula é fechada por uma leve pressão de mola, de 1 a 3 libras, quando o motor não está operando para prevenir e alimentar o motor de óleo por gravidade, e este se assentar nos cilindros inferiores de motores radiais.

Se ao óleo fosse permitido cair nos cilindros inferiores, ele iria gradualmente passando pelos anéis do pistão, e enchendo a câmara de combustão, contribuindo para uma possível trava hidráulica.

A válvula de desvio (*By-Pass*), localizada entre a saída de pressão da bomba de óleo e o filtro, permite que o óleo não filtrado suplante o filtro e entre no motor, no caso do filtro de óleo estar obstruído, ou durante uma partida com o motor muito frio.

A pressão de mola na válvula de desvio permite sua abertura antes que a pressão de óleo danifique o filtro; em caso de óleo frio, ele encontra uma via de baixa resistência em torno do filtro. Isso significa que óleo sujo em um motor é melhor que não ter nenhuma lubrificação presente.

Filtros de óleo

Os filtros de óleo usados em motores de aeronaves são usualmente um destes três tipos: tela, cuno ou labirinto de ar.

Um filtro tipo tela (figura 6-4) com sua construção em parede dupla, provê uma grande área de filtragem em uma unidade bem compacta.

Assim que o óleo passa através da tela de malha fina, materiais estranhos são removidos e assentados na base da carcaça. Em intervalos regulares, a tampa é retirada; e a tela e a carcaça são limpas com solvente.

O filtro de óleo do tipo "cuno" tem um cartucho feito de discos e espaçadores. Uma lâmina limpadora é posicionada entre cada par de discos; as lâminas limpadoras são estacionárias, mas os discos giram quando o eixo é acionado.

O óleo vindo da bomba entra na caixa que envolve o cartucho, passando através dos espaços entre os discos e o cartucho com folga mínima, atravessando o centro da cavidade e indo para o motor.

Quaisquer partículas estranhas no óleo são depositadas na superfície mais externa do cartucho.

Quando o cartucho é girado, as lâminas limpadoras retiram materiais estranhos dos discos. O cartucho de um filtro "cuno" operado manualmente é girado por uma manete externa. Filtros "cuno" automáticos têm um motor hidráulico montado dentro do cabeçote do filtro. Esse motor, operado pela pressão do óleo, gira o cartucho sempre que o motor está funcionando. Há uma porca de giro manual no filtro "cuno" automático para girar o cartucho durante as inspeções.

O filtro de labirinto de ar contém uma série de telas circulares de malha fina montadas em um eixo.

O óleo vindo da bomba entra na caixa, circunda as telas e então passa através delas e do eixo antes de entrar no motor.

Os depósitos de carbono, que são coletados nas telas, acabam por melhorar a sua eficiência de filtragem.

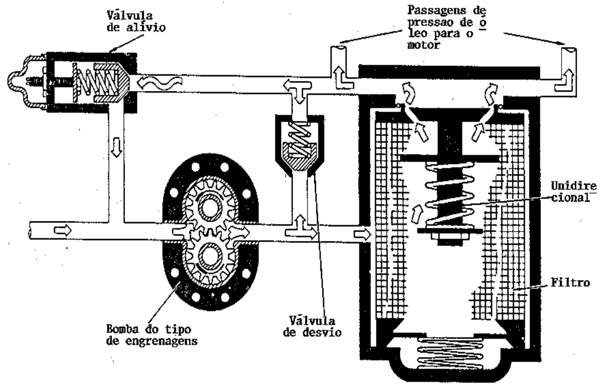

Válvula de alívio
Passagens de pressao de ó leo para o motor
Unidirecional
Filtro
Bomba do tipo de engrenagens
Válvula de desvio

Figura 6-4 Bomba de óleo do motor e unidades associadas.

Válvula de alívio de pressão de óleo

Uma válvula de alívio de pressão de óleo (figura 6-4), limita a pressão de óleo a um valor pré-determinado, dependendo da instalação.

A pressão de óleo deve ser suficientemente alta, para assegurar lubrificação adequada do motor e de seus acessórios a altas rotações e potências.

Por outro lado, a pressão não pode ser tão, pois ocorreriam vazamentos e danos ao sistema de óleo.

A pressão de óleo é ajustada, removendo uma tampa de proteção, afrouxando a porca cônica e apertando o parafuso de ajuste.

Na maioria dos motores de aeronaves, girando o parafuso no sentido horário, aumenta-se a tensão na mola que segura a válvula de alívio em sua sede, aumentando, assim, a pressão de óleo. Girando-se o parafuso no sentido anti-horário, reduz-se a tensão da mola, abaixando a pressão.

O procedimento exato para ajustar a pressão de óleo, e os fatores que irão variar no ajuste de pressão, estão incluídos nas instruções aplicáveis do fabricante.

Indicador de pressão de óleo

Usualmente, o indicador de pressão de óleo mostra a pressão quando o óleo entra no motor, vindo da bomba.

Esse indicador avisa uma possível falha de motor causada por uma perda no suprimento de óleo, falha da bomba, queima de rolamentos, ruptura de linhas de óleo, ou outras causas que podem ser indicadas pela perda de pressão de óleo.

Um tipo de indicador de pressão de óleo usa um mecanismo de tubo de *Bourdon*, que mede a diferença entre a pressão de óleo e a pressão da cabine (atmosférica).

Esse indicador é construído da mesma forma que outro manômetro do tipo *Bourdon*, exceto por uma restrição feita dentro da caixa do instrumento, ou na conexão que direciona o óleo ao tubo de *Bourdon*. Essa restrição previne que a ação de oscilação da bomba danifique o indicador, ou faça que o ponteiro oscile violentamente a cada pulsação de pressão.

O indicador de pressão de óleo tem uma escala de zero a 200 ou de zero a 300 psi. As marcações da escala de operação são colocadas no vidro ou na face do indicador, para indicar um limite seguro de pressão para uma dada instalação.

Um indicador de pressão de óleo do tipo duplo está disponível para uso em aeronaves multimotoras.

O indicador duplo contém dois tubos de Bourdon, colocados em uma caixa de instrumentos padrão, e um tubo sendo usado para cada motor. As conexões vão da parte traseira da caixa de instrumentos até cada motor.

Há uma montagem comum, mas as partes móveis funcionam independentemente. Em algumas instalações, a linha dirigida do motor ao indicador de pressão é preenchida com óleo fino. Desde que a viscosidade desse óleo não varie muito com mudanças de temperatura, o indicador responderá melhor as mudanças na pressão de óleo.

Com o tempo, o óleo do motor irá misturar-se com algum óleo fino na linha do transmissor, e durante o clima frio, a mistura mais espessa causará um retardo nas leituras do instrumento. Para corrigir essa condição, a linha do indicador deve ser desconectada, drenada e reabastecida com novo óleo fino.

A tendência futura é em direção a transmissores e indicadores elétricos, para sistemas de indicação de pressão de óleo e combustível em toda as aeronave. Nesse tipo de sistema de indicação, a pressão do óleo a ser medido é aplicada na entrada do transmissor elétrico, onde é conduzida a um diafragma por um tubo capilar. O movimento produzido pela expansão e contração do diafragma é ampliado através de um arranjo de braço e engrenagem. A engrenagem varia o valor elétrico do circuito de indicação, o qual por sua vez, é refletido no indicador na cabine de comando. Esse tipo de sistema de indicação substitui longas linhas de tubos cheios de fluido, por fios praticamente sem peso.

Quando o óleo em circulação executou sua função de lubrificar e resfriar as partes móveis do motor, ele é drenado em coletores nas partes mais baixas do motor. Óleo recebido nesses coletores é recolhido por bombas de recalque, do tipo engrenagem, tão rapidamente quanto ele se acumula. Essas bombas têm maior capacidade que a bomba de pressão. Em motor de cárter seco, esse óleo deixa o motor e passa através do regulador de temperatura, e retorna ao tanque de suprimento.

Regulador de temperatura de óleo

Como visto previamente, a viscosidade do óleo varia com sua temperatura. Desde que a viscosidade afete suas propriedades de lubrificação, a temperatura na qual o óleo entra no motor tem que ser mantida dentro de certos limites.

Geralmente, o óleo ao deixar o motor tem de ser resfriado antes de voltar a circular. Obviamente, a quantidade de resfriamento deve ser controlada, já que o óleo tem que retornar ao motor com a temperatura correta.

O regulador de temperatura de óleo, localizado na linha de retorno para o tanque, provê esse resfriamento controlado. Como o nome já diz, essa unidade regula a temperatura, resfriando o óleo ou passando-o para o tanque sem resfriamento, dependendo da temperatura na qual o óleo sai do motor.

O regulador consiste de duas partes principais: um radiador e uma válvula de controle de óleo (veja figura 6-2). O radiador transfere o calor do óleo para o ar, enquanto a válvula de controle regula o fluxo de óleo através do radiador.

Indicador de temperatura de óleo

Em sistemas de lubrificação de cárter seco, o sensor de temperatura de óleo pode estar em qualquer posição da linha de entrada de entre o tanque e o motor.

Sistemas de óleo para motores de cárter cheio tem o sensor de temperatura onde se possa sentir a temperatura do óleo após ter passado pelo radiador. Em qualquer sistema, o sensor é devidamente localizado, para medir a temperatura do óleo antes de entrar na seção quente do motor.

Um indicador de temperatura na cabine de comando é conectado ao sensor de temperatura através de terminais elétricos. A temperatura do óleo será mostrada no indicador. Qualquer falha do sistema de arrefecimento de óleo aparecerá como uma leitura anormal.

O fluxo de óleo no sistema mostrado na figura 6-2 pode ser seguido a partir da conexão de saída de óleo do tanque. As unidades seguintes, através das quais o óleo deve fluir para atingir o motor, são a válvula de dreno e a válvula de corte da parede de fogo.

A válvula de dreno nessa instalação é uma válvula manual de duas posições. Ela é localizada na parte mais baixa da linha de entrada de óleo para o motor, para permitir uma completa drenagem do tanque e suas linhas de abastecimento.

A válvula de corte da “Parede de Fogo” é acionada por motor elétrico, e instalada na linha de entrada de óleo na parede de fogo da nacele. Essa válvula corta a alimentação de óleo quando há fogo, quando há ruptura na linha de fornecimento de óleo, ou quando um serviço de manutenção executado requer que o óleo seja estancado. Em algumas aeronaves, as válvulas de corte para o sistema de óleo, sistema de combustível e sistema hidráulico são controladas por um único interruptor de ligações; outros sistemas utilizam interruptores de controle separados para cada válvula.

Radiador de óleo

O Radiador (figura 6-5), de formato cilíndrico ou elíptico, consiste de um núcleo dentro de uma camisa de parede dupla.

O núcleo é feito de tubos de cobre ou alumínio, com as terminações do tubo criando um formato hexagonal e se agrupando em um efeito colméia, mostrado na figura 6-5.

As pontas dos tubos de cobre são soldadas, enquanto os tubos de alumínio são soldados com latão ou mecanicamente unidos. Os tubos apenas se tocam nas pontas, existindo assim, um espaço entre eles por toda a extensão do comprimento. Isso permite que o óleo flua através dos espaços entre os tubos, enquanto o ar de resfriamento passa.

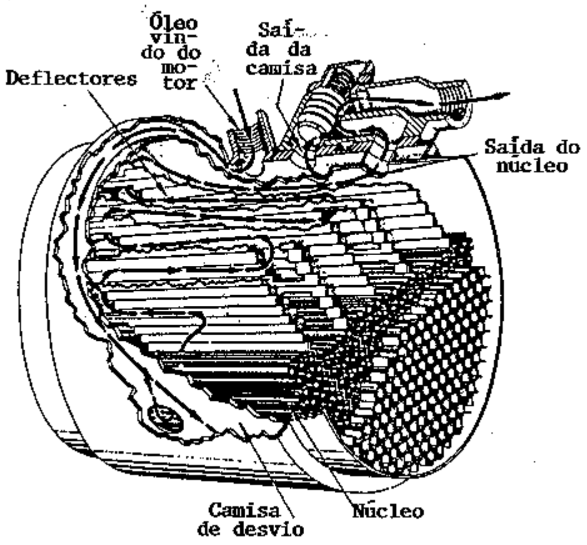


Figura 6-5 Radiador de óleo.

O espaço entre as camisas interna e externa é conhecido como jaqueta anular ou de desvio.

Duas vias são abertas para o fluxo de óleo através do radiador. Vindo da tomada de entrada, o óleo pode fluir a metade do cominho em torno da jaqueta de desvio, entrar no núcleo vindo de baixo, e então passar através dos espaços entre os tubos e sair para o tanque de óleo.

Essa é a via que o óleo segue quando está quente o bastante para requerer resfriamento. Uma vez que o óleo flui através do núcleo, ele é guiado por difusores, os quais forçam o óleo a trafegar para frente e para trás diversas vezes antes de atingir a saída do núcleo.

O óleo pode também, vindo da entrada, passar totalmente em volta da jaqueta de desvio para a saída, sem passar através do núcleo. O óleo segue essa rota de desvio quando está frio ou quando o núcleo está bloqueado com óleo espesso demais.

Válvula de controle de fluxo

A válvula de controle de fluxo determina qual das vias de óleo será tomada em direção ao radiador.

Há duas aberturas na válvula de controle de fluxo, as quais se conectam nas saídas correspondentes no topo do radiador.

Quando o óleo está frio, uma cápsula dentro da válvula contrai e a levanta de sua sede. Sob esta condição, o óleo que entra no radiador tem a escolha de duas saídas e duas vias de acesso.

Seguindo a via de menor resistência, o óleo flui em torno da jaqueta, e sai pela válvula termostática para o tanque.

Isso permite que o óleo se aqueça rapidamente e ao mesmo tempo, aqueça o que está contido no núcleo.

Assim que o óleo se aquece e atinge sua temperatura de operação, a cápsula do termostato se expande e fecha a saída vinda da jaqueta de desvio.

O óleo tem, agora, que passar através do núcleo por uma abertura na base da válvula de controle de fluxo, e sair para o tanque. Não importa que caminho o óleo toma através do radiador, ele sempre flui pela cápsula da válvula termostática.

Válvulas protetoras de sobrepressão

Quando o óleo no sistema está congelado, a bomba de recalque pode criar uma pressão muito alta na linha de retorno.

Para evitar que essa alta pressão venha a explodir o radiador, ou estourar as conexões das mangueiras, algumas aeronaves possuem válvulas protetoras de sobrepressão no sistema de lubrificação do motor.

Um tipo de válvula de sobrepressão (figura 6-6), que está integrada a uma válvula de controle de fluxo, é o tipo mais comum. Embora essa válvula de controle de fluxo seja diferente daquela descrita anteriormente, ela é essencialmente a mesma, exceto pelo dispositivo de proteção de sobrepressão.

A condição de operação em alta pressão é mostrada na figura 6-6, onde a alta pressão de óleo na entrada da válvula de controle forçou a válvula de sobrepressão (C) e, ao mesmo tempo, fechou a válvula de movimento vertical (E).

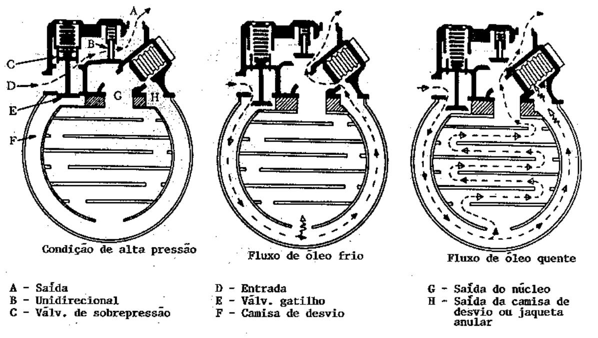


Figura 6-6 Válvula de controle com proteção contra sobrepressão.

A válvula de movimento vertical fechada previne que o óleo entre no circuito de resfriamento; desta maneira, o óleo recalcado passa diretamente para o tanque através da saída (A), sem passar pela jaqueta de desvio ou núcleo do radiador. Quando a pressão cai até um valor seguro, a força da mola força a válvula de sobrepressão e a de movimento vertical para baixo, fechando a de sobrepressão, e abrindo a válvula de movimento vertical (E).

O óleo então passa da entrada da válvula de controle (D) através da válvula de movimento vertical aberta, e pela jaqueta de desvio pela tomada (H), ou através do núcleo pela tomada (G). A válvula unidirecional (B) abre para permitir que o óleo atinja a linha de retorno do tanque.

Controles de fluxo de ar

Pela regulagem do fluxo de ar que passa pelo radiador, a temperatura do óleo pode ser controlada para adequar as diversas condições de operação. Por exemplo, o óleo atingirá a temperatura de operação mais rapidamente se o fluxo de ar for cortado durante o aquecimento do motor.

Há dois métodos geralmente usados: um método emprega janelas instaladas na parte traseira do radiador de óleo; e o outro usa um “flape” no duto de saída de ar.

Em alguns casos, o flape no duto de saída de ar do radiador de óleo é aberto manualmente, e fechado por ligações mecânicas fixadas em uma alavanca na cabine de comando, Freqüentemente, o flape é aberto e fechado por um motor elétrico.

Um dos dispositivos mais utilizados para controle automático da temperatura do óleo é o termostato flutuante de controle, que provê controle automático e manual da temperatura de entrada do óleo. Com esse tipo de controle, a porta de saída de ar do radiador é aberta e fechada automaticamente por um atuador operado eletricamente.

A operação automática do atuador é determinada por impulsos elétricos recebidos de um termostato controlador, instalado na tubulação que direciona o óleo do radiador para o tanque de suprimento.

O atuador pode ser operado manualmente por um interruptor de controle da porta de saída de ar do radiador de óleo.

Colocando essa chave nas posições "Aberto" ou "Fechado" num movimento correspondente na porta do radiador. Colocando a chave na posição "Auto" coloca-se o atuador sob controle automático do termostato flutuante de controle (figura 6-7).

O termostato mostrado na figura 6-7 é ajustado para manter uma temperatura normal do óleo, de tal forma que não irá variar mais do que aproximadamente 5 a 8 °C, dependendo da instalação.

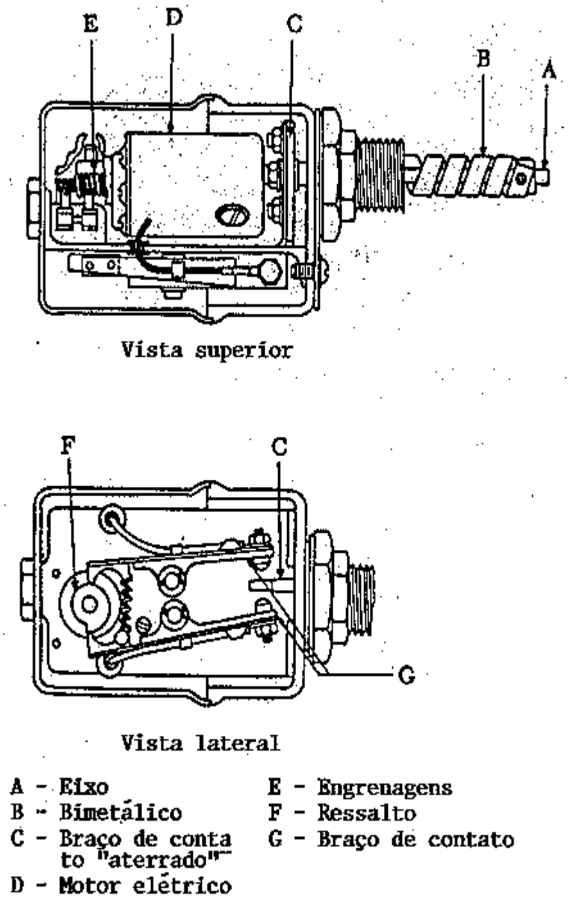


Figura 6-7 Termostato de controle flutuante.

Durante a operação, a temperatura do óleo do motor, que flui sobre o elemento bimetálico (B na figura 6-7), faz com que esse elemento enrole ou desenrole levemente. Esse movimento gira o eixo (A) e o braço central do contato para a "massa".

Assim que o braço de contato para a massa é girado, ele se move para abrir ou fechar o braço de contato flutuante (G). Os dois braços de contato flutuantes são movidos pelo eixo de cames (F), o qual é acionado continuamente por um motor elétrico (D) através de um jogo de engrenagens.

Quando o braço central de contato para a massa é posicionado pelo elemento bimetálico até que toque um dos braços de controle flutuantes, um circuito elétrico para o motor atuador do flape de saída de ar do radiador é fechado, fazendo com que o atuador opere e posicione o flape de saída de ar do radiador de óleo. Em alguns sistemas de lubrificação, radiadores duplos de ar são usados.

Se o típico sistema de óleo previamente descrito é adaptado para dois radiadores de óleo, o sistema será modificado para incluir um divisor de fluxo, dois radiadores idênticos e reguladores de fluxo, duas portas de saída de ar, um mecanismo de atuação para duas portas e uma conexão "Y", como mostra a figura 6-8.

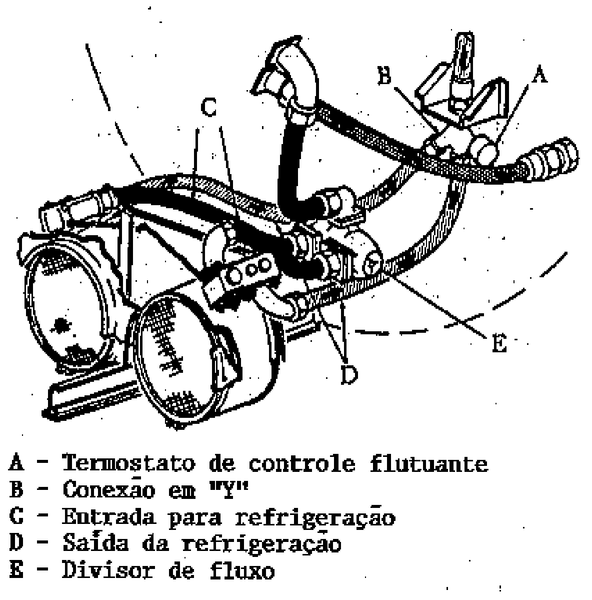

B
A
C
E
D
A - Termostato de controle flutuante
B - Conexão em "Y"
C - Entrada para refrigeração
D - Saída da refrigeração
E - Divisor de fluxo

Figura 6-8 Sistema de duplo radiador de óleo.

O óleo retornado do motor é enviado através de um único tubo para o divisor de fluxo (E), onde o fluxo de óleo de retorno é dividido igualmente em dois tubos (C), um para cada radiador. Os radiadores e reguladores têm a mesma construção e operação que os radiadores e reguladores de fluxo descritos anteriormente.

O óleo vindo dos radiadores é direcionado por dois tubos (D) para uma conexão "Y", onde o termostato flutuante de controle (A) analisa a temperatura do óleo e posiciona as duas portas de saída de ar do radiador pela ação do mecanismo atuador das portas. Vindo da conexão "Y", o óleo lubrificante retorna ao tanque, onde completa seu circuito.

LUBRIFICAÇÃO INTERNA DOS MOTORES À EXPLOSÃO (CONVENCIONAIS)

O óleo de lubrificação é distribuído a diversas peças móveis, de um típico motor de combustão interna, por um dos seguintes métodos: Pressão, Salpico, ou uma combinação de ambos.

Lubrificação por pressão

Em um sistema típico de lubrificação por pressão (figura 6-9), uma bomba mecânica supre com óleo sob pressão os mancais por todo o motor.

O óleo flui pelo lado de entrada ou sucção da bomba, por uma linha conectada ao tanque em um ponto mais alto que a parede inferior do coletor. Isso evita que sedimentos que caiam no coletor sejam sugados para a bomba. A bomba força o óleo para o captador, que o distribui através de passagens perfuradas para os mancais do eixo de manivelas e outros mancais por todo motor.

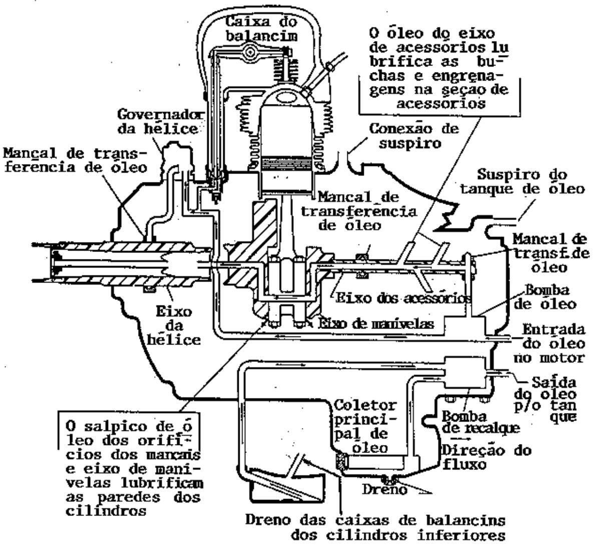

Caixa do balancim
O óleo do eixo de acessórios lubrifica as buchas e engrenagens na seção de acessórios
Governador da hélice
Mancal de transferencia de óleo
Conexão de suspiro
Suspiro do tanque de óleo
Mancal de transferencia de óleo
Mancal de transf. de óleo
Eixo dos acessórios
Bomba de óleo
Eixo da hélice
Eixo de manivelas
Entrada do óleo no motor
Saída do óleo p/o tanque
Coletor principal de óleo
Bomba de recalque
Direção do fluxo
O salpico de óleo dos orifícios dos mancais e eixo de manivelas lubrificam as paredes dos cilindros
Dreno
Dreno das caixas de balancins dos cilindros inferiores

Figura 6-9 Esquema de um sistema de lubrificação por pressão de carter seco.

O óleo flui dos mancais principais através de orifícios no eixo de manivelas para os mancais inferiores das bielas. Cada um desses orifícios (pelos quais o óleo é alimentado) está localizado de tal maneira que a pressão no mancal naquele ponto seja a menor possível.

O óleo atinge o eixo de ressaltos (em um motor em linha ou cilindros opostos) ou um anel ou tambor de ressaltos (em um motor radial) através de uma conexão com o mancal final, ou o captador de óleo principal; o óleo então flui para os diversos ressaltos e mancais dos eixos, placas ou tambores de ressaltos.

As superfícies dos cilindros do motor recebem óleo por salpico do eixo de manivelas, e também dos mancais do pino munhão.

Desde que o óleo escape vagarosamente através das pequenas folgas do pino munhão antes de ser salpicado nas paredes do cilindro, um tempo considerável é requerido para que óleo suficiente atinja as paredes do cilindro, especialmente em dias frios, quando o fluxo de óleo é mais vagaroso.

Essa é uma das razões básicas para se diluir o óleo do motor com gasolina para partidas em tempo frio.

Combinação de lubrificação por pressão e salpico

O sistema de lubrificação por pressão é o principal método de lubrificação de motores de aeronaves.

Lubrificação por salpico pode ser usada em adição à lubrificação por pressão em motores de aeronaves, mas nunca usado por si só; por essa razão, os sistemas de lubrificação de motores de avião são sempre do tipo pressão, ou uma combinação de salpico e pressão; usualmente este último.

As vantagens de lubrificação por pressão são:

1. Introdução positiva de óleo para os mancais;
2. Efeito de resfriamento causado pela grande quantidade de óleo que pode ser circulada através do mancal;
3. Lubrificação satisfatória em várias atitudes de vôo.

Lubrificação com cárter cheio

A forma simples de um sistema de cárter cheio é mostrada na figura 6-10.

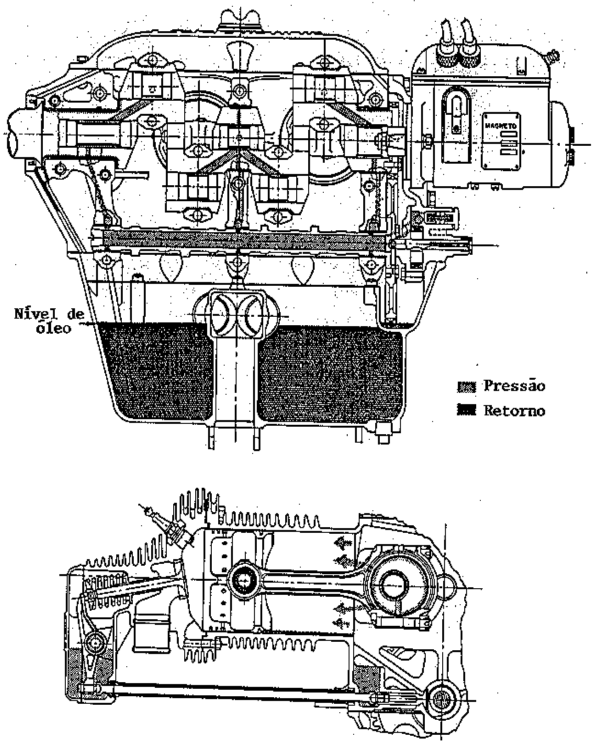

Nível de óleo
▨ Pressão
■ Retorno

Figura 6-10 Vista esquemática de um típico sistema de lubrificação de carter molhado.

O sistema consiste de um cárter ou coletor no qual o suprimento de óleo é mantido. O nível (quantidade) de óleo é medido por uma vareta vertical que adentra ao óleo por um furo elevado no topo do bloco.

Na parte inferior do cárter (coletor de óleo) está um filtro de tela tendo uma malha adequada, ou séries de aberturas, para reter partículas indesejáveis do óleo, e ainda passar uma quantidade suficiente para a tomada de sucção da bomba de pressão de óleo.

A rotação da bomba, a qual é acionada pelo motor, faz com que o óleo passe ao redor da parede externa das engrenagens, da maneira ilustrada na figura 6-4. Isso desenvolve uma pressão no sistema de lubrificação do eixo de manivelas (furos de passagem).

A variação na velocidade da bomba, de marcha lenta até potência total da faixa de operação do motor, e a flutuação da viscosidade do óleo devido a mudanças de temperatura, são compensadas pela tensão da mola da válvula de alívio.

A bomba é desenhada para criar uma grande pressão que, provavelmente, será mesmo requerida para compensar o desgaste dos mancais ou redução da viscosidade do óleo. As partes oleadas pela pressão borrifam um jato lubrificante nos conjuntos de cilindro e pistão.

Depois de lubrificar as várias unidades nas quais foi borrifado, o óleo drena de volta ao cárter e o ciclo é então repetido.

As principais desvantagens do sistema de cárter cheio são:

1. O Suprimento de óleo é limitado à capacidade do cárter (coletor de óleo);

2. Provisões para resfriamento do óleo são difíceis de se obter devido o sistema ser uma unidade contida em um espaço limitado;

3. Temperaturas do óleo têm a probabilidade de serem maiores em grandes motores, porque o suprimento de óleo está muito próximo ao motor e é constantemente submetido às temperaturas de operação;

4. O sistema não é prontamente adaptável para vôo de dorso, uma vez que todo o suprimento de óleo irá inundar o motor.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO

As seguintes práticas em sistemas de lubrificação são típicas daquelas executadas em pequenas aeronaves monomotoras. Os sistemas de óleo e componentes são aqueles usados para lubrificar um motor horizontal de seis cilindros opostos, refrigerados a ar e com 225 HP.

O sistema de óleo é do tipo cárter seco, usando um sistema de lubrificação por pressão acionada pelo motor, bombas do tipo engrenagem e deslocamento positivo.

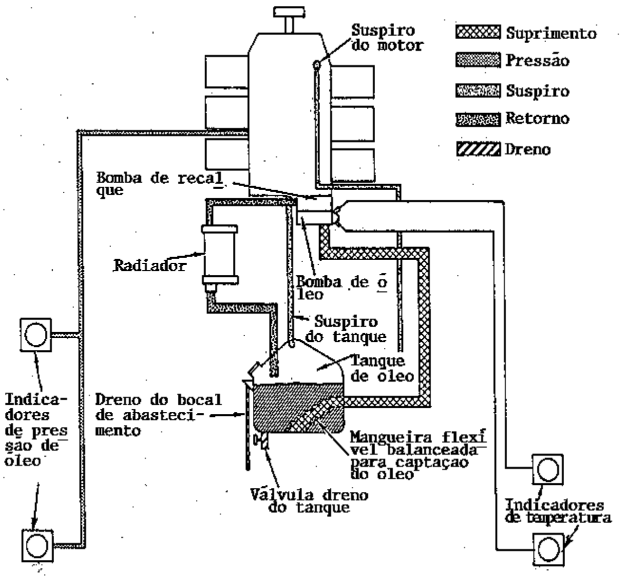

Suspiro do motor
▨ Suprimento
▨ Pressão
▨ Suspiro
▨ Retorno
▨ Dreno
Bomba de recalque
Radiador
Bomba de óleo
Suspiro do tanque
Tanque de óleo
Indicadores de pressão de óleo
Dreno do bocal de abastecimento
Mangueira flexível balanceada para captação do óleo
Válvula dreno do tanque
Indicadores de temperatura

Figura 6-11 Esquema do sistema de óleo.

O sistema (figura 6-11) consiste de um resfriador de óleo (radiador), um tanque de óleo de 3 galões (U.S.), bomba de pressão de óleo e de recalque, e as necessárias linhas de interconexão de óleo.

O óleo vindo do tanque é bombeado para o motor, onde circula sob pressão, e é conectado no radiador e enviado de volta ao tanque.

Um termostato no radiador controla a temperatura do óleo, permitindo que uma parte delel flua através do radiador, enquanto a outra flua diretamente ao tanque de suprimento de óleo.

Esse sistema permite que o óleo quente do motor, com uma temperatura ainda abaixo de 65 °C (150 °F), possa se misturar com o óleo frio que não está em circulação no tanque de suprimento. Isso eleva o suprimento completo de óleo do motor à temperatura de operação em um curto período de tempo.

O tanque de óleo, construído de alumínio soldado, é abastecido através de um bocal de enchimento localizado no tanque e equipado com uma tampa de travamento por tensão de mola.

Dentro do tanque, uma mangueira de borracha flexível e balanceada é instalada, de forma a se reposicionar automaticamente, para assegurar a captação de óleo durante manobras invertidas. Um protetor da vareta de nível é soldado dentro do tanque para proteger a linha flexível de captação de óleo.

Durante um vôo normal, o tanque de óleo é ligado à caixa de engrenagens do motor através de uma linha flexível, instalada na parte superior do tanque.

Entretanto, durante um vôo invertido, esta linha de ventilação é coberta pelo óleo que está no tanque. Por esta razão, um arranjo de uma linha de ventilação secundária e mais uma válvula unidirecional estão incorporadas ao tanque, para este tipo de operação. Durante a inversão, quando o ar dentro do tanque atinge uma determinada pressão, a válvula unidirecional na linha secundária de ventilação se abre, permitindo que o ar escape do tanque. Isto assegura um fluxo ininterrupto de óleo para o motor. A localização dos componentes em relação uns aos outros e o motor são mostrados na figura 6-12.

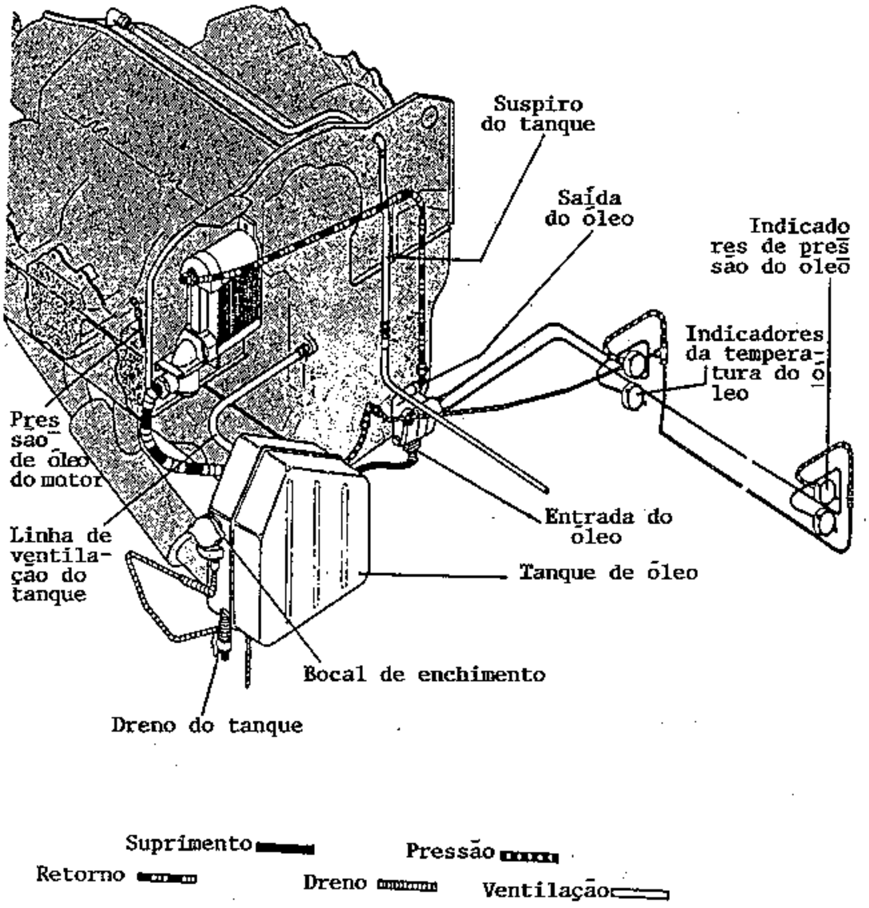

Suspiro do tanque
Saída do óleo
Indicadores de pressão do óleo
Indicadores da temperatura do óleo
Pressão de óleo do motor
Linha de ventilação do tanque
Entrada do óleo
Tanque de óleo
Bocal de enchimento
Dreno do tanque
Suprimento
Pressão
Retorno
Dreno
Ventilação

Figura 6-12 Sistema de óleo, em perspectiva.

Tanque de óleo

O reparo em um tanque de óleo normalmente necessita de sua remoção. Os procedimentos de remoção e instalação permanecem os mesmos independentemente do motor, estar ou não, instalado na aeronave.

Primeiramente, o óleo deve ser drenado. A maioria das aeronaves leves possui um dreno de óleo similar ao da figura 6-13. Em algumas aeronaves, a posição normal dela no solo pode impedir a drenagem completa do óleo.

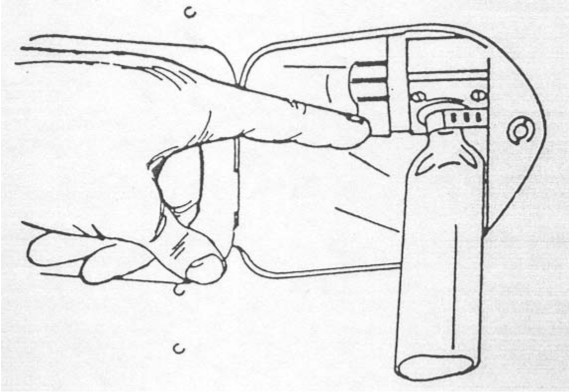


Figura 6-13 Dreno do tanque de óleo

Se a quantidade de óleo que não foi drenado for grande, a parte traseira do tanque pode ser suavemente levantada, após o mesmo ter suas correias de fixação aliviadas, para completar a drenagem.

Depois da drenagem do tanque, as carenagens necessitam ser removidas para se ter acesso a instalação do tanque de óleo.

Depois de desconectar as linhas de entrada e saída (figura 6-14), a mangueira do suspiro e o fio de aterramento do mesmo podem ser retirados.

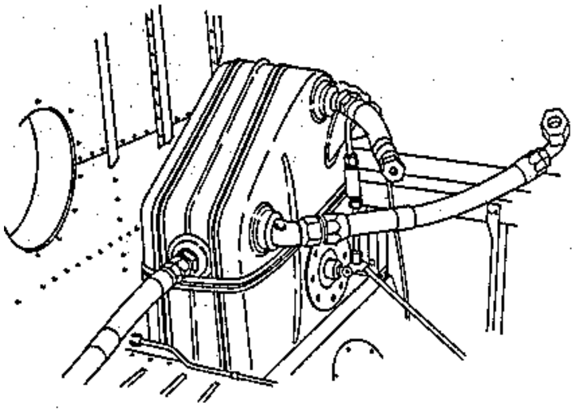


Figura 6-14 Desconexão das linhas de óleo.

Agora as correias de fixação presas ao redor do tanque podem ser removidas, como mostra a figura 6-15. Qualquer freno de segurança deve ser removido antes da trava ser aliviada e a correia desconectada.

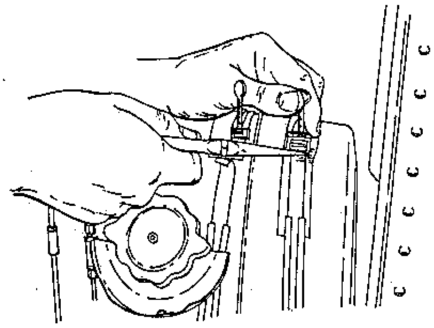


Figura 6-15 Remoção das braçadeiras de segurança.

Finalmente o tanque pode ser removido. O tanque é reinstalado, revertendo-se a seqüência usada na remoção do tanque.

Depois da instalação, o tanque de óleo deve ser abastecido, verificando-se sua capacidade (figura 6.16).

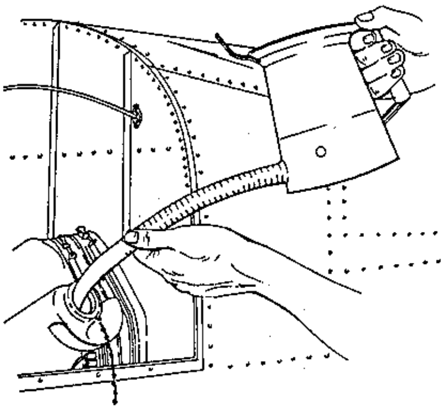


Figura 6-16 Reabastecimento de um tanque de óleo.

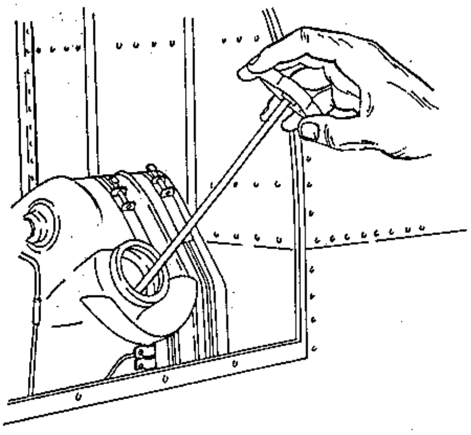


Figura 6-17 Checagem do nível de óleo com a vareta.

Após o abastecimento do tanque de óleo, o motor deve ser acionado por 2 minutos. Então o nível de óleo deve ser verificado novamente e, se necessário, deve-se adicionar mais óleo para levar o mesmo para o nível correto, mostrado na vareta (figura 6.17).

Radiador de óleo

O radiador de óleo (figura 6-18) usado nessas aeronaves é do tipo colméia.

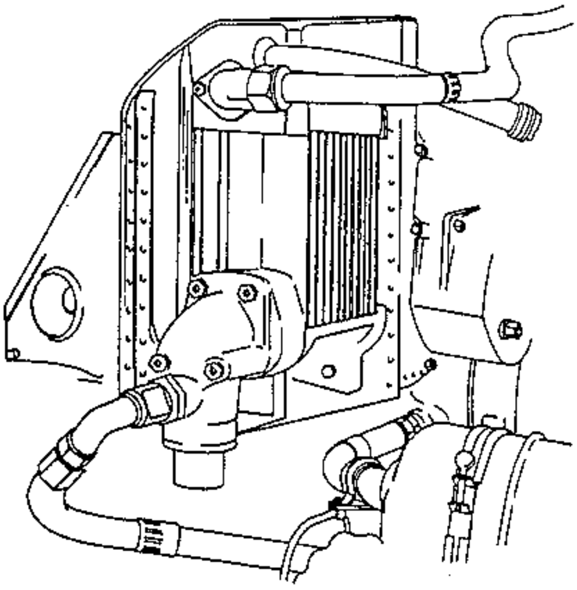


Figura 6-18 Radiador de óleo.

Com o motor em operação e a temperatura do óleo abaixo de 65°C (150°F), uma válvula de desvio abre, permitindo que o óleo desvie do radiador.

Essa válvula começa a fechar quando a temperatura do óleo atinge aproximadamente 65°C 150(°F).

Quando a temperatura do óleo atinge 85°C (185°F) ±2°C, a válvula é fechada por completo, fazendo com que todo óleo passe pelo radiador.

Bulbo de temperatura do óleo

A maioria dos bulbos de temperatura do óleo são instalados junto ao filtro da linha de pressão. Eles enviam um sinal que representa a temperatura do óleo ao entrar no motor, para os indicadores de temperatura instalados no painel de instrumentos da aeronave.

Os bulbos de temperatura podem ser substituídos, removendo-se o freno de segurança, retirando o conector elétrico e então removendo o bulbo de temperatura usando uma chave adequada, como mostra a figura 6-19.

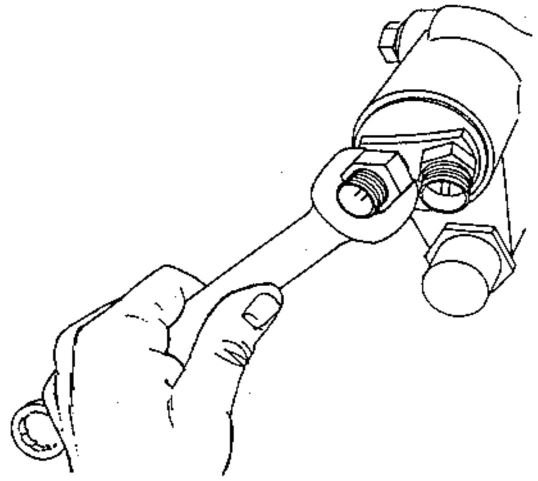


Figura 6-19 Removendo o bulbo de temperatura do óleo.

Filtros de pressão e recuperação de óleo

A sujeira irá se acumular nos filtros de pressão e recuperação (figura 6-20) durante a operação do motor. Esses filtros devem ser removidos, inspecionados e limpos em intervalos especificados pelo fabricante.

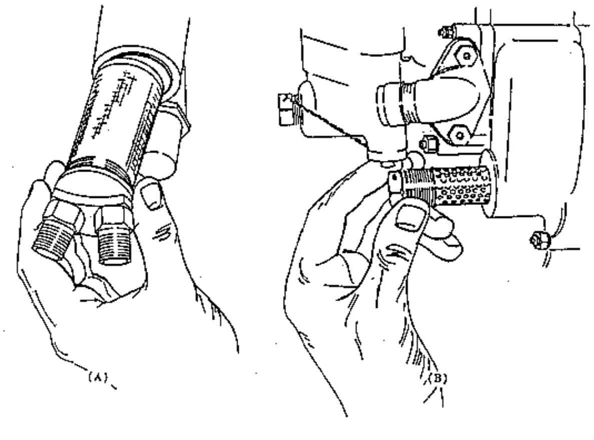


Figura 6-20 A - Filtro da linha de pressão: e
B - Filtro de linha de recalque.

Um típico procedimento de remoção inclui a remoção dos dispositivos de segurança e o afrouxamento do alojamento ou cavidade onde está instalado o filtro. Um vasilhame deve ser providenciado para coletar o óleo que será drenado na remoção do filtro, ele deve estar limpo para que se verifique a presença de partículas estranhas.

Qualquer contaminação já existente no vasilhame induzirá a uma falsa indicação da condição do motor. Isto poderia resultar numa remoção prematura.

Após a remoção dos filtros, eles devem ser inspecionados quanto à contaminação e à presença de partículas metálicas, que possam indicar uma falha interna do motor. O filtro deve estar limpo antes de sua reinstalação.

Em alguns casos é necessário desmontar o filtro para inspeção e limpeza. Os procedimentos do fabricante devem ser seguidos; a partir da remoção e instalação do conjunto do filtro.

Quando se reinstala um filtro, usam-se anéis retentores e juntas novas, apertando-se as porcas de fixação do alojamento ou cavidade do filtro, de acordo com o torque especificado no manual de manutenção. Os filtros devem ser devidamente frenados.

Válvula de alívio de pressão do óleo

Uma válvula de alívio de pressão mantém a pressão de óleo em valores especificados pelo manual do fabricante do motor.

Os valores de pressão de óleo variam de 35 PSI a 90 PSI, dependendo da instalação. A pressão de óleo deve ser suficientemente alta para assegurar uma lubrificação adequada ao motor e acessórios, quando em alta rotação (motor).

Por outro lado, a pressão não pode ser excessivamente alta, pois vazamentos e danos podem ocorrer ao sistema.

A pressão de óleo é ajustada removendo-se a tampa do parafuso de ajuste, afrouxando a trava e girando o parafuso de ajuste (veja a figura 6-21).

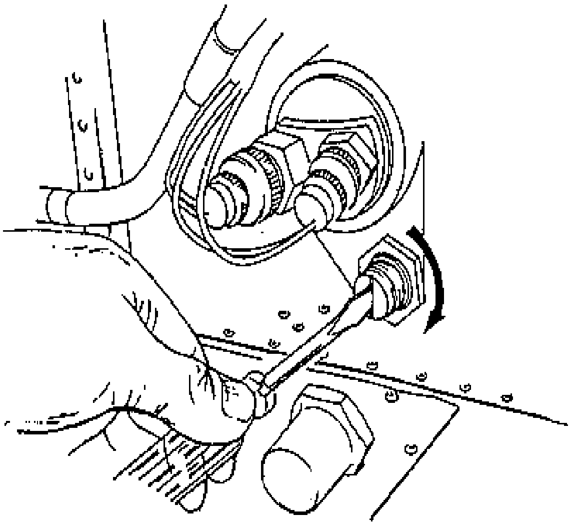


Figura 6-21 Ajustando a válvula de pressão do óleo.

Gira-se o parafuso de ajuste no sentido horário para aumentar a pressão, ou no sentido anti-horário para diminui-la. Os ajustes de pressão são feitos enquanto os motores estiverem em marcha lenta; e aperta-se a porca de travamento após cada ajuste.

Verifica-se o instrumento de pressão do óleo enquanto o motor está em funcionamento a uma determinada RPM, especificada pelo manual de manutenção. Este valor pode variar de 1900 RPM a 2300 RPM. O valor da pressão de óleo deve estar dentro dos valores especificados pelo fabricante.

Drenagem do óleo

O óleo, em uso, é constantemente exposto a várias substâncias prejudiciais, que reduzem sua capacidade de proteger partes móveis.

Os principais contaminantes são:

1. Gasolina

2. Água

3. Ácidos

4. Sujeira

5. Carbono

6. Partículas magnéticas

Por causa do acúmulo dessas substâncias prejudiciais, a prática mais comum é drenar todo o sistema de lubrificação em intervalos regulares, e reabastecê-lo com óleo novo. O tempo entre cada troca de óleo varia com cada fabricante, modelo de aeronave e combinação de motor.

Pesquisa de problemas no sistema de óleo

As principais causas de mau funcionamento e suas respectivas ações corretivas, listadas na tabela 9, constituem um guia para pesquisa de problemas no sistema de lubrificação.

O propósito desta tabela é apresentar os problemas mais típicos no sistema de lubrificação, e não o de dizer que esses problemas são exatamente iguais em todas as aeronaves.

TABELA 9. Procedimentos para pesquisa de problemas no Sistema de Óleo

Problemas	Isolando o Problema	Ação Corretiva
Consumo excessivo de óleo		
Vazamento na linha	Verifique as linhas externas quanto a sinais de vazamento.	Substitua ou repare as linhas defeituosas.
Vazamento pelo selo de um ou mais componentes	Verifique os componentes quanto a vazamentos logo após a operação do motor.	Substitua o componente e/ou selo defeituoso.
Baixo nível de óleo.		Abasteça com o óleo correto.
Rolamento defeituoso ou danificado	Verifique o reservatório e a tela da bomba de pressão quanto a presença de partículas metálicas.	Substitua o motor se forem detectadas partículas metálicas.
Indicação de Pressão de Óleo Alta ou Baixa		
Indicador defeituoso	Verifique o indicador.	Substitua o indicador se o mesmo estiver defeituoso.
Operação indevida da válvula de alívio de pressão	Indicações erradas de pressão, excessivamente, alta ou baixa.	Remova, limpe e inspecione a válvula de alívio.
Fornecimento inadequado de óleo	Verifique a quantidade de óleo.	Abasteça o tanque de óleo.
Óleo contaminado ou diluído.		Drene o motor e o tanque; abasteça o tanque.
Tela obstruída.		Remova e limpe a tela.
Viscosidade do óleo incorreta.	Tenha certeza que o óleo correto esteja sendo usado.	Drene o motor e o tanque; abasteça o tanque.
Ajuste incorreto da válvula de alívio da bomba de pressão de óleo.	Verifique o ajuste da válvula de alívio de pressão.	Faça o ajuste correto da válvula de alívio da bomba de pressão de óleo.
Indicação de Temperatura de Óleo Alta ou Baixa.		
Indicador de temperatura defeituoso.	Verifique o indicador.	Substitua o indicador se defeituoso.
Fornecimento inadequado de óleo.	Verifique a quantidade de óleo.	Abasteça o tanque de óleo.
Óleo contaminado ou diluído.		Drene o motor e o tanque; abasteça o tanque.
Obstrução no tanque de óleo.	Verifique o tanque.	Drene o tanque e remova a obstrução.
Tela obstruída.		Remova e limpe a tela.
Obstrução na passagem do resfriador do óleo.	Verifique se a passagem está obstruída ou deformada.	Substitua o resfriador de óleo se defeituoso.
Formação de Bolhas no Óleo.		
Óleo contaminado ou diluído.		Drene o motor e o tanque; abasteça o tanque.
Nível de óleo no tanque muito alto.	Verifique a quantidade de óleo.	Drene o excesso de óleo do tanque.

EXIGÊNCIAS PARA OS LUBRIFICANTES DE MOTORES A REAÇÃO

Existem vários requisitos para os óleos lubrificantes de motores, mas pelo fato de existir um número menor de partes móveis e a completa ausência de movimento cíclico, os problemas de lubrificação são menos freqüentes nos motores a reação que nos motores convencionais.

Pela ausência de movimento cíclico mais o uso de rolamentos do tipo esfera e rolete, o motor a reação usam um óleo lubrificante menos viscoso. Os motores turboélices, embora usem o mesmo tipo de óleo dos motores que equipam um jato, devem usar um óleo com uma viscosidade maior pelo fato de sofrerem um maior esforço sobre os rolamentos. Esforço este produzido pelas engrenagens de redução das hélices.

A viscosidade do óleo dos motores a reação deve ser suficientemente alta para suportar o esforço exigido pelas diferentes cargas a que o motor se submete, e também suficientemente baixa para prover uma boa fluidez do óleo.

O óleo deve ter uma baixa volatilidade para evitar perdas por evaporação em maiores altitudes. Em adição, o mesmo não pode criar bolhas e deve ser, essencialmente, não-destrutivo para os diversos selos de borracha ou sintéticos existentes no sistema de lubrificação. Com relação aos rolamentos de antifricção, o óleo tem de manter a formação de carbono e verniz no mínimo possível.

Os vários requisitos exigidos para os óleos lubrificantes podem ser encontrados nos óleos sintéticos, especialmente desenvolvidos para os motores a reação. O óleo sintético tem duas vantagens principais em relação ao óleo derivado de petróleo, ele tem menos tendência à formação de borra e a evaporar em altas temperaturas, sua principal desvantagem é a tendência a formar bolhas e remover a tinta da superfície que entre em contato com o mesmo.

As superfícies contaminadas com óleo devem ser limpas com um solvente de petróleo o mais rápido possível.O intervalo para troca de óleo dos motores à reação varia largamente de modelo para modelo, dependendo principalmente das condições de temperaturas a que o óleo é exposto pela instalação do conjunto aeronave/configuração do motor. As instruções de aplicabilidade do fabricante devem ser seguidas.

Os óleos sintéticos são fornecidos normalmente em latas de metal com capacidade de ¼ de galão ou 1 galão. Embora esse tipo de armazenamento escolhido minimize a contaminação, freqüentemente tem sido necessário filtrar o óleo para remover impurezas, tais como resíduos metálicos, ou selantes, que aparecem como resultado da abertura da lata. Alguns óleos podem conter antioxidantes, aditivos e substâncias que diminuem o seu ponto de fluidez em adição aos materiais sintéticos de base química.

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DOS MOTORES A REAÇÃO

Os sistemas de lubrificação utilizados nos motores a reação são do tipo cárter molhado ou cárter seco. A maioria dos motores à reação é do tipo de fluxo axial e usam o sistema de cárter seco. Entretanto, alguns motores utilizam a combinação cárter seco e molhado.

Motores que utilizam o sistema de cárter molhado estocam o óleo dentro do próprio motor, enquanto motores que utilizam o sistema de cárter seco utilizam um tanque externo, instalado geralmente no próprio motor ou em um ponto da estrutura próximo ao motor. Para assegurar a temperatura adequada do óleo, o mesmo é direcionado através de um resfriador, que utiliza ar ou o próprio combustível para resfriar o óleo.

O rolamento da parte final do motor (exaustão) é considerado o ponto de lubrificação mais crítico em um motor à reação, devido a alta temperatura existente naquela região. Em alguns motores o ar é usado, adicionalmente ao óleo, para resfriar os rolamentos do motor. O ar, quando usado, é fornecido pelo compressor principal. Também, algumas rodas de turbinas contêm aletas que forçam o ar de sua parte frontal sobre os discos de turbinas. Os quais, por sua vez , reduzem a radiação de calor para os rolamentos.

O ar sangrado do compressor, como é conhecido, é usado para resfriar áreas do motor; e normalmente é retirado do quarto ou quinto estágio, já que neste ponto o ar possui pressão suficiente, e a temperatura ainda não é tão elevada. O uso de ar, para resfriamento de algumas áreas no motor, elimina a necessidade de se usar resfriadores de óleo em sistemas de lubrificação do tipo cárter molhado. Uma considerável quantidade de calor, que normalmente se faz presente, é dissipada pelo ar de resfriamento, ao invés de ser absorvido pelo óleo. O uso do ar reduz sensivelmente a quantidade de óleo necessário para manter o resfriamento adequado dos rolamentos.

Motores que dependem exclusivamente de óleo para resfriamento dos rolamentos necessitam de um resfriador. Quando um resfriador se faz necessário, normalmente uma grande quantidade de óleo é utilizada para manter a circulação entre o resfriador e o motor.

Lubrificação de motores a reação com cárter do tipo seco

No sistema de lubrificação de motores do tipo cárter seco, o óleo fica em um tanque normalmente montado.

Neste tipo de sistema, uma grande quantidade de óleo pode ser transportada, e a temperatura pode ser prontamente controlada. Um resfriador de óleo é incorporado ao sistema de cárter seco, figura 6-22. Esse resfriador pode usar o ar ou o próprio combustível como agente resfriador.

O sistema de cárter seco permite que motores de fluxo axial mantenham seus diâmetros relativamente pequenos, uma vez que o tanque de óleo se encaixa dentro do projeto do motor. As descrições que se seguem incluem a maioria dos componentes encontrados nos vários sistemas de lubrificação de motores. Entretanto, como os sistemas de lubrificação dos motores variam de acordo com os modelos e fabricantes, nem todos os componentes serão necessariamente encontrados num sistema.

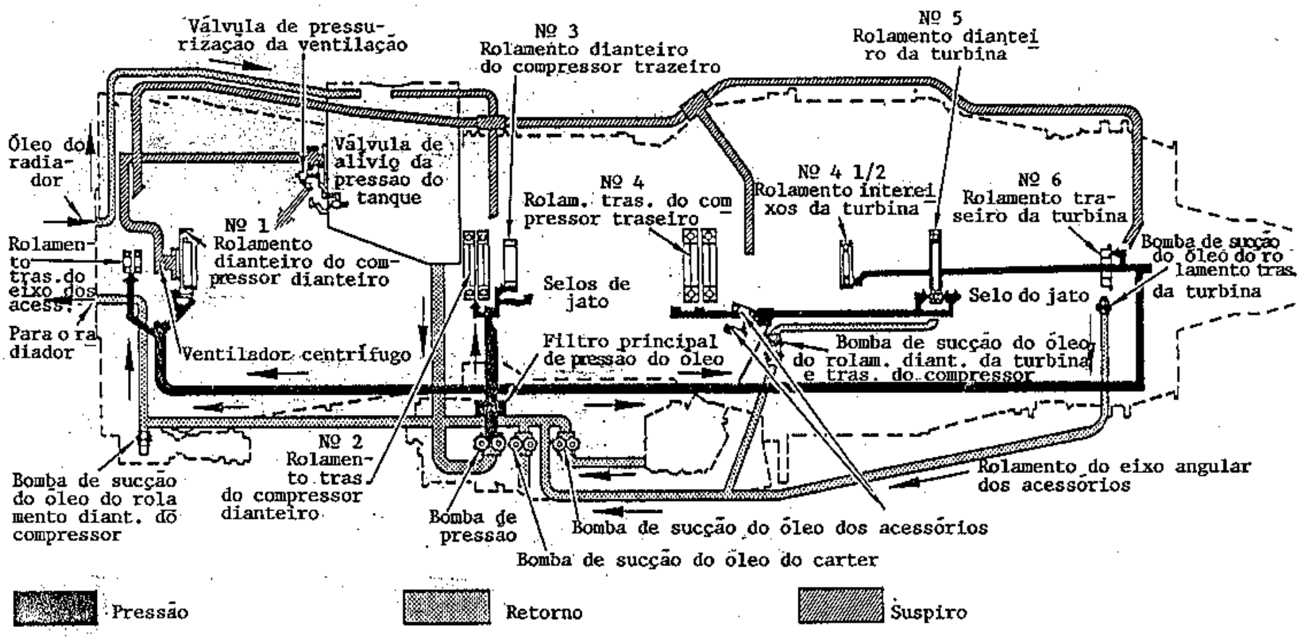

Válvula de pressurização da ventilação
Nº 3
Rolamento dianteiro do compressor trazeiro
Nº 5
Rolamento dianteiro da turbina
Óleo do radiador
Válvula de alívio da pressão do tanque
Nº 4
Rolam. tras. do compressor traseiro
Nº 4 1/2
Rolamento intereixos da turbina
Nº 6
Rolamento traseiro da turbina
Rolamento tras. do eixo dos acess.
Nº 1
Rolamento dianteiro do compressor dianteiro
Selos de jato
Bomba de sucção do óleo do rolamento tras. da turbina
Selo do jato
Para o radiador
Ventilador centrífugo
Filtro principal de pressão do óleo
Bomba de sucção do óleo do rolam. diant. da turbina e tras. do compressor
Nº 2
Rolamento tras do compressor dianteiro
Rolamento do eixo angular dos acessórios
Bomba de sucção do óleo do rolamento diant. do compressor
Bomba de pressão
Bomba de sucção do óleo dos acessórios
Bomba de sucção do óleo do carter
▩ Pressão
▩ Retorno
▨ Suspiro

Figura 6-22 Sistema de lubrificação de um motor turbojato de carter seco.

Embora o sistema de cárter seco use um tanque que contém a maioria do óleo utilizado no sistema, uma pequena quantidade é mantida dentro do motor em um pequeno reservatório. Nesse reservatório encontramos a bomba de óleo, as telas das linhas de pressão e recuperação, as conexões de retorno, um filtro e os pontos de fixação do transmissor de pressão de óleo e do bulbo de temperatura.

Uma vista típica de um tanque de óleo é mostrada na figura 6-23, foi projetado para fornecer óleo constantemente para o motor durante os vários regimes de operação do mesmo e das atitudes da aeronave. Sendo que isto é feito por uma ação conjunta de uma conexão de saída orientável, uma divisória de metal que divide o tanque horizontalmente, duas válvulas unidirecionais e um sistema de ventilação positiva.

A conexão de saída é controlada por um peso, que por sua vez está livre para balançar, abrindo ou não a saída para o óleo. As válvulas unidirecionais, instaladas na divisória, são normalmente abertas; elas se fecham somente quando óleo na parte inferior do tanque tende a correr para a parte superior durante uma desaceleração.

Com isso, o óleo é retido na parte inferior do tanque sendo coletado pela conexão de saída. Um dreno está instalado na parte inferior do tanque.

O sistema de ventilação dentro do tanque, figura 6-23, é arranjado para que o espaço ocupado pelo ar seja aliviado toda vez que o óleo é forçado para a parte superior do tanque pela desaceleração sofrida pela aeronave.

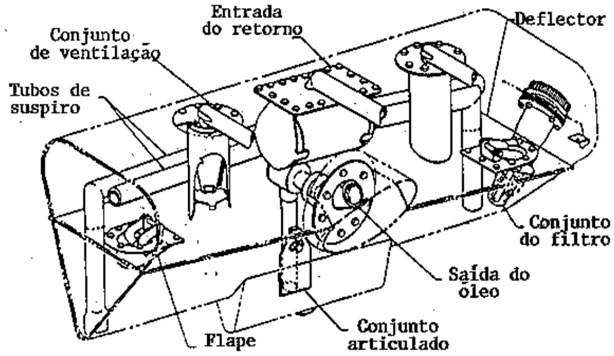

Entrada do retorno
Conjunto de ventilação
Deflector
Tubos de suspiro
Conjunto do filtro
Saída do óleo
Conjunto articulado
Flape

Figura 6-23 Tanque de óleo.

Todos os tanques de óleo são projetados para receber o óleo após sua expansão térmica. Expansão essa causada pela absorção do calor dos rolamentos, engrenagens e o atrito causado pela circulação do mesmo dentro do sistema.

Alguns tanques incorporam um desacelerador, que separa o ar do óleo retornado a parte superior do tanque pelo sistema de recuperação. O ar é enviado para fora pelo sistema de ventilação instalado na parte superior do tanque.

Na maioria dos tanques um aumento na pressão interna é desejado, de modo a assegurar um fluxo positivo para a entrada da bomba de óleo.

Esse aumento de pressão é controlado e mantido por uma válvula de alívio regulada. A válvula é ajustada para manter a pressão no tanque em torno de 4 PSI.

Experiências têm mostrado que existe uma pequena necessidade de se manter o sistema mais diluído. Se a temperatura do ar é extremamente baixa, o óleo pode se tornar mais denso. Por isso alguns motores têm instalado um aquecedor de óleo do tipo imersão.

Bomba de óleo

A bomba de óleo tem a função de fornecer óleo sob pressão para as partes do motor que requerem lubrificação. Muitas bombas de óleo não consistem somente de um elemento de pressão, mas também de elementos de recuperação. Entretanto, existem algumas bombas que tem uma única função; que é fornecer ou recuperar o óleo.

O número de elementos de pressão e recuperação dependerá do tipo e modelo do motor. Por exemplo, motores de fluxo axial tem um longo eixo rotor, o que representa um número maior de rolamentos para suportá-los. Enquanto motores de fluxo centrífugo não necessitam da mesma quantidade. Por essa razão, os elementos utilizados para as bombas de pressão e recuperação devem ser diferentes em número e capacidade.

Em todos os tipos de bombas o elemento de recuperação tem uma capacidade de bombear, maior que o elemento de pressão, para evitar o acúmulo de óleo nos rolamentos.

As bombas podem ser de vários tipos, cada uma tem suas vantagens e limitações. Os três tipos mais usados de bombas são as de engrenagens, gerotor e pistão, sendo a de engrenagem a mais utilizada. Cada uma dessas bombas tem suas configurações.

Na bomba do tipo engrenagem, ilustrada na figura 6-24, há somente dois elementos, um para pressão e outro para recuperação. Entretanto, alguns tipos de bombas podem ter mais elementos, dois ou mais para o elemento de recuperação e um ou mais para o elemento de pressão.

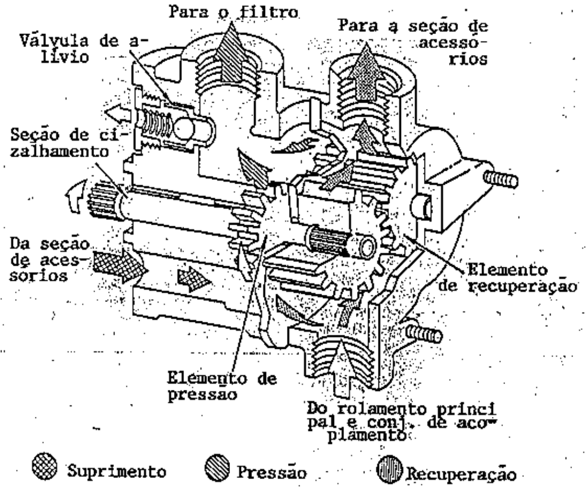

Para o filtro
Para a seção de acessórios
Válvula de alívio
Seção de cizalhamento
Da seção de acessórios
Elemento de recuperação
Elemento de pressão
Do rolamento principal e conj. de acoplamento
▩ Suprimento
▨ Pressão
▥ Recuperação

Figura 6-24 Vista em corte de uma bomba de engrenagem.

Uma válvula de alívio na linha de saída da bomba (figura 6-24) limita a pressão de saída a valores pré-determinados, desviando o óleo para a linha de entrada da bomba. A figura também mostra um eixo de proteção contra travamento "*shaft shear*", que se parte se houver um travamento da bomba.

A bomba do tipo gerotor, tal como a bomba de engrenagem, contém um elemento para a parte de pressão e outro para a parte de recuperação. Os elementos são quase iguais no formato, entretanto a capacidade de cada elemento pode ser alterada, variando-se o tamanho do elemento gerotor.

Por exemplo, o elemento de pressão pode ter uma capacidade de bombeamento de 3,1 gpm (galões por minuto) enquanto o elemento de recuperação tem a capacidade de 4,25 gpm. Conseqüentemente, o elemento de pressão é menor, já que os elementos são todos movidos pelo mesmo eixo. A pressão é determinada pela rpm do motor, sendo que, com o motor em marcha lenta *(idle)*, a pressão é mínima; e com o motor com potência de decolagem a pressão é máxima.

Um conjunto gerotor típico é mostrado na figura 6-25. Cada elemento do conjunto é separado por um prato de aço, fazendo de cada elemento uma unidade individual de bombeamento.

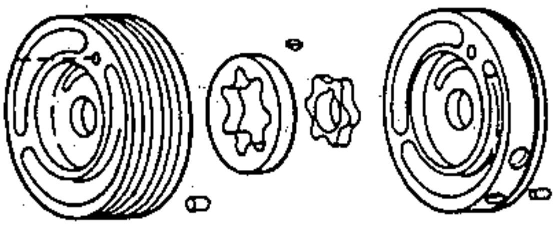


Figura 6-25 Elemento de uma bomba tipo gerotor.

O elemento interno, que é menor, tem a forma de estrela e possui lobos externos que se casam com os lobos internos do elemento externo da bomba. O elemento menor é ligado ao eixo da bomba e atua como uma fonte de força para o elemento externo que gira livremente. O elemento externo acopla dentro de um prato de aço que contém um furo excêntrico. Em um modelo de motor, a bomba de óleo tem quatro elementos, sendo um para pressão e três para recuperação. Em outros modelos a bomba tem seis elementos, sendo um para pressão e cinco para recuperação. Cada alojamento de óleo possui fluxo, desde de que o eixo do motor esteja girando.

A bomba de lubrificação do tipo pistão é do tipo de êmbolos múltiplos. A saída de cada pistão forma um jato de lubrificação independente. O óleo drenado dos pontos de lubrificação é recuperado por um elemento da bomba, e retornado para o reservatório de óleo. A bomba do tipo pistão é usada por ser menos extensa que as dos outros tipos.

Filtros

Os filtros são uma parte importante no sistema de lubrificação, já que eles são responsáveis pela remoção das partículas estranhas contidas no óleo. Isto é particularmente importante em motores à reação, já que altas velocidades são alcançadas internamente ao motor, e os rolamentos de esferas e de roletes utilizados para reduzir a fricção seriam danificados rapidamente por estas partículas estranhas contidas no óleo. Também existem várias passagens para vários pontos de lubrificação. Por essas passagens serem de diâmetro reduzido, muitas vezes elas entopem.

Existem vários tipos de filtros usados para a filtragem do óleo lubrificante. Os elementos filtrantes possuem diversas configurações. Já que seria inviável citar a todos os tipos existentes de elementos, citaremos apenas os mais comuns.

Um filtro de óleo comum usa um elemento descartável com várias lâminas de papel, filtros como esse são muito usados em sistemas hidráulicos. Um outro tipo de elemento de filtro é feito por uma série de espaçadores e telas, como mostrado na figura 6-26. Esse filtro é feito de uma pilha de discos recobertos por telas e separados por espaçadores, de forma que o fluxo de óleo flui através das telas até o orifício de saída do conjunto de filtragem.

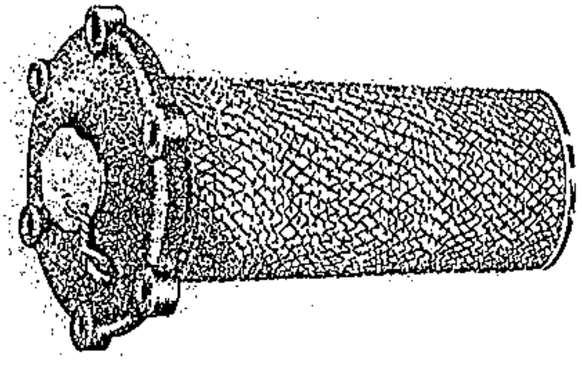


Figura 6-26 Filtro de óleo de tela e espaçadores.

Um outro tipo de filtro, usado como parte principal da filtragem é mostrado na figura 6-27. O interior do elemento do filtro é de aço inoxidável.

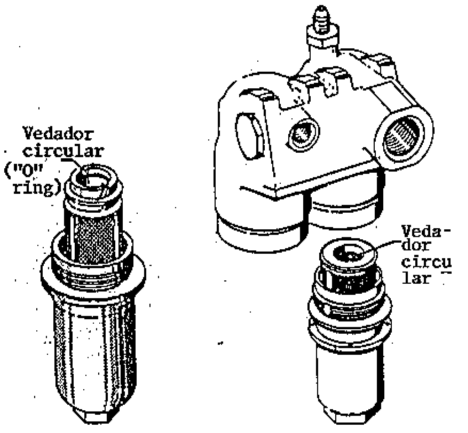


Figura 6-27 Conjunto de filtragem.

Cada um dos tipos de filtros mencionados apresenta algumas vantagens. Em cada um dos casos o filtro selecionado é aquele que melhor atende às necessidades individuais de cada motor. Os filtros discutidos geralmente são usados como filtros de óleo principal; ou seja, eles retiram as impurezas do óleo logo após a saída da bomba, antes que ele seja bombeado até os vários pontos de lubrificação.

Adicionalmente aos filtros principais, existem os filtros secundários, localizados ao longo do sistema por vários motivos. Por exemplo, talvez tenhamos uma tela de filtro na forma de um dedo (*finger*), o qual às vezes é usado para filtragem do óleo na linha de retorno. Também, existem as telas de malha fina, também chamadas de filtros de "ultima chance", para a filtragem do óleo antes que ele passe dos bicos injetores para a superfície dos rolamentos.

Os componentes típicos de um filtro principal incluem o alojamento do filtro, o qual possui uma válvula de alívio ou de desvio e, é claro, o elemento filtrante.

A válvula de desvio evita que o fluxo de óleo seja interrompido caso o filtro de óleo esteja entupido. A válvula de alívio abre sempre que uma determinada pressão é atingida na linha. Caso isto ocorra, a filtragem feita pelo filtro é interrompida, permitindo que o óleo não filtrado seja bombeado até os rolamentos.

Válvula de alívio da pressão de óleo

Uma válvula de alívio de pressão é incluída na linha de pressão do óleo para limitar a pressão máxima do sistema. Esta válvula é especialmente importante se um resfriador de óleo estiver incorporado ao sistema, já que estes resfriadores se rompem facilmente devido ao fato de sua construção utilizar um sistema de paredes finas. A válvula de alívio é ajustada para aliviar a pressão e desviar o óleo de volta a linha de entrada da bomba toda vez que a pressão exceder ao limite pré-estabelecido.

Bicos de lubrificação

Os bicos de lubrificação (ou esguicho) estão localizados nas linhas de pressão adjacentes aos compartimentos dos rolamentos e das junções dos rotores de eixo; ou juntamente com eles. Estes esguichos são na forma de jatos atomizados. Alguns motores usam jatos de ar e óleo na forma de esguicho, o qual é produzido usando-se ar de alta pressão retirado do compressor para as saídas dos jatos de óleo. Este método é utilizado para rolamentos de esfera e de rolete, no entanto, o jato de óleo apenas é considerado melhor do que os outros dois.

Os bicos de lubrificação entopem facilmente por causa do pequeno orifício que existe normalmente em sua extremidade; conseqüentemente, o óleo deve estar sempre livre de qualquer forma de partículas estranhas. Se os filtros secundários entupirem teremos como resultado uma provável falha dos rolamentos, já que os jatos de óleo não são acessíveis para limpeza, exceto durante as revisões gerais dos motores. Para prevenir uma falha devido ao entupimento nos esguichos, os filtros principais devem ser checados freqüentemente quanto à contaminação.

Posicionamento dos manômetros do sistema de lubrificação

Manômetros de pressão e de temperatura são incorporados ao sistema para a medição da pressão e da temperatura do óleo.

O manômetro para a medição da pressão do óleo é colocado logo após a saída da bomba, para medir a pressão do lubrificante no caminho até os esguichos de óleo.

Os dois métodos mais comuns para a obtenção da indicação da temperatura do óleo são: um encaixe com um termopar na linha de óleo; ou um bulbo de temperatura na linha de óleo. O medidor de pressão do óleo está localizado na linha de pressão entre a bomba e os vários pontos de lubrificação. O medidor de temperatura está normalmente localizado na entrada de pressão do motor.

Ventilação do sistema de lubrificação

Ventiladores ou respiradouros são linhas, ou aberturas, no tanque de óleo ou nos alojamentos dos acessórios de vários motores, dependendo de quando o motor tiver um sistema de lubrificação a seco ou cárter molhado.

Os respiradouros no tanque de óleo protegem a pressão do tanque de forma que a mesma não aumente ou diminua para valores diferentes ao da atmosfera externa. No entanto, o respiradouro pode ser direcionado através de uma válvula de alívio (*check relief valve*) de pressão para manter uma pequena pressão (de aproximadamente 4 p.s.i.) no óleo, de forma a assegurar um fluxo positivo até a entrada da bomba.

Os ventiladores dos alojamentos de acessórios (ou respiradouros) são aberturas protegidas por telas, as quais permitem que o ar acumulado nos alojamentos seja sangrado para a atmosfera. O óleo do sistema de retorno contém ar que deve ser sangrado; caso contrario, haverá um aumento da pressão interna no alojamento de acessórios que irá impedir o fluxo do óleo drenado dos rolamentos, fazendo com que o óleo retorne dos rolamentos para os selos, e vazando para a região do compressor.

Vazamentos de óleo podem ter várias conseqüências, a mais inofensiva delas é um aumento no consumo de óleo do motor; a mais séria é o surgimento de pontos de queima devido ao vazamento de quantidades maiores de óleo, os quais podem causar uma falha da turbina, já que provocam o surgimento de pontos quentes.

As aberturas de ventilação protegidas por telas estão normalmente localizadas no centro da parte frontal do alojamento da caixa de acessórios, a fim de prevenir um vazamento de óleo através do respiradouro durante uma atitude não usual do avião. Alguns respiradores possuem um defletor para impedir o vazamento de óleo durante manobras em vôo.

Um respiradouro direcionado diretamente sobre o compartimento do rolamento pode ser usado em alguns motores. Estes respiradouros equalizam a pressão em torno da frente do rolamento, de forma que a pressão inferior, no primeiro estágio do compressor, não cause uma passagem forçada do óleo na traseira do rolamento através do selo até atingir a área do compressor.

Válvulas unidirecionais do sistema de lubrificação

As válvulas unidirecionais (*check valves*), às vezes, são instaladas na linha de alimentação do sistema de óleo para o cárter seco no sistema, de forma a prevenir que ocorram vazamentos (por gravidade) na região do reservatório de óleo; ou através dos elementos da bomba de combustível, ou nas linhas de alta pressão do motor após o corte (desligamento) dos mesmos. As válvulas unidirecionais, por impedirem um fluxo na direção oposta, previnem o acúmulo desnecessário de óleo na caixa de acessórios, na parte anterior do alojamento do compressor, e na câmara de combustão.

Tais acúmulos podem causar uma carga excessiva nas engrenagens da caixa de acessórios durante a partida do motor, na contaminação do ar pressurizado da cabine; assim como podem causar combustão interna do óleo.

As válvulas unidirecionais são normalmente do tipo mola *(spring loaded*), tipo esfera e soquete (*ball-and-soquet*), construídas para que haja um fluxo livre do óleo pressurizado. A pressão necessária para a abertura destas válvulas varia, mas as válvulas requerem normalmente de 2 a 5 p.s.i. para permitir que o óleo flua até os rolamentos.

Válvulas termostáticas de desvio (*by-pass*) do sistema

Nos sistemas que utilizam os radiadores de óleo são incluídas válvulas termostáticas de desvio.

Apesar destas válvulas poderem ser chamadas por nomes diferentes, seu objetivo é o de manter sempre uma temperatura adequada do óleo, através de uma variação do fluxo de óleo que passa pelo radiador.

Uma vista em corte de uma válvula de desvio termostática pode ser visto na figura 6-28.

Esta válvula consiste do corpo da válvula, com dois pontos de entrada e apenas um de saída, e um elemento da válvula termostática carregado por uma mola.

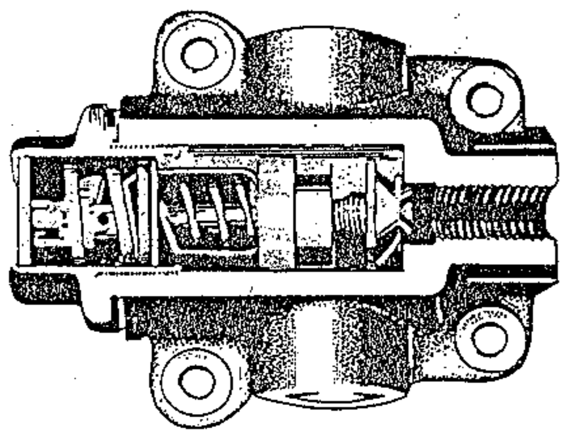


Figura 6-28 Uma típica válvula de desvio termostática.

A válvula é carregada por uma mola, porque uma queda de pressão no radiador de óleo poderia ser muito grande devido ao entupimento, ou amassamento, na tubulação do radiador. Neste caso, a válvula irá se abrir, desviando o fluxo do radiador de óleo.

Radiadores de óleo

Os radiadores de óleo são usados em alguns motores para reduzir a temperatura do óleo no sistema, a um valor aceitável para a recirculação do óleo através do sistema de lubrificação.

Em prévia discussão, foi mostrado que em sistemas do tipo cárter molhado não há a necessidade e de se utilizar um radiador de óleo devido ao ar de refrigeração, o qual é forçado ao redor da roda e dos rolamentos da turbina. Este ar de refrigeração, fornecido por um impelidor auxiliar no eixo do rotor, ou através do sangramento do ar do compressor, reduz o calor que normalmente é absorvido pelo óleo. Outro fator de redução do calor no óleo nos sistemas do tipo cárter molhado é que o ar que entra no motor primeiro circula em torno da caixa de acessórios, refrigerando o óleo destinado ao reservatório.

Nos sistemas de cárter seco existe a necessidade de uso do radiador de óleo por vários motivos. Primeiro, a refrigeração nos rolamentos utilizando o ar sangrado do compressor não é eficiente como a refrigeração feita por ar vindo de um impelidor auxiliar, já que o ar sangrado do compressor possui um calor presente.

Segundo, o motor de fluxo axial normalmente requer um número maior de rolamentos, o que significa uma maior transferência de calor para o óleo do sistema.

Terceiro, o ar que entra no motor de fluxo axial não circula em torno do reservatório de óleo, como nos motores com sistema de cárter úmido. Conseqüentemente, o radiador de óleo é o único meio de dissipar o calor contido.

Dois tipos básicos de radiadores são utilizados normalmente: os do tipo resfriados a ar e o de resfriamento óleo-combustível. O radiador do tipo óleo-combustível funciona como um trocador de calor entre o óleo e o combustível do motor, de forma que o calor é retirado do óleo para aquecer o combustível. O radiador a ar normalmente é instalado na parte dianteira do motor, seu funcionamento é bastante parecido como resfriador usado nos motores a pistão.

Trocadores de calor entre combustível/óleo

O trocador de calor combustível/óleo ilustrado na figura 6-29 foi projetado para o resfriamento do óleo, e para o pré-aquecimento do combustível a ser usado na combustão.

O combustível do motor deve passar através do trocador de calor; no entanto, existe uma válvula termostática que controla o fluxo de óleo, que pode desviar o trocador quando não há a necessidade de resfriamento do mesmo.

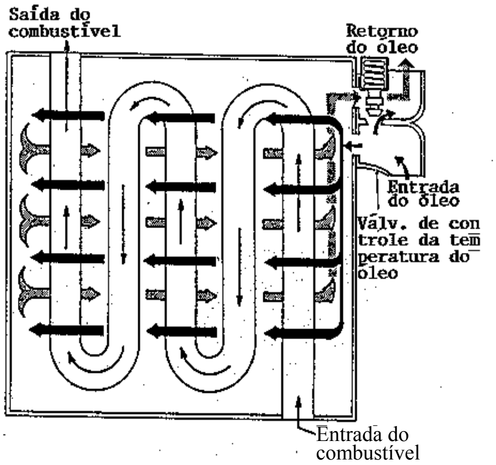


Figura 6-29 Radiador por troca de calor óleo/combustível.

O trocador de calor óleo/combustível consiste de um conjunto de tubos com um orifício de entrada e um de saída.

O óleo entra por um orifício, movimentando em torno da tubulação de combustível, e sai pelo outro.

O trocador de calor tem como vantagem permitir sua instalação, ocupando uma pequena área frontal do motor, oferecendo apenas um pequeno arrasto.

SISTEMA TÍPICO DE LUBRIFICAÇÃO POR CÁRTER SECO

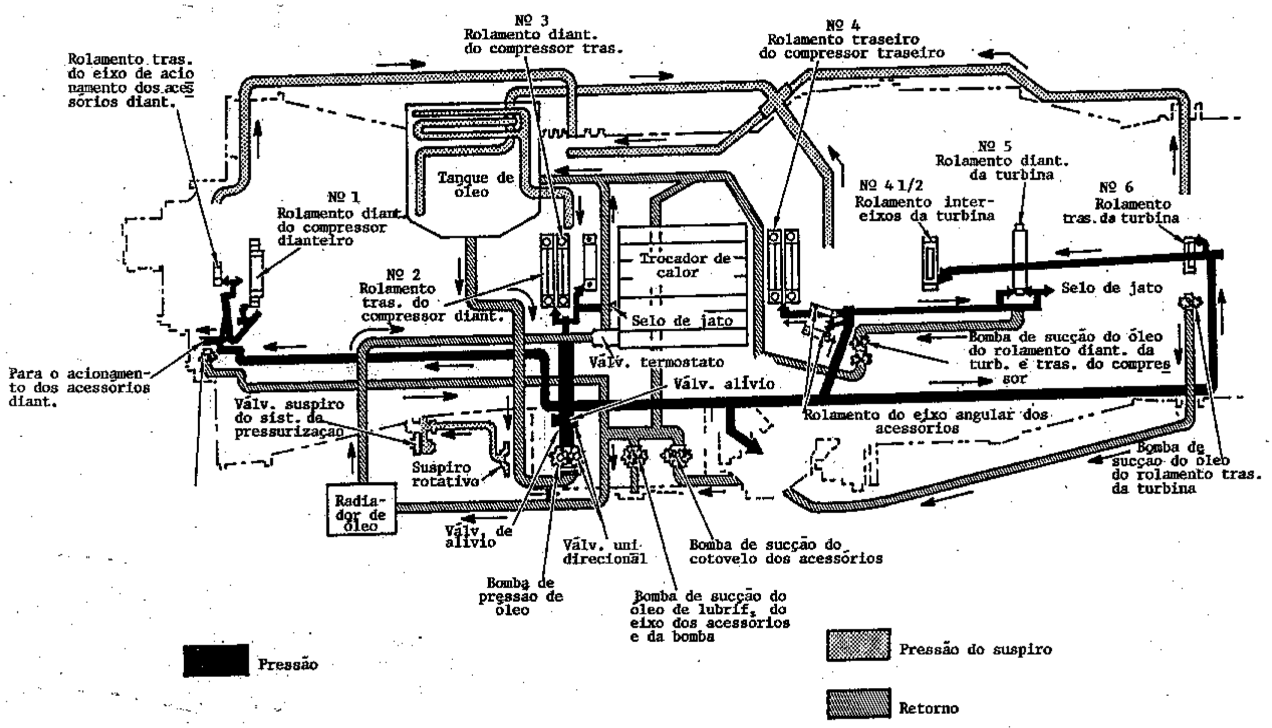
O sistema de lubrificação de motor a jato, ilustrado na figura 6-30, representa um motor a reação que utiliza o sistema de cárter seco.

O sistema de lubrificação é do tipo de alta pressão; ele é constituído por pressão, retorno, e subsistemas de ventilação.

O sistema de pressão fornece óleo aos rolamentos principais do motor e as engrenagens dos acessórios do mesmo.

O sistema de retorno faz o retorno do óleo para o reservatório do motor, o qual normalmente é montado junto à caixa do compressor; ele está conectado ao lado de entrada da bomba de pressão de óleo do motor, que completa o ciclo de fluxo de óleo.

Um sistema de sangramento, conectando os alojamentos dos rolamentos e o tanque de óleo com a válvula de pressurização (*breather pressurization valve*), completa o sistema de lubrificação.



Rolamento tras. do eixo de acionamento dos acessórios diant.
Nº 3 Rolamento diant. do compressor tras.
Nº 4 Rolamento traseiro do compressor traseiro
Tanque de óleo
Nº 1 Rolamento diant. do compressor dianteiro
Nº 2 Rolamento tras. do compressor diant.
Trocador de calor
Selo de jato
Nº 5 Rolamento diant. da turbina
Nº 4 1/2 Rolamento inter-eixos da turbina
Nº 6 Rolamento tras. da turbina
Selo de jato
Para o acionamento dos acessórios diant.
Válv. termostato
Válv. alívio
Bomba de sucção do óleo do rolamento diant. da turb. e tras. do compressor
Válv. suspiro do sist. de pressurização
Rolamento do eixo angular dos acessórios
Suspiro rotativo
Bomba de sucção do óleo do rolamento tras. da turbina
Radiador de óleo
Válv. de alívio
Válv. unidirecional
Bomba de sucção do cotovelo dos acessórios
Bomba de pressão de óleo
Bomba de sucção do óleo de lubrif. do eixo dos acessórios e da bomba
■ Pressão
▨ Pressão do suspiro
▨ Retorno

Figura 6-30 Sistema de lubrificação de um motor à turbina típico de carter seco.

Manutenção do sistema de pressurização do óleo

A parte pressurizada do sistema de lubrificação do motor (figura 6-30) é pressurizada por uma bomba de engrenagens, localizada no lado esquerdo da bomba de óleo e do alojamento das engrenagens dos acessórios.

A bomba de pressão recebe óleo em seu orifício inferior (de entrada), e o descarrega, pressurizado, no filtro localizado em seu alojamento.

Do filtro de óleo, o qual possui uma válvula de desvio que funciona em caso de entupimento, o óleo pressurizado é transmitido a uma passagem através da parte inferior da bomba e do alojamento das engrenagens dos acessórios (*accessory drive housing*).

Perto da parte anterior do alojamento, esta passagem é interceptada por outras duas; uma passagem transmite óleo com pressão para os rolamentos instalados na parte anterior do motor; enquanto a outra transmite óleo com pressão para uma passagem axial, que será responsável pela lubrificação dos rolamentos na parte frontal do motor, bem como dos dentes das engrenagens frontais dos acessórios.

Atravessando a passagem axial existe um pequeno furo, que irá levar óleo pressurizado até o centro da bomba de óleo e do alojamento das engrenagens dos acessórios. Esse óleo é então transmitido a caixa intermediária do compressor (*intermediate compressor case*) para lubrificar a parte frontal e posterior do rolamento anterior. Existe, ainda, na parte superior da passagem axial, duas passagens que conduzem óleo ate o medidor de pressão de óleo e para a válvula de alívio de pressão.

O óleo pressurizado é distribuído nos rolamentos principais, sendo que são pulverizados nos rolamentos através dos orifícios dos bicos de lubrificação, que fornecem um fluxo relativamente constante em todos os regimes de funcionamento do motor.

A válvula de alívio é posicionada após a bomba, ela é ajustada de forma a manter uma pressão própria sobre os bicos de lubrificação calibrados do motor. A válvula de alívio é de fácil acesso para ajuste.

A manutenção do sistema de lubrificação é feita basicamente através de ajuste, remoção, limpeza e substituição de componentes.

Para ajustar a pressão de óleo, primeiro remove-se a tampa protetora do parafuso de ajuste no conjunto da válvula de alívio de pressão. Solta-se a porca, girando o parafuso no sentido horário, de forma a aumentar; e no sentido anti-horário para diminuir a pressão de óleo.

Em um sistema de lubrificação de motor a reação típico, o parafuso de ajuste é posicionado de forma a fornecer ao sistema uma pressão de óleo de 40-50 P.S.I. a 75% da potência de empuxo do motor. O ajuste deve ser feito com o motor em marcha lenta (*idle*); portanto, talvez seja necessário fazer vários ajustes antes de se obter a pressão desejada. Quando o ajuste da pressão desejada é atingido, a porca do parafuso de ajuste deve ser apertada, a tampa protetora reinstalada com uma nova junta, apertada e frenada.

Manutenção do filtro de óleo

O filtro de óleo deve ser removido em toda revisão regular. O filtro deve ser desmontado e limpo, e os elementos do filtro danificados ou desgastados devem ser substituídos. Os itens a seguir ilustram uma típica remoção do filtro de óleo:

1. Providenciar um recipiente adequado para a coleta do óleo drenado.

2. Remover a tampa e o conjunto do filtro (figura 6-31). Descartar o anel de vedação antigo.

3. Instalar o conjunto do filtro em uma bancada de fixação, e remover o conector da tampa do filtro. O filtro deve ser instalado em uma bancada de fixação própria, antes da remoção do conector, para prevenir que as telas e espaçadores empilhados se soltem devido a sua pressão de mola.

4. Cuidadosamente a cobertura do filtro da fixação é removida; desliza-se as telas e os espaçadores em uma haste de limpeza apropriada, mantendo-os em sua ordem original. As peças devem ser posicionadas de forma a não deslizarem na haste durante ao processo de limpeza.

5. Separar as telas e os espaçadores, deslizando as partes ao longo da haste. Examinar as telas e os espaçadores quanto à presença de partículas estranhas que possam indicar uma condição insatisfatória do motor.

6. Mergulhar as telas e os espaçadores em um removedor de carvão a uma temperatura ambiente por alguns minutos. Enxaguar as peças com um fluido desengraxante ou solvente de limpeza. Soprar as peças até secar com um jato de ar.

7. Montar os espaçadores e as telas do filtro no deflector, usando uma bancada de montagem. Verificar que um espaçador de saída está colocado em cada uma das extremidades. Também, verificar se cada tela está localizada entre um espaçador de saída e um espaçador de entrada. Instalar a placa externa na montagem das telas e dos espaçadores; depois instalar a tampa na placa externa. Colocar um novo selo no bujão (plug) da tampa, e instalar o bujão (plug) nas roscas existentes no deflector.

8. O bujão (plug) deve ser apertado de acordo com o torque especificado pelo fabricante, de forma que os espaçadores e as telas não possam ser rodados com a mão.

Frenar o bujão na tampa com arame de freno. Após isto, remover o conjunto da bancada de fixação.

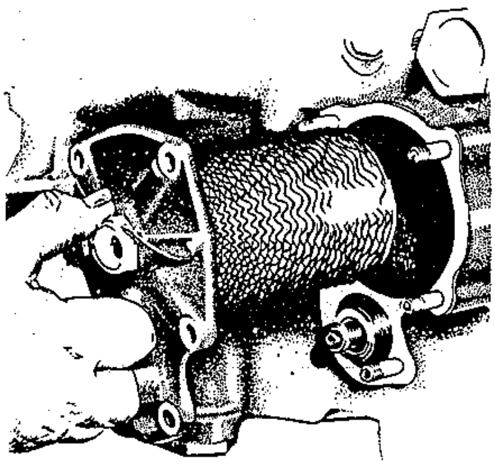


Figura 6-31 Removendo o conjunto do filtro de óleo.

Sistema de recuperação

O sistema de recuperação mantém o óleo das cavidades principais dos rolamentos do motor e, em certas temperaturas, circula o óleo recuperado através do radiador(es) de óleo e de volta ao tanque.

O sistema de recuperação do óleo ilustrado na figura 6-30 inclui seis bombas de engrenagem. A bomba de recuperação do rolamento da entrada do compressor é acionada pelo acoplamento das engrenagens de comando, através das engrenagens de comando intermediárias, ela recupera óleo acumulado no compartimento frontal da caixa de acessórios. O óleo é direcionado através da linha externa até um ponto central de coleta no compartimento principal da caixa de acessórios.

A bomba de sucção do alojamento da caixa de acessórios é acionada por uma engrenagem de comando intermediária, que recupera óleo acumulado pelo vazamento na bomba e no compartimento n°2.

O óleo retorna dos rolamentos n°2 e n°3 através de passagens internas até um ponto central de coleta na caixa principal.

O cotovelo da bomba de sucção da caixa de acessórios, localizado na caixa de acessórios principal, recupera óleo do alojamento das engrenagens em ângulo da caixa de engrenagens (*accessory elbow housing*), e retorna o óleo até o ponto de coleta central na caixa principal. O óleo acumulado no compartimento do joelho da caixa de acessórios por gravidade, flui dos mancais e rolamentos e do óleo recuperado do rolamento n°6.

A bomba de sucção do óleo do rolamento traseiro do compressor está localizada no compartimento formado pelo conjunto soldado do duto interno do difusor e o suporte do rolamento n°5, conhecido como compartimento de óleo n°3.

A bomba é acionada pelo eixo de engrenagem da caixa de acessórios, ela está fixada ao conjunto de soldas do duto interno através de um adaptador. A bomba recupera o óleo dos rolamentos n°4 e n°4 1/2 quando o motor está em posição nivelada.

Quando o motor está na posição de nariz para baixo (*nosedown*), o óleo do rolamento n°5 irá fluir para frente, e ser recuperado no cárter de óleo do rolamento traseiro do compressor. Esta bomba também direciona o óleo recuperado para um ponto de recuperação central da caixa de acessórios principal.

A bomba de sucção do rolamento dianteiro da turbina está localizada no mesmo alojamento e compartimento que o da bomba de sucção do rolamento traseiro do compressor; ela é acionada pelo eixo de engrenagens da caixa de acessórios.

A bomba recupera o óleo do rolamento n°5 quando o motor está em posição nivelada. Quando o motor está na posição de nariz para baixo (*nosedown*), o óleo dos rolamentos n°4 e n°4 1/2 fluem para frente e são recuperados pela bomba de sucção do rolamento dianteiro da turbina; esta, por sua vez, também direciona o óleo recuperado para um ponto de recuperação central da caixa de acessórios principal.

A bomba de sucção do rolamento traseiro da turbina está localizada na face interna, posterior ao cárter do rolamento traseiro da turbina, o qual é o compartimento de óleo n°4. Esse compartimento está junto ao cárter do rolamento traseiro, e é acionado por um pinhão. Essa bomba recupera o óleo do compartimento do rolamento n°6, direcionando-o através de uma passagem existente no montante da caixa da turbina. Deste ponto, o óleo é direcionado para o alojamento dos acessórios, de onde a bomba do conector dos acessórios o retorna para um ponto de recuperação central da caixa de acessórios principal.

Existem dois sistemas de apoio no sistema de recuperação, para que haja uma perfeita refrigeração do mesmo.

A válvula de regulagem da temperatura do óleo está localizada na entrada do trocador de calor entre óleo e o combustível do motor. A válvula opera em uma faixa entre 165°F. até a posição toda aberta à 185°F. A válvula direciona o fluxo de óleo de retorno ao redor das linhas de combustível no trocador de calor.

O seletor (*switch*) do sensor de temperatura do combustível está localizado na linha de saída do trocador de calor óleo/combustível, ele opera na faixa entre 200°F. até 205°F., atuando sobre a porta no radiador de óleo, o qual permite que o ar passe refrigerando o óleo que flui através do radiador todo o tempo.

Parte da manutenção regular em todas as inspeções inclui a verificação de vazamentos de óleo e a segurança da fixação dos componentes do sistema de recuperação.

Suspiro do sistema pressurizado

O suspiro do sistema pressurizado garante um padrão correto no jato dos bicos de lubrificação dos rolamentos principais, e fornece uma cota de pressão ao sistema de recuperação.

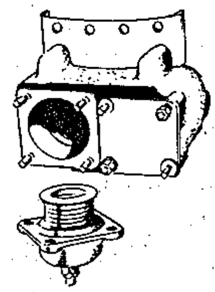
Os tubos de suspiro no compartimento de admissão do compressor, no tanque de óleo, na caixa do difusor, e na caixa do tubo de exaustão da turbina são conectados a tubulação externa na parte superior do motor. Por meio destes tubos, os vapores carregados para a atmosfera pelos vários compartimentos de rolamentos e pelo tanque de óleo são trazidos juntos, até que a coroa circule a caixa intermediária do compressor.

Os compartimentos de rolamentos compartilhados pelo rolamento traseiro da seção dianteira do compressor e o rolamento da parte traseira do compressor são ventilados (através de aletas ocas) ate a coroa circular da caixa intermediária do compressor. Deste ponto em diante o vapor entra para a caixa de acessórios principal, a qual está montada na parte inferior da caixa intermediária do compressor.

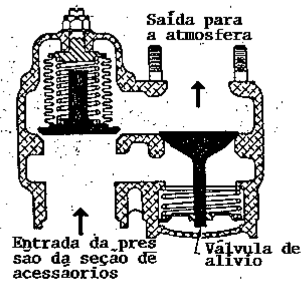
A válvula de suspiro do sistema de pressurização (figura 6-32) consiste em uma válvula com aneróide (mola e cápsula) e uma válvula de exaustão do tipo mola. A pressurização é fornecida por ar vindo do compressor, o qual vaza através dos selos, entrando nas linhas de óleo do motor.

A uma pressão do nível do mar, a válvula de suspiro do sistema pressurizado está aberta; ela vai fechando gradualmente na medida em que a altitude vai aumentando, e mantém uma pressão no sistema de lubrificação suficiente para que o fluxo nos bicos de lubrificação seja próximo ao existente ao nível do mar. A válvula de exaustão do tipo mola age como ponto de alívio de pressão do sistema, ficando aberta apenas se uma pressão acima de um valor máximo predeterminado existir dentro do sistema.

A válvula de equalização de pressão limita a pressão fornecida aos selos de ar/óleo.



A - Válvula_de suspiro do sistema de pressurização



B - Vista em corte da válvula

Figura 6-32 Válvula de suspiro do sistema de pressurização.

Isto ajuda na prevenção de uma sobrepressurização em todos os compartimentos do sistema de suspiro. O ar acima de uma pressão de 54 p.s.i. é direcionado para a válvula de equalização de pressão. Toda pressão superior a 24 ± 2 p.s.i., valor de ajuste da válvula de equalização, é retornado a caixa intermediária.

O suspiro rotativo (separador de ar e óleo) remove o óleo do ar através da centrifugação. O seu propósito é o de reduzir a pressão do ar sobre os selos de carvão.

O ar do nono estágio do compressor, não importando a pressão, é direcionado sobre a parte dianteira do selo de carvão. O ar sobre a parte traseira do selo de carvão impede o óleo do rolamento n°2 de entrar na corrente de ar. Este ar é retornado no anel circular da caixa intermediária. O ar acima de 25 p.s.i. de pressão, que é direcionado para a válvula equalizadora de pressão, é também direcionado para a válvula de suspiro do sistema pressurizado.

Sistema de cárter molhado do motor a jato

Em alguns motores, o sistema de lubrificação é do tipo cárter molhado, poucos o usam, já que apenas alguns motores do tipo de fluxo centrífugo continuam em operação. Um diagrama esquemático de um sistema de óleo de cárter molhado é mostrado na figura 6-33.

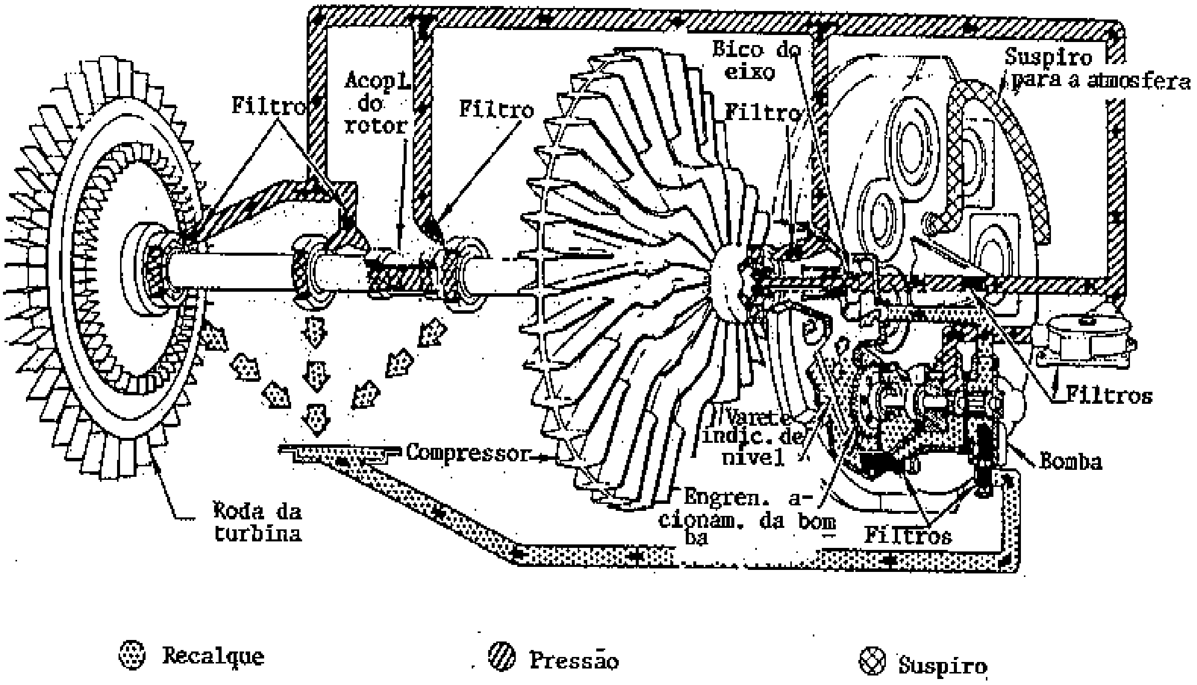


Figura 6-33 Sistema de lubrificação do motor turbojato de carter molhado.

Os componentes do sistema de cárter molhado são similares aos do sistema de cárter seco. A grande diferença entre os dois sistemas é a localização do reservatório de óleo.

O reservatório nos sistemas de cárter molhado pode estar localizado na caixa de engrenagens, a qual é composta pela caixa das engrenagens dos acessórios e o suporte do rolamento dianteiro do compressor (figura 6-33), ou talvez no cárter montado na parte inferior da caixa de acessórios. Independendo da configuração, o reservatório no sistema de cárter molhado é uma parte integral do motor, e contém o volume do suprimento de óleo.

Incluídos no reservatório do sistema de cárter molhado, mostrado na figura 6-33, estão os seguintes componentes:

1. Um indicador de nível de óleo do tipo baioneta.
2. Duas ou mais telas filtros do tipo dedo (*finger strainers*) são inseridas na caixa de acessórios para filtrar o óleo da linha de pressão e de retorno, antes de deixar ou entrar no cárter. Esses filtros auxiliam o filtro principal de óleo.
3. Um suspiro, ou respiradouro, equaliza a pressão com o alojamento dos acessórios.
4. Um bujão magnético de drenagem pode ser utilizado para drenar o óleo, e também para segurar a partículas ferrosas. Este bujão deve ser examinado cuidadosamente durante as inspeções. A presença de partículas metálicas pode indicar uma falha nos rolamentos ou nas engrenagens.
5. Também podem ser colocados um dispositivo de bulbo de temperatura e um encaixe de pressão para óleo.

Esse é o sistema típico de qualquer motor que use um sistema de cárter molhado. O rolamento e as engrenagens de acionamento na caixa de acessórios são lubrificados por um sistema de salpico.

O óleo nos demais pontos de lubrificação mantém a bomba com pressão, e passam através de um filtro para os bicos ejetores que direcionam o óleo sobre os rolamentos e acoplamentos.

A maioria dos sistemas de pressão de cárter molhado são sistemas de pressão variada, nas quais a pressão de saída da bomba depende da rotação (R.P.M.) do motor.

O óleo é retornado para o reservatório por gravidade e através da sucção da bomba. O óleo do rolamento dianteiro do compressor, e das engrenagens dos eixos dos acessórios, é drenado diretamente para o reservatório.

O óleo dos acoplamentos da turbina e dos demais rolamentos do eixo rotor é drenado em um cárter, do qual ele é bombeado através de um elemento de retorno, e através de uma tela do tipo dedo até o reservatório.

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MOTOR

Sistema de refrigeração do motor convencional

Um motor de combustão interna é uma máquina de calor que converte energia química, contida no combustível, em energia mecânica contida no eixo do motor. Ele não faz isto sem que haja uma certa perda de energia, até mesmo o mais eficiente motor de aeronave talvez perca cerca de 60 a 70% da energia original do combustível; a não ser que grande parte desta perda de calor seja rapidamente removida, os cilindros talvez fiquem quentes o suficiente para causar uma falha completa do motor.

Calor excessivo é indesejável em um motor de combustão interna por três razões:

1. Ele afeta o comportamento da combustão da mistura de ar/combustível.
2. Ele encurta e enfraquece a vida dos componentes do motor.
3. Ele prejudica a lubrificação. Se a temperatura interna do cilindro é muito alta, a mistura ar/combustível será pré-aquecida, e a combustão ocorrerá antes do tempo desejado. A combustão prematura causa detonação, batimento e outras condições indesejáveis; – deve haver um modo de se eliminar o calor antes que este cause danos.

Um galão de gasolina aeronáutica possui calor em quantidade equivalente a contida em 75 galões de água fervendo; portanto, é fácil de compreender porque um motor que queima 4 galões por minuto libera uma quantidade enorme de calor. O restante do calor tem de ser dissipado de forma que ele não se torne destrutivo ao motor.

Em um típico sistema motopropulsor de aeronave, metade do calor sai junto com o gás de combustão, e a outra metade é absorvida pelo motor. O óleo que circula no motor retém parte deste calor, e o retransmite à corrente de ar através do radiador de óleo. O sistema de refrigeração do motor se encarrega do resto.

Refrigeração é uma questão de transferência do excesso de calor do cilindro para o ar, mas exige mais do que simplesmente posicionar o cilindro junto ao fluxo de ar.

Um cilindro de um motor de grande porte tem o tamanho de um vasilhame de um galão. A sua superfície externa, no entanto, é aumentada com a utilização de aletas de refrigeração pelas quais o ar de refrigeração passa. Este arranjo aumenta a transferência de calor por radiação.

Se uma grande quantidade de aletas de refrigeração for quebrada, o cilindro não poderá resfriar de maneira correta, e pontos quentes aparecerão no mesmo.

Portanto, o cilindro é normalmente substituído quando uma determinada área das aletas estiver danificada.

Capotas e deflectores são utilizados para forçar a passagem do ar sobre as aletas do cilindro (figura 6-34). Os deflectores de ar estão em torno do cilindro, e previnem a formação de bolsões de ar quente estagnado enquanto a corrente não for usada. Tubos de injeção são feitos nos defletores de forma a direcionar os jatos de refrigeração na parte traseira dos conectores das velas de ignição de cada cilindro, para prevenir o super aquecimento dos cabos de ignição.

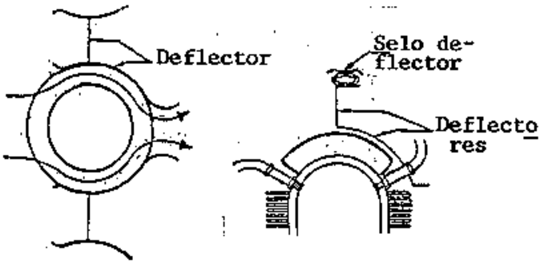


Figura 6-34 Dissipação do calor.

Um motor pode ter uma temperatura de operação que seja muito baixa. Pela mesma razão que um motor é pré-aquecido antes da decolagem, ele será mantido aquecido durante o vôo. A evaporação e distribuição de combustível, e a circulação do óleo, dependem do motor ser mantido aquecido. O motor usado em um automóvel depende de uma válvula termostática em seu sistema de água, para manter o motor em sua faixa de temperatura de maior eficiência.

O motor de uso aeronáutico também possui seus controladores de temperatura. Esses controladores regulam a circulação do ar em torno do motor, a não ser que algum controle seja fornecido, o motor irá sobreaquecer durante a decolagem e ficar muito frio durante vôos a alta velocidade e baixa potência de descida.

O modo mais comum de controle da refrigeração é a utilização de flapes de refrigeração, como o ilustrado na figura 6-35. Esses flapes são abertos e fechados por eixos sem-fim, acionados por motores elétricos, por atuadores hidráulicos, ou manualmente em algumas aeronaves.

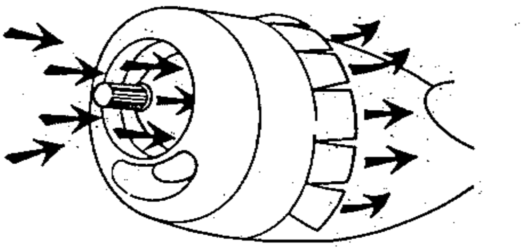


Figura 6-35 Regulagem do fluxo de ar de refrigeração.

Quando estendido para o aumento da refrigeração, os flapes produzem arrasto e sacrificam as linhas de fluxo aerodinâmico para uma refrigeração adicional.

Na decolagem, os flapes de refrigeração são abertos apenas o bastante para que o motor seja mantido abaixo de seu limite de temperatura.

Um aquecimento acima da faixa normal é permitido, de forma que o arrasto seja o menor possível.

Durante a operação no solo, os flapes de refrigeração deverão estar bastante abertos, já que o arrasto não é relevante.

Algumas aeronaves usam aumentadores de fluxo(figura 6-36) para fornecer um fluxo de refrigeração adicional.

Cada nacele possui dois conjuntos de tubos em torno do motor, ligando o compartimento do motor com a parte traseira da nacele.

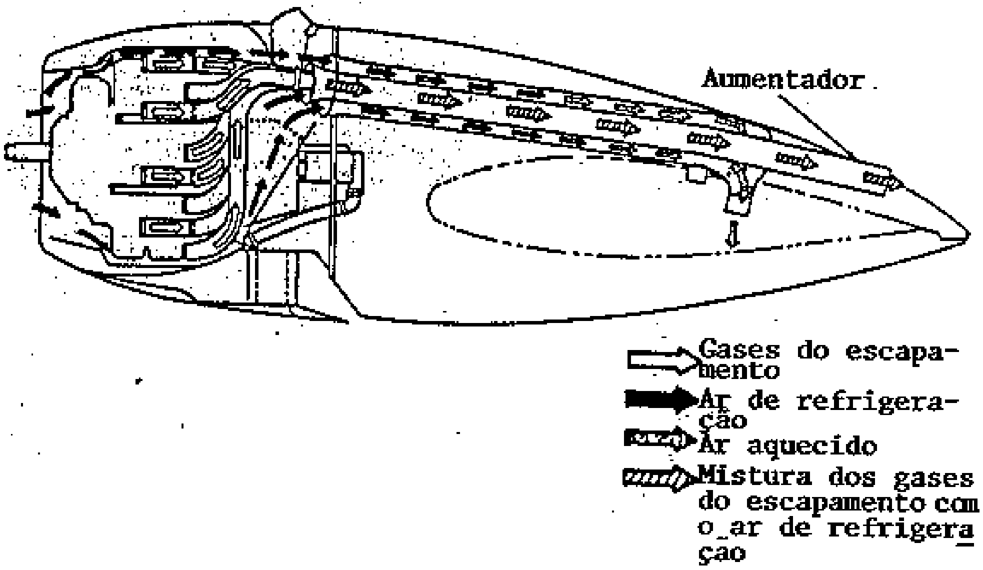


Figura 6-36 Aumentador de fluxo.

Os coletores de escapamento alimentam os tubos internos das linhas do aumentador. Os gases de escapamento misturados com o ar que passa através do motor, o aquecem de forma a produzir um jato de saída de baixa pressão e alta temperatura. Esta área de baixa pressão perto dos aumentadores produz um ar de refrigeração adicional em torno do motor.

O ar entrando no espaço entre o tubo interno e o externo dos aumentadores é aquecido pelo contato com os tubos, mas sem ser contaminado pelos gases de exaustão. O ar aquecido é usado no aquecimento da cabine, degelo e no sistema antigelo.

Os aumentadores usam a velocidade dos gases de exaustão para causar um fluxo de ar sobre o motor, de forma que a refrigeração não dependa exclusivamente do rastro da hélice.

Aletas instaladas nos sopradores controlam o volume de ar. Essas aletas normalmente são deixadas na posição recuada para permitir um maior fluxo; elas podem ser fechadas para aumentar o calor na cabine ou o uso do antigelo, ou para prevenir que o motor resfrie demais durante a descida. Em adição ao soprador, algumas aeronaves têm portas de aquecimento residual, ou flapes da nacele, que são usados principalmente para deixar que saia o aquecimento retido após o corte do motor.

Os flapes da nacele podem ser abertos para um resfriamento melhor que o fornecido pelo soprador.

Uma forma modificada, previamente descrita do sistema aumentador da refrigeração, é usada em algumas aeronaves leves. A figura 6-37 é um diagrama esboçado de tal sistema.

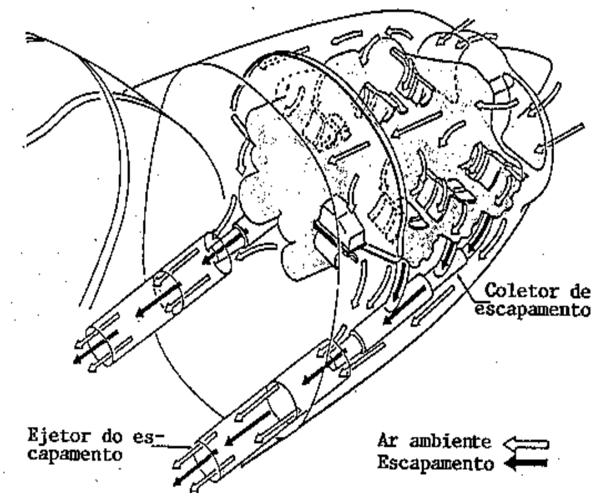


Figura 6-37 Sistema de exaustão e de refrigeração do motor.

Como mostra a figura 6-37, o motor é refrigerado sob pressão de ar que passa por duas aberturas na frente do corpo, uma de cada lado do cone das hélices.

Uma câmara de pressão é selada completamente na parte superior do motor, com deflectores que direciona propriamente o fluxo de ar de refrigeração para todas as partes do compartimento inferior do motor.

O ar aquecido é retirado do compartimento inferior do motor pela ação de sucção dos gases de escapamento através das descargas. Este tipo de sistema de refrigeração elimina o uso de flapes controláveis do capô, e assegura uma refrigeração adequada em todos os regimes de velocidade da aeronave.

Muitas aeronaves leves usam somente um ou dois flapes de refrigeração para controlar a temperatura do motor. Como mostra a figura 6-38, dois flapes de refrigeração, operados por um controle manual simples situado na cabine, estão localizados na parte inferior final da nacele.

Cortes nos flapes permitem a extensão da descarga do motor o suficiente através da nacele.

Os flapes são operados por um controle manual na cabine, controlando o fluxo de ar direcionado para os defletores em torno dos cilindros e outros componentes do motor.

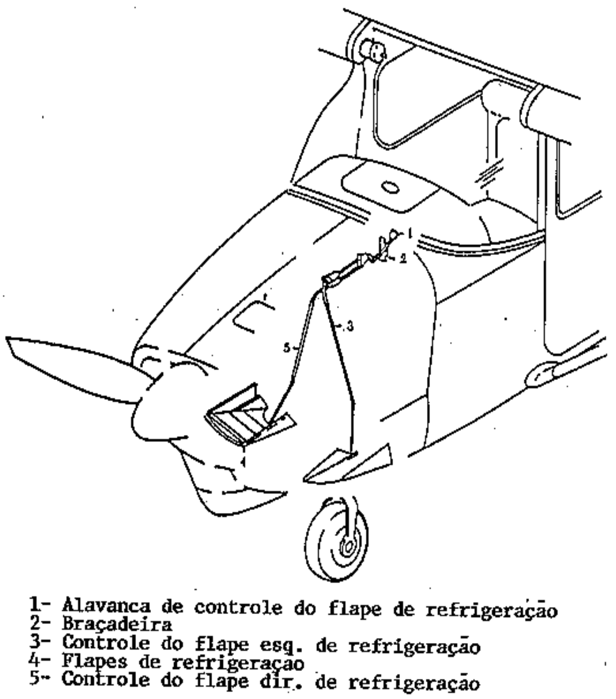

1
2
3
5
1- Alavanca de controle do flape de refrigeração
2- Braçadeira
3- Controle do flape esq. de refrigeração
4- Flapes de refrigeração
5- Controle do flape dir. de refrigeração

Figura 6-38 Flape de refrigeração do motor de aeronaves leves.

Algumas aeronaves que possuem os motores horizontais opostos usam este tipo de refrigeração. Os flapes de refrigeração são controlados por flapes do tipo "guelra", operados eletricamente no bordo de fuga de cada capô.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE MOTORES CONVENCIONAIS

O sistema de refrigeração de muitos motores convencionais consiste geralmente de um motor refrigerador, deflectores dos cilindros, aletas dos cilindros, e alguns tipos de flapes de refrigeração. Em adição a essas unidades maiores, existe também algum tipo de sistema indicador de temperatura (temperatura da cabeça do cilindro).

O capô realiza duas funções: dá forma aerodinâmica à massa do motor, para reduzir o arrasto; e forma um invólucro em volta do motor que força o ar a passar em volta e entre os cilindros, absorvendo o calor dissipado pelas suas aletas .

As aletas dos cilindros são aquecidas pelo calor das paredes e cabeça dos cilindros. Como o ar passa sobre as aletas, ele absorve o calor e transporta o mesmo para fora, através dos flapes de refrigeração.

O flape de refrigeração controlável fornece meios de diminuir ou aumentar a área de saída na parte traseira do capô do motor.

Fechando os flapes de refrigeração, diminui-se a área de saída, a qual efetivamente diminui a quantidade de ar que pode circular sobre as aletas dos cilindros. O fluxo de ar diminuído não pode transportar tanto calor como antes; portanto, existe a tendência da temperatura do motor aumentar.

Abrindo os flapes de refrigeração, aumenta-se a área existente. O fluxo de ar de refrigeração aumenta sobre os cilindros absorvendo mais calor, e a tendência é a temperatura do motor diminuir. Inspeção e manutenção cuidadosas no sistema de refrigeração, irá ajudar na eficiência geral e operação econômica do motor.

Manutenção do Capô do Motor

Do total de ar de impacto nos bordos da nacele do motor, somente cerca de 15 a 30% entra no capô para fornecer refrigeração ao motor. O ar restante flui sobre a parte externa do capô. Entretanto, a forma externa do capô deve ser ajustada de maneira que irá permitir um fluxo de ar uniforme com a mínima perda de energia.

O capô do motor, discutido nesta seção, é típico dos usados em motores radiais ou horizontais opostos, e é conhecido como “anel de velocidade”.

Todo o sistema de refrigeração funciona da mesma maneira, com pequenas mudanças projetadas para instalações específicas.

O capô anular é fabricado em seções removíveis, podendo variar em número de acordo com a aeronave e o modelo. A instalação mostrada na figura 6-39 contém três seções que são travadas juntas quando instaladas, por travas articuladas (item A). Em adição a este sistema de travas articuladas, travas de segurança (item B) são instaladas em cada seção do capô anular. Estas travas de segurança previnem contra a abertura do capô, se a trava articulada não travar por qualquer razão.

O painel do capô anular, fabricado de chapa de alumínio, tem a parte externa lisa para permitir um fluxo de ar uniforme sobre o capô. A construção interna é projetada para dar reforço ao painel e, em adição, fornecer alojamento para as travas articuladas, anel estrutural do capô e selos de ar do motor.

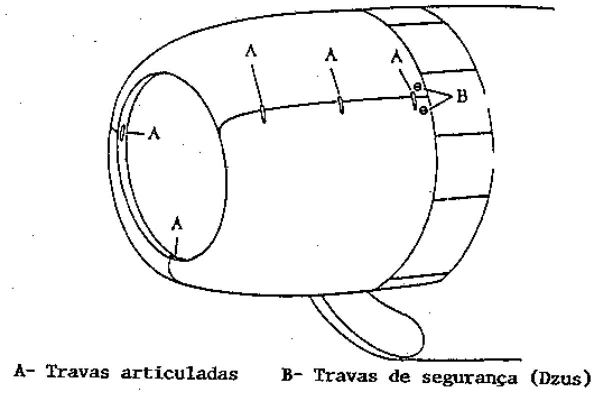


Figura 6-39 Conjunto do anel de velocidade.

A figura 6-40 mostra a construção interna de um anel do painel do capô.

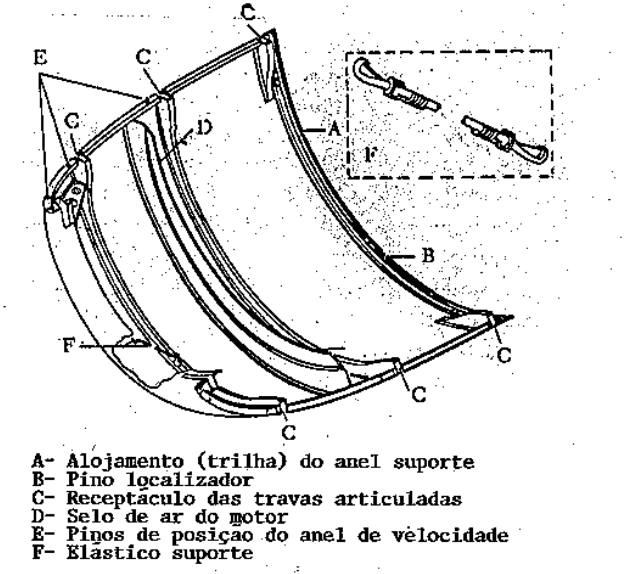
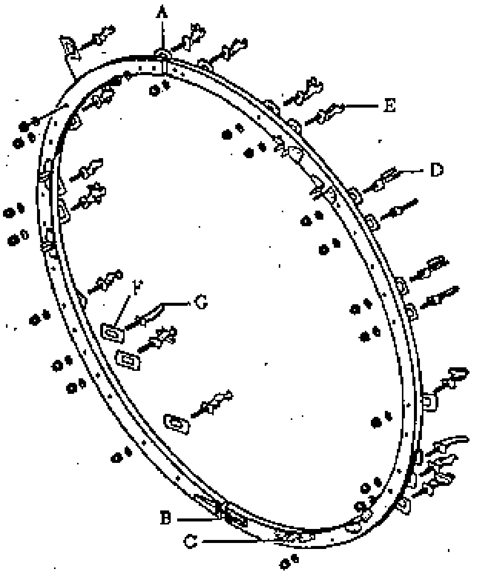

C
E
C
C
D
A
F
B
F
C
C
C
A- Alojamento (trilha) do anel suporte
B- Pino localizador
C- Receptáculo das travas articuladas
D- Selo de ar do motor
E- Pinos de posição do anel de velocidade
F- Elástico suporte

Figura 6-40 Construção do anel de velocidade.

Um anel guia rebitado no painel ajusta-se sobre o anel suporte para prender o capô à frente e atrás. Um pino guia central ajusta o capô através do furo no anel suporte. Isto estabelece um posicionamento correto para instalação de cada painel em volta do anel suporte do capô. Nervuras vão através do painel do capô entre o mecanismo de alojamento da trava articulada de cada lado do painel para reforçá-lo.

Um selo construído de borracha é aparafusado à nervura de metal rebitada no painel do capô. Esse selo veda sela ele nas seções do motor, prevenindo que o ar escape pela superfície interna do painel sem circular em torno dos cilindros. O selo deve ser usado em motores que têm um completo sistema de aletas que cubram toda a cabeça do cilindro. Seu propósito é forçar o ar a circular por todo o sistema deflector. O selo não é usado em motores de aeronaves que têm somente os deflectores entre os cilindros que não inclui a cabeça do cilindro.

O anel suporte do painel do capô é preso rigidamente ao anel suporte do motor para fornecer um suporte resistente para o painel do capô, e também para a fixação dos flapes de refrigeração. O anel suporte vem entre duas partes conectadas juntas para formar o anel. A figura 6-41 ilustra um anel suporte típico.



A- Conexão flexível da metade superior
B- Conexão ajustável
C- Travas angulares
D- Terminal articulado dos flapes
E- Terminal articulado
F- Placa da trava articulada
G- Eixo da trilha do flape

Figura 6-41 Anel suporte do flape de refrigeração.

Inspeção da capota

O anel suporte e painéis do capô são inspecionados durante cada inspeção regular do motor e da aeronave. Removendo o capô para manutenção, fornece-se uma oportunidade mais freqüente para sua inspeção.

Os painéis do capô são inspecionados quanto a arranhões, mossas e rasgos no painel. Este tipo de dano causa enfraquecimento na estrutura do painel, aumenta o arrasto pela descontinuidade do fluxo de ar, e contribui para um início de processo de corrosão.

As travas dos painéis do capô devem ser inspecionadas quanto a rebites soltos e frouxos, ou danos de manuseio. As travas de segurança devem ser verificadas quanto a rebites danificados e condições de compressão da mola. O furo através do qual a trava de segurança passa deve ser verificado para determinar se ele não está gasto ou trincado. Estas condições, se sérias, necessitam reparo imediato ou substituição do painel.

A construção interna do painel deve ser examinada para ver se as nervuras de reforço não estão trincadas, e se o selo de vedação do ar não está danificado.

O anel suporte deve ser inspecionado quanto à segurança da fixação e trincas. A dobradiça do flape de refrigeração e a união da dobradiça do flape de refrigeração devem ser verificados quanto a segurança, fixação e quanto a rompimentos e trincas. Estas inspeções são verificações visuais e devem ser executadas freqüentemente, contribuindo para uma eficiente refrigeração do motor.

INSPEÇÃO DAS ALETAS DE REFRIGERAÇÃO DO MOTOR

As aletas de refrigeração são de suma importância para o sistema de refrigeração, já que elas fornecem meios de transferir o calor dos cilindros para o ar. Suas condições podem significar uma diferença entre uma refrigeração adequada ou inadequada do cilindro.

A área total da aleta (ambos os lados) é a área total exposta ao ar. Durante a inspeção, as aletas devem ser examinadas quanto a rompimentos e trincas (figura 6-42).

Pequenas trincas não são razão para remoção do cilindro. Estas trincas podem ser soldadas ou até paradas por furos para prevenir o aumento das mesmas. Cantos ásperos ou agudos nas aletas podem ser desbastados, e esta ação irá eliminar uma possível fonte de trincas. Entretanto, antes de reparar as aletas de refrigeração dos cilindros, consulta-se o manual de serviço ou de revisão ("overall") do fabricante quanto aos limites permitidos.

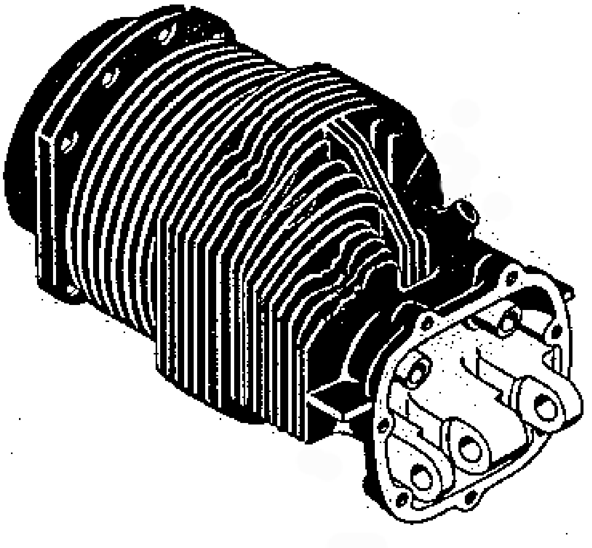


Figura 6-42 Cilindro com aletas quebradas.

A definição da área da aleta é importante na inspeção de áreas quebradas, pois isto é um fator determinante na aceitação ou rejeição dos cilindros. Por exemplo, um certo motor, se mais do que 12" de extensão de qualquer aleta medida em sua base estiver completamente quebrada, ou se o total de área quebrada for de 83 pol^2 na cabeça do cilindro, o mesmo deve ser removido e substituído. A razão da remoção neste caso é que uma área deste tamanho pode causar pontos quentes no cilindro por causa da pouca transferência de calor.

Quando aletas adjacentes estão quebradas na mesma área, o total da extensão permitida é 6", em duas aletas adjacentes, 4" em três aletas adjacentes, 2" em quatro e apenas 1" em cinco aletas adjacentes.

Se o comprimento quebrado adjacente for superior à quantidade descrita, o cilindro deve ser removido e substituído. As especificações usadas são somente para o motor do exemplo. Em cada caso específico deve-se consultar o manual do fabricante.

Inspeção do sistema do bloqueador e deflector dos cilindros.

Motores convencionais usam alguns tipos de deflector entre cilindros e nas cabeças do cilindro, para forçar ao ar de refrigeração a ter um contato maior com todas as partes do cilindro.

A figura 6-43 mostra o sistema do bloqueador e do deflector em volta do cilindro.

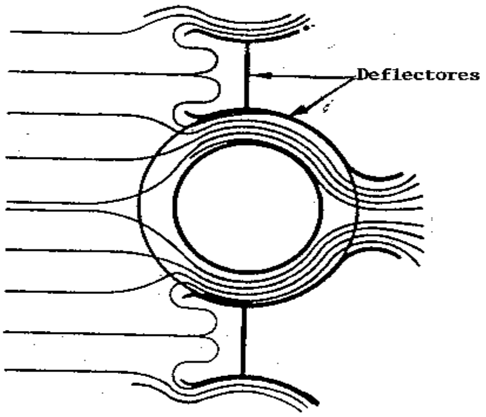


Figura 6-43 Sistema deflector do cilindro.

A figura 6-44 ilustra o sistema do deflector e do bloqueador de ar para refrigerar a cabeça do cilindro. O bloqueador de ar impede que o ar passe fora da cabeça do cilindro, forçando-o a passar entre a cabeça do cilindro e o deflector.

Embora a resistência oferecida pelo bloqueador, a passagem do ar refrigerador mantém um apreciável diferencial de pressão através do motor, para obter um fluxo de ar necessário; o volume de ar requerido é grandemente reduzido pelo formato e localização dos deflectores dos cilindros.

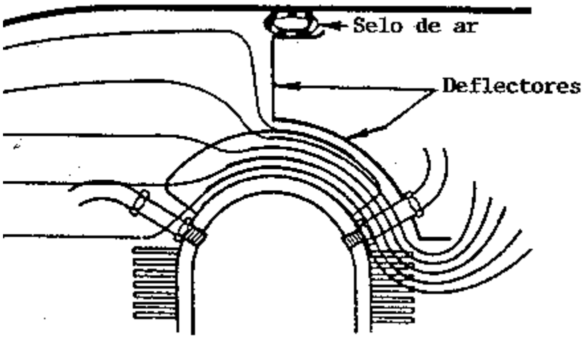


Figura 6-44 Sistema deflector da cabeça do cilindro.

Como mostra a figura 6-45, o fluxo de ar se aproxima da nacele e se acumula na face do motor, criando uma pressão alta na frente dos cilindros. Este aglomeramento de ar diminui sua velocidade.

Os flapes de refrigeração, claro, produzem uma área de baixa pressão. Como existe ar próximo ao flape de refrigeração, sua velocidade é aumentada novamente e adicionado ao fluxo.

A pressão diferencial entre a parte traseira e a dianteira do motor força o ar a passar pelos cilindros através das passagens formadas pelo deflector.

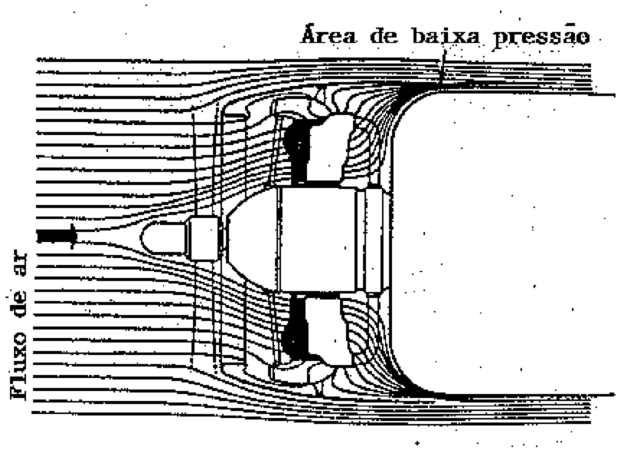


Figura 6-45 Fluxo de ar no motor.

O bloqueador e o deflector normalmente são inspecionados durante a inspeção regular do motor, mas devem ser verificados toda vez que o capô for removido por qualquer propósito. Inspeções deverão ser feitas quanto a trincas, mossas ou perdas dos pinos fixadores. Mossas e trincas sérias necessitam de reparo imediato ou substituição.

Entretanto, uma trinca pequena pode ser reparada com um furo de parada, e mossas podem ser reparadas permitindo o uso destes bloqueadores e/ou deflectores.

Instalação e Ajuste do Flape de Refrigeração

Durante a instalação do flape de refrigeração, ajustes são necessários para assegurar a sua correta tolerância da abertura e fechamento.

Esta tolerância é de extrema importância, pois se o flape de refrigeração abre muito, aumenta a velocidade do ar existente na seção do motor, permitindo um maior resfriamento dos cilindros.

Também, se o flape de refrigeração não for ajustado para uma abertura pré-determinada, a temperatura da cabeça do cilindro será maior do que a permitida pelos limites em certas condições de operação.

Para cada instalação de motor, os flapes de refrigeração são ajustados para a tolerância que os permitirá abrir e fechar na quantidade correta, mantendo a temperatura da cabeça dos cilindros dentro dos limites permitidos.

É importante instalar o flape de refrigeração corretamente, ajustar o atuador, ajustar os interruptores limitadores de abertura e fechamento, e inspecionar o sistema.

A instalação usada neste exemplo é de um motor convencional grande com nove flapes no capô.

Os flapes são numerados no sentido horário (olhando o motor de trás para frente). Os flapes 1 e 9 são estacionários, (figura 6-46), enquanto os de n° 2 a 8 são móveis.

Os flapes são articulados junto ao final dianteiro e traseiro do anel suporte do capô, e conectados junto ao final do atuador do flape de refrigeração.

Existem sete atuadores dos flapes de refrigeração, interconectados por um eixo flexível de acionamento.

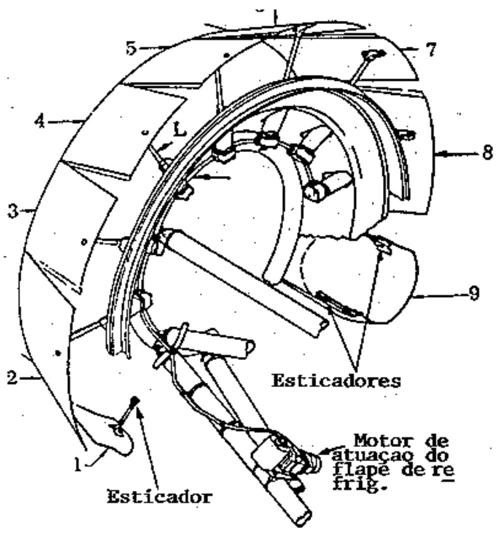


Figura 6-46 Instalação dos flapes de refrigeração.

Este tipo de conexão permite a todos os flapes móveis deslocarem simultaneamente, quando o motor acionador for energizado. Os flapes estacionários (1 e 9) são presos por esticadores, um para o n° 1 e dois para o n° 9. As verificações e inspeções seguintes são típicas daquelas elaboradas para manter a eficiência do sistema do flape de capô.

1. Verificar o flape de capô para resposta de comando da cabine de controle quanto a posição de abertura e fechamento. Os flapes devem responder suave e rapidamente. Se o indicador do flape de capô estiver instalado, observa-se a indicação de sincronismo com os flapes na posição "Aberta" e "Fechada".

2. Com os flapes de refrigeração abertos, verificar quanto a trincas, distorções e segurança na montagem. Segurar o flape no bordo de

fuga, balançar lateralmente, para cima e para baixo, para determinar as condições das buchas, rolamentos e esticadores. Folga nos flapes durante estas verificações indica desgaste nas buchas ou rolamentos que devem ser substituídos. Inspecionar as dobradiças e terminais quanto a desgaste, trincas ou rompimento, verificar as dobradiças quanto a segurança de montagem no anel suporte do capô.

3. Medir a posição de abertura e fechamento dos flapes de refrigeração, para verificar as tolerâncias e ajuste como necessário.

Sistema de indicação da temperatura do cilindro

Este sistema usualmente consiste de um indicador, cablagem elétrica e um sensor de temperatura. A cablagem está entre o instrumento de indicação e a nacele ou parede de fogo. Na parede de fogo, uma ponta do cabo do sensor de temperatura é ligado à cablagem elétrica, e a outra no cilindro.

O sensor de temperatura consiste de dois metais heterogêneos, geralmente liga de cobre/níquel e ferro, conectado por fio ao sistema de indicação.

Se a temperatura na conexão é diferente da temperatura onde a liga de metal (Cu/Ni) está conectada ao fio, uma voltagem é produzida. Essa voltagem envia corrente através da fiação ao indicador, um instrumento medidor de corrente, graduado em graus.

A ponta do sensor de temperatura conectada ao cilindro pode ser do tipo baioneta ou junta. Para instalar o tipo baioneta, uma porca serrilhada é empurrada para baixo e girada no sentido anti-horário até se soltar. A do tipo junta ajusta-se sob o plug da vela e substitui a junta normal da vela.

Quando se instalar o cabo do sensor de temperatura (deve-se lembrar de não cortar o fio se for longo) ele é enrolado e o comprimento em excesso amarrado.

O sensor de temperatura é construído para produzir uma certa quantidade de resistência; se o comprimento do cabo for reduzido, resultará numa leitura incorreta de temperatura.

A baioneta, ou junta do sensor de temperatura, é introduzida ou instalada no cilindro mais quente do motor, pré-determinado por testes.

Quando o sensor de temperatura estiver instalado, e a cablagem conectada ao instrumento, a leitura indicada é a temperatura do cilindro. Antes de operar o motor, em temperatura ambiente, a temperatura da cabeça do cilindro deverá indicar a temperatura externa da aeronave, o que consiste num dos testes para determinar se o instrumento está operando corretamente.

O visor (vidro) do instrumento indicador de temperatura deve ser verificado regularmente para saber se não está solto ou trincado.

O visor deve ser verificado, também, quanto a indicação de perda ou danos nos decalques que indicam os limites de temperatura. Se o cabo do sensor de temperatura for longo e estiver enrolado, deve ser inspecionado quanto à segurança ou fio desencapado. A baioneta ou junta deve ser inspecionada quanto a segurança e montagem. Quando operando o motor, se a indicação da temperatura da cabeça do cilindro flutuar, todas as conexões elétricas devem ser verificadas.

REFRIGERAÇÃO DE MOTORES A TURBINA

O intenso aquecimento gerado quando o ar e combustível são queimados, necessita de alguns meios de resfriamento fornecido para todas as partes de um motor de combustão interna.

Motores convencionais são refrigerados pelo ar que passa sobre as aletas presas aos cilindros; ou por líquido refrigerante através da camisa que envolve o cilindro.

O problema de refrigeração se torna fácil, porque a combustão somente ocorre durante o quarto estágio do ciclo do motor.

O processo de queima na turbina a gás é contínuo, e aproximadamente todo o ar de refrigeração deve passar através do interior do motor.

Se, somente o ar necessário fosse admitido para fornecer uma razão ideal ar/combustível de 15:1, a temperatura interna aumentaria mais de 4000 °F.Na prática, uma grande quantidade de ar em excesso da razão ideal é admitida no motor.

O grande excesso de ar refrigera as seções quentes do motor para faixas aceitáveis entre 1100 a 1500 °F.

A figura 6-47 ilustra as temperaturas aproximadas encontradas na carcaça externa do motor; e o resfriamento devido um motor turbojato de compressor duplo axial. Por causa do efeito da refrigeração, as temperaturas externas da carcaça são consideravelmente menores do que as encontradas dentro do motor. Os pontos mais quentes ocorrem ao oposto da entrada do 1° estágio da turbina. Embora os gases tenham começado a resfriar um pouco neste ponto, a condutividade do metal da carcaça transporta o calor diretamente para a parte externa.

O ar, passando pelo motor, resfria as seções da câmara de combustão ou revestimento. As seções são construídas para induzir uma película de ar sobre a superfície interior e exterior das seções ou revestimento.

Câmaras anulares freqüentemente são equipadas com um tubo central que direciona o ar refrigerador ao centro do combustor, para promover uma alta eficiência na combustão, e alta diluição dos gases quentes, enquanto minimiza a perda de pressão.

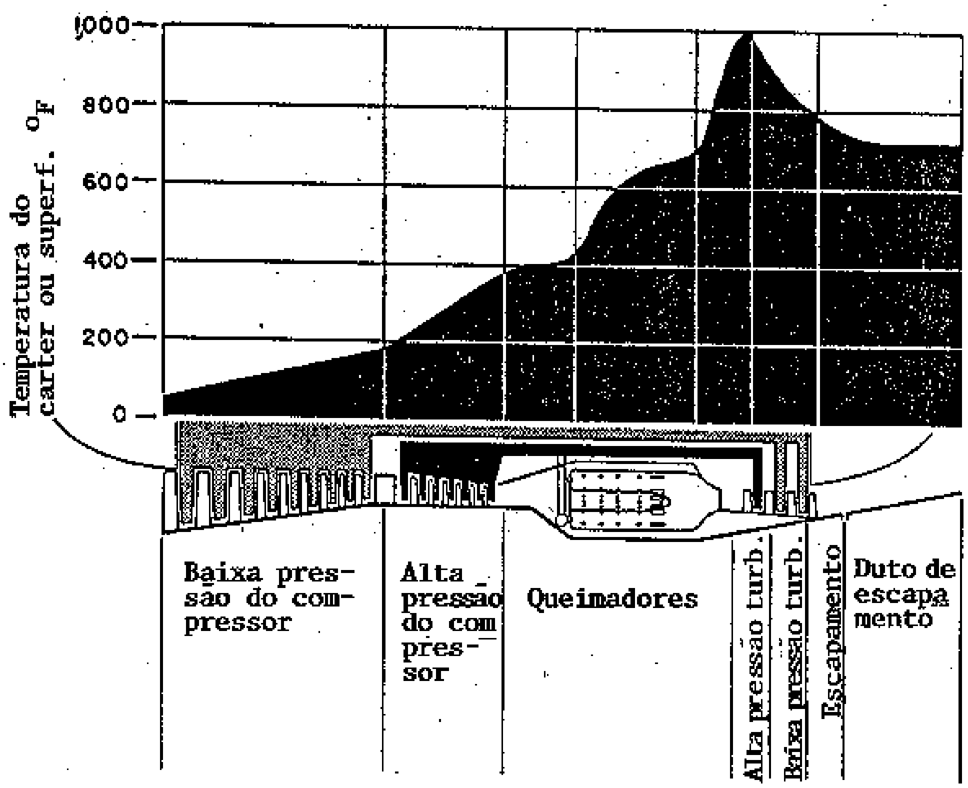


Figura 6-47 Temperaturas na carcaça externa de um motor turbojato de compressor duplo axial.

Em todos os tipos de turbina a gás, grande quantidade de ar relativamente resfriado se junta com os gases queimados na saída do combustor, para resfriar os gases quentes pouco antes deles entrarem nas turbinas.

Entradas de ar refrigerador freqüentemente são distribuídas em volta do exterior do motor, para permitir que a entrada do ar refrigere a carcaça, rolamentos e bicos injetores da turbina. Em alguns casos, o ar interno é sangrado da seção do compressor do motor e enviado para os rolamentos e outras partes do motor. O ar enviado para dentro, ou o ar do motor é jogado no fluxo de ar do escapamento.

Quando um alojamento de acessórios é montado na frente do motor, ele é resfriado pelo ar de admissão. Quando localizado na lateral, o alojamento é refrigerado pelo ar externo que flui em volta dele.

O exterior do motor e a nacele são resfriados pelo ar que passa entre a carcaça e a chapa da nacele (figura 6-48).

Os compartimentos do motor são freqüentemente divididos em duas seções. A seção dianteira é construída em volta do duto de admissão; a seção traseira em volta do motor. Um selo à prova de fumaça é montado entre as duas seções.

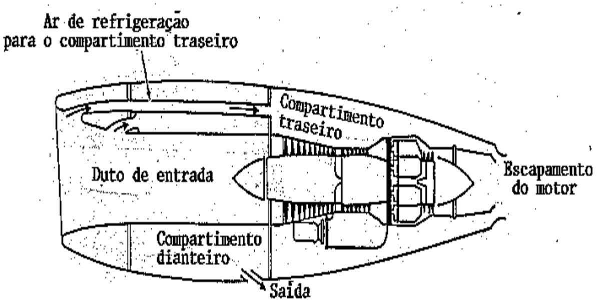

Ar de refrigeração
para o compartimento traseiro
Compartimento traseiro
Duto de entrada
Escapamento do motor
Compartimento dianteiro
Saída

Figura 6-48 Dispositivo típico de refrigeração da nacele do motor.

A vantagem de tal arranjo é que a fumaça de possíveis vazamentos de combustível, e das linhas de óleo contidas na seção dianteira não incendeiem pelo contato com a seção quente do motor.

Em vôo, o ar de impacto fornece amplo resfriamento aos dois compartimentos. No solo, a circulação de ar é fornecida pelo efeito de redução de pressão no compartimento traseiro, produzido pelos gases que fluem do escapamento.

Isolamento Térmico do Motor

Para reduzir a temperatura da estrutura em benefício do duto de escapamento, ou pós combustão, e eliminar a possibilidade do combustível ou óleo em ter contato com as partes quentes do motor, algumas vezes é necessário fornecer isolamento para o duto de escapamento do ar da turbina.

Como mostrado na figura 6-49, temperaturas altas passam no duto de escapamento.

Um isolamento térmico típico, e as temperaturas obtidas em várias localizações, são mostradas na figura 6-49.

Esse isolamento térmico é construído de fibra de vidro, que é baixo condutor de calor e chapa de alumínio como protetor de radiação. O isolador térmico é convenientemente coberto para não ser molhado de óleo.

O isolamento deve ser usado mais extensivamente em algumas montagens de motores de fluxo centrífugo, mas não são normalmente em motores de compressor axial, se a instalação permitir um método de refrigeração mais apropriado

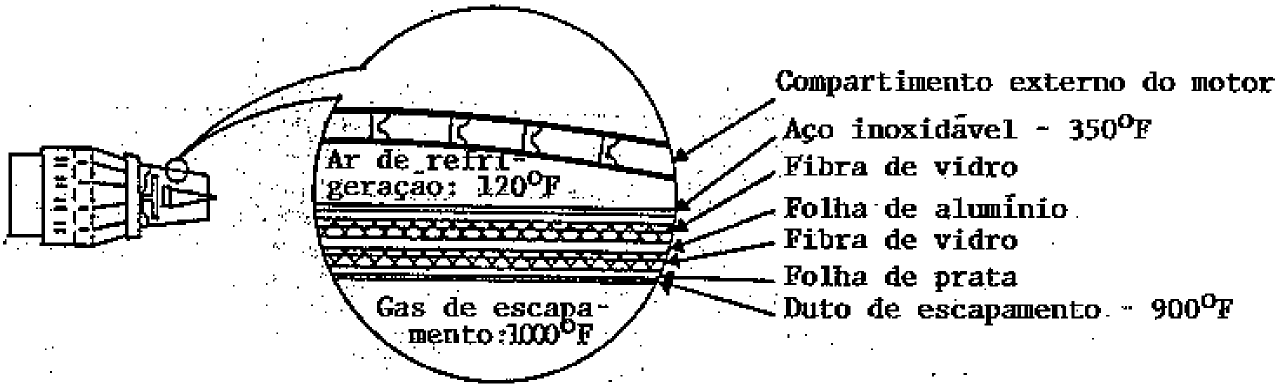

Ar de refrigeração: 120°F
Gas de escapamento:1000°F
Compartimento externo do motor
Aço inoxidável - 350°F
Fibra de vidro
Folha de alumínio
Fibra de vidro
Folha de prata
Duto de escapamento - 900°F

Figura 6-49 Manta de isolamento típica.

CAPÍTULO 7

HÉLICES

INTRODUÇÃO

A hélice, que é a unidade que deve absorver a força fornecida pelo motor, tem passado por muitos estágios de desenvolvimento. Grandes aumentos na produção de força tem resultado no desenvolvimento de hélices de quatro e de seis pás de grandes diâmetros. Entretanto, existe um limite para a rotação, na qual essas grandes hélices podem ser giradas.

A força centrífuga em grandes rotações tende a puxar as pás para fora do cubo; excessiva velocidade na ponta da pá pode resultar, não somente em baixa eficiência da pá, como também em flutuação e vibração.

Como um natural desenvolvimento do problema envolvendo as operações das grandes hélices, foram desenvolvidos os sistemas de passo variável e de velocidade constante. Esses sistemas fazem com que sejam necessárias apenas pequenas variações da rotação do motor durante várias condições de vôo, aumentando, assim, a eficiência do vôo.

A grosso modo, o sistema consiste de uma unidade governadora equipada com contrapesos, os quais controlam o ângulo das pás para que a velocidade do motor permaneça constante. O governador, contudo, pode ser regulado pelos controles da cabine para selecionar um desejado ângulo da pá, obtendo-se uma determinada velocidade de operação do motor.

Uma solicitação de passo mínimo e alta rotação, por exemplo, pode ser utilizada para a decolagem; então, depois que a aeronave decola, pode ser solicitado um aumento do passo da hélice e uma rotação menor.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DAS HÉLICES

A hélice de uma aeronave consiste de duas ou mais pás fixadas em um cárter ou cubo central. Cada pá de uma hélice de aeronave é, essencialmente, uma asa rotativa. Como um resultado de sua construção, a pá da hélice produz força, que cria uma tração para puxar ou empurrar a aeronave através do ar.

A força necessária para girar as pás é fornecida pelo motor. A hélice é montada em um eixo, o qual pode ser uma extensão do eixo de manivelas do motor. Em motores de grande potência, ela é montada em um eixo movido por um trem de engrenagens, acoplado ao eixo de manivelas do motor.

Em ambos os casos o motor gira o aerofólio das pás através do ar em grandes velocidades, e a hélice transforma a força de rotação do motor em tração.

Fatores Aerodinâmicos

Uma aeronave, movendo-se através do ar, cria uma força de arrasto em oposição ao deslocamento para a frente.

Se uma aeronave estiver em vôo nivelado, ela deverá ter uma aplicação de força que seja igual ao arrasto, mas atuando para a frente. Essa força é chamada de tração.

O trabalho feito pela tração é igual a tração vezes a distância percorrida pela aeronave (trabalho = tração x distância). A força consumida pela tração é igual a tração vezes a velocidade que move a aeronave (força = tração x velocidade).

Se a força for medida em cavalo-força (HP), a força consumida pela tração será chamada de potência de tração (cavalo-força de tração).

O motor fornece potência ao freio através de um eixo rotativo, e a hélice converte essa potência em cavalo-força.

Nesta conversão, alguma força é perdida. Para a máxima eficiência, a hélice deve ser planejada para manter a perda tão pequena quanto for possível.

Visto que a eficiência de qualquer máquina é a razão da utilização da força produzida para a força de entrada, a eficiência da hélice é a razão da potência de tração para a potência do freio. O símbolo usado para a eficiência da hélice é a letra grega eta (η). A eficiência da hélice varia de 50% a 87%, dependendo de quanto a hélice "recua".

O recuo da hélice é a diferença entre o passo geométrico da hélice e o passo efetivo (ver a figura 7-1). O passo geométrico é a distância que uma hélice deveria avançar em uma revolução; e o passo efetivo é a distância realmente percorrida.

Então, passo geométrico ou teórico é baseado na ausência do recuo, mas o passo efetivo ou atual, reconhece o recuo da hélice no ar.

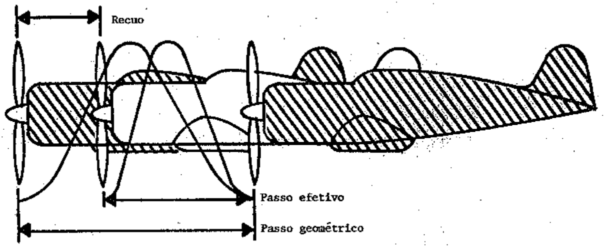

Recuo
Passo efetivo
Passo geométrico

Figura 7-1 Passo geométrico e passo efetivo.

Uma típica pá de hélice pode ser descrita como um aerofólio torcido, de formato irregular. A figura 7-2 apresenta duas vistas de uma pá de hélice.

Para as finalidades de análise, a pá pode ser dividida em segmentos, os quais são localizados por estações numeradas em polegadas, partindo do centro do cubo da pá. As seções em corte, a cada segmento de seis polegadas, são mostradas na figura 7-2. Identificados também na figura 7-2 estão o flanco e a base da pá.

O flanco é a parte grossa e circular próxima da base, a qual é designada a dar resistência à pá. A base da pá, também chamada de raiz é a extremidade de fixação da pá ao cubo da hélice. A ponta da pá é a parte da pá da hélice mais afastada do cubo e, geralmente, definida como as últimas seis polegadas da pá.

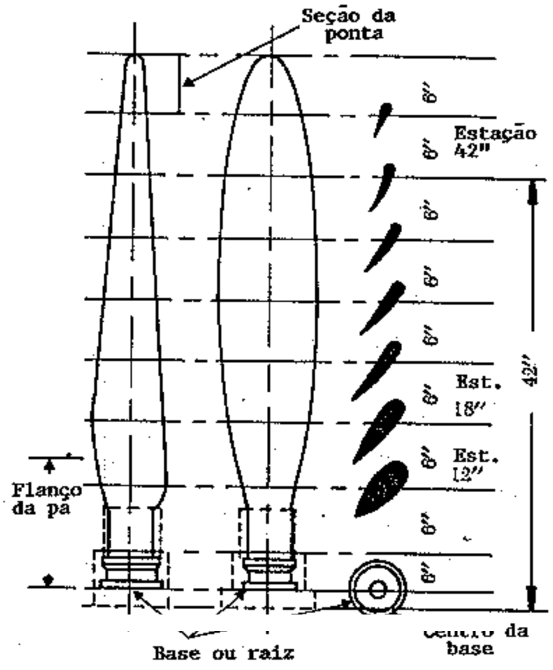

Seção da ponta
6"
Estação 42"
6"
6"
6"
6"
42"
Est. 18"
Est. 12"
6"
6"
Flanço da pá
Base ou raiz
Centro da base

Figura 7-2 Elementos de uma típica pá de hélice.

Uma seção em corte de uma típica pá de hélice é mostrada na figura 7-3. Essa seção, ou elemento da pá, é um aerofólio semelhante a uma seção em corte da asa de uma aeronave.

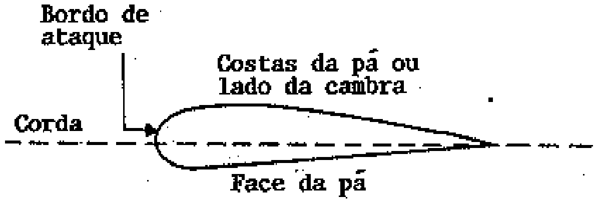

Bordo de ataque
Costas da pá ou lado da cambra
Corda
Face da pá

Figura 7-3 Secção de uma pá de hélice.

As costas da pá são, o lado arqueado ou curvado da pá, semelhante a superfície superior de uma asa de aeronave. A face da pá é o lado plano. A corda, é uma linha imaginária que atravessa a pá do bordo de ataque ao bordo de fuga. O bordo de ataque é a borda mais grossa da pá, que vai de encontro ao ar quando a hélice gira.

Ângulo da pá, usualmente medido em graus, é o ângulo entre a corda da pá e o plano de rotação (figura 7-4). A corda da pá da hélice é determinada da mesma maneira da corda de um aerofólio.

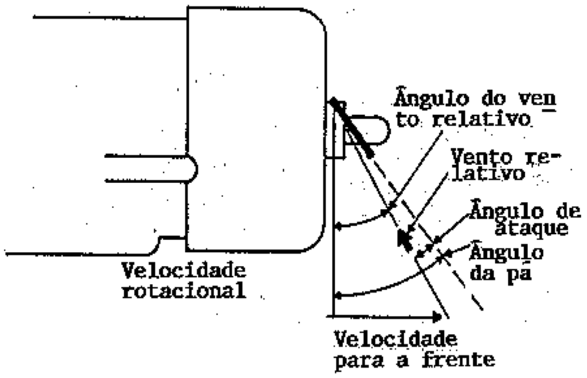

Ângulo do vento relativo
Vento relativo
Ângulo de ataque
Ângulo da pá
Velocidade rotacional
Velocidade para a frente

Figura 7-4 Fatores aerodinâmicos da hélice.

De fato, uma pá de hélice pode ser considerada feita de uma infinidade de finos elementos da pá, cada um dos quais é uma miniatura da seção do aerofólio, cuja corda á a largura da pá da hélice naquela seção. Em virtude da maioria das hélices terem a pá com uma face plana, a linha da corda muitas vezes coincide com a face da pá da hélice.

Passo não é a mesma coisa que ângulo da pá, mas, como o passo é determinado pelo ângulo da pá, os dois termos são muitas vezes trocados um pelo outro. O aumento ou diminuição de um é, usualmente, associado com o aumento ou diminuição do outro.

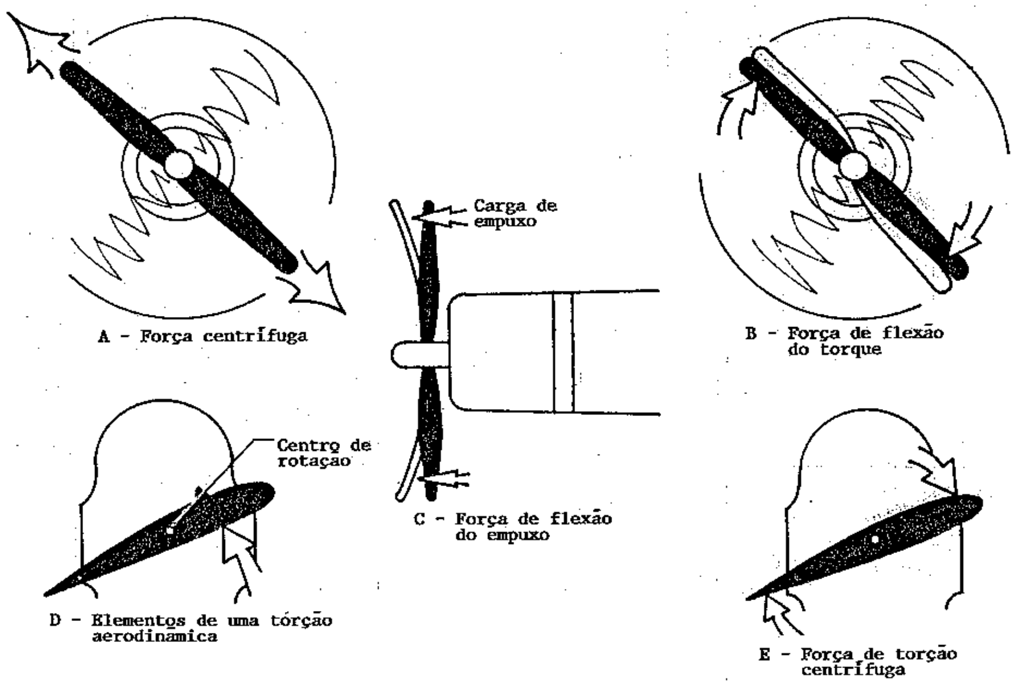

A - Força centrífuga
Carga de empuxo
B - Força de flexão do torque
Centro de rotação
C - Força de flexão do empuxo
D - Elementos de uma tórção aerodinamica
E - Força de torção centrífuga

Figura 7-5 Forças que atuam em uma hélice girando.

Uma hélice girando sofre a ação das forças centrífugas, de torção e de flexão. As principais forças que atuam em uma hélice em movimento são ilustradas na figura 7-5.

A força centrífuga ("A" da figura 7-5) é uma força física que tende a expulsar as pás do cubo de uma hélice em movimento. A força de flexão causada pelo torque ("B" da figura 7-5) na forma de resistência do ar, tende a dobrar as pás da hélice na direção oposta à direção de rotação. A força de flexão causada pelo empuxo ("C" da figura 7-5) é a carga que tende dobrar as pás da hélice para a frente, enquanto a aeronave é puxada através do ar.

A força de torção centrífuga, sendo maior do que a torção aerodinâmica, tenta forçar as pás para uma posição de ângulo mínimo.

Uma hélice deve ser capaz de resistir a severos esforços, os quais são mais fortes próximo ao cubo, causados pela força centrífuga e a tração.

O esforço aumenta em proporção a rotação. A face da pá está, também, sujeita a tensão causada pela força centrífuga e a tensão adicional de flexionamento. Por essas razões, cortes ou arranhões na pá podem causar conseqüências muito sérias.

Uma hélice deve também ser rígida o bastante para evitar flutuação, um tipo de vibração na qual a ponta das pás torcem para trás e para diante, em alta freqüência, em torno de um eixo perpendicular ao eixo de manivelas do motor.

Flutuação é acompanhada por um barulho característico, muitas vezes confundido com o barulho do escapamento. A constante vibração tende a enfraquecer a pá e, eventualmente, causar uma falha.

OPERAÇÃO DA HÉLICE

Para entender a ação de uma hélice, considera-se primeiro o movimento, o qual tanto é rotacional quanto para a frente. Assim, como é mostrado pelos vetores das forças da hélice na figura 7-6, uma seção da pá move-se para baixo e para frente. A participação das forças dará o mesmo resultado, se as pás da hélice estiverem paradas, e o ar estiver vindo a elas de uma direção contrária. O ângulo no qual este ar (vento relativo) colide com as pás da hélice é chamado de ângulo de ataque. A deflexão do ar produzida por este ângulo causa uma pressão dinâmica, maior do que a atmosférica, no lado da pá voltada para o motor, criando então, uma força de tração.O formato da pá também cria tração, por ser semelhante a uma asa. Consequentemente, o fluxo de ar passando pela hélice, a pressão criada em um dos lados é menor do que do outro. Em uma asa, isto produz uma força de reação na direção da menor pressão.

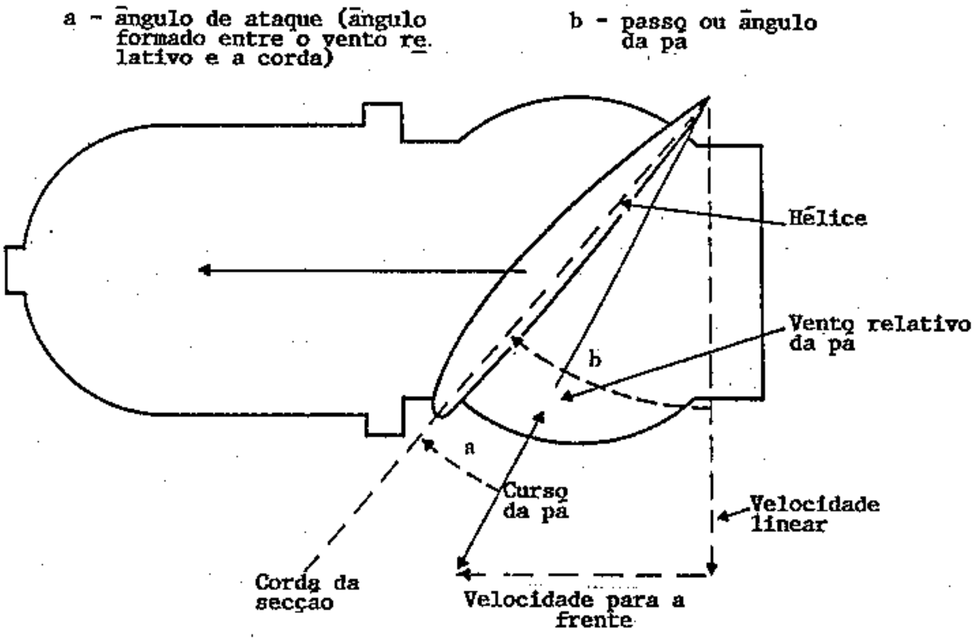

a - ângulo de ataque (ângulo formado entre o vento relativo e a corda)
b - passo ou ângulo da pá
Hélice
Vento relativo da pá
b
a
Curso da pá
Velocidade linear
Corda da secção
Velocidade para a frente

Figura 7-6 Forças da hélice.

No caso de uma asa, a sua área superior tem menor pressão, e a força (sustentação) é para cima. No caso da hélice, a qual é montada na vertical, em vez de ser na posição horizontal a área de diminuição de pressão é a parte frontal da hélice, e a força (tração) é direcionada para a frente. Aerodinamicamente, então, tração é o resultado do formato da hélice e do ângulo de ataque da pá.

Por outro lado, tração é considerada em termos da massa de ar manipulada.

Nestes termos, tração é igual a massa de ar manipulada, vezes a velocidade da esteira de ar produzida pela hélice, menos a velocidade da aeronave. Então, a força consumida na produção da tração depende da massa de ar deslocada em um segundo.

Na média, a tração constitui aproximadamente 80% do torque (cavalo-força absorvido pela hélice). Os outros 20% são perdidos na fricção e no recuo.

Para qualquer rotação da hélice, a quantidade de ar utilizada depende do ângulo da pá, que determina a quantidade de ar que a hélice necessita. Então, o ângulo da pá é um excelente meio de ajustar a carga na hélice para controlar a rotação do motor.

O ângulo da pá é também excelente método de ajustar o ângulo de ataque da hélice. Em uma hélice de velocidade constante, o ângulo da pá deve ser ajustado para proporcionar o mais eficiente ângulo de ataque em todas as velocidades do motor e da aeronave.

As curvas de sustentação versus arrasto, quando desenhadas para hélices ou para asas, indicam que o ângulo de ataque mais eficiente é um bem pequeno, variando de 2º a 4º positivos. O efetivo ângulo da pá, necessário para manter este pequeno ângulo de ataque, varia com a velocidade de deslocamento da aeronave.

As hélices, de passo fixo e ajustáveis no solo, são projetadas para proporcionar melhor eficiência a uma determinada rotação e velocidade de deslocamento. Em outras palavras, elas são projetadas para serem instaladas em uma determinada combinação de aeronave e motor.

Uma hélice pode ser usada para proporcionar máxima eficiência para a decolagem, subida, vôo de cruzeiro ou altas velocidades. Alguma mudança nestas condições resulta em perda de eficiência, tanto da hélice como do motor.

Uma hélice de velocidade constante, no entanto, mantém o ângulo da pá ajustado para a máxima eficiência da maior parte das condições encontradas em vôo. Durante a decolagem, quando o torque e a força máxima são requeridos, a hélice de velocidade constante estará em um ângulo ou passo mínimo.

O baixo ângulo da pá mantém um pequeno e eficiente ângulo de ataque, com respeito ao vento relativo. Ao mesmo tempo, ele permite que a hélice manipule uma menor massa de ar por rotação. Esta carga leve permite ao motor girar em alta rotação para converter a máxima quantidade de combustível em energia calorífica num determinado momento.

Ao sair do chão, a velocidade da aeronave aumenta, a hélice de velocidade constante muda para um aumento de ângulo (ou passo). Outra vez, o aumento de ângulo mantém um ângulo de ataque pequeno e eficiente com respeito ao vento relativo.

O aumento do ângulo da pá aumenta a massa de ar manejada por cada rotação. Isto diminui a rotação do motor, reduzindo o consumo de combustível e desgaste do motor, mantendo o máximo de tração.

Para a subida depois da decolagem, a força fornecida pelo motor é reduzida para a potência de subida, para diminuir a pressão de admissão, aumentando o ângulo da pá para reduzir as rotações por minuto. Assim, o torque (cavalo-força absorvido pela hélice) é reduzido para igualar a reduzida potência do motor.

O ângulo de ataque é outra vez mantido pequeno pelo aumento do ângulo da pá. A grande massa de ar manejada por segundo, neste caso, é maior do que a desviada pela baixa velocidade do fluxo de ar e o aumento na velocidade da aeronave.

Na altitude de cruzeiro, quando a aeronave está no nível de vôo e menor potência é requerida, do que a usada para a decolagem e subida, a potência do motor é outra vez reduzida para baixar a pressão de admissão e aumentar o ângulo da pá para reduzir a r.p.m.

De novo, isto reduz o torque, para igualar a reduzida potência do motor. Embora a massa de ar manejada por rotação seja maior, ela é superior a desviada por uma diminuição na velocidade do fluxo de ar e um aumento na velocidade da aeronave. O ângulo de ataque é ainda pequeno, porque o ângulo da pá foi aumentado com um aumento na velocidade da aeronave.

TIPOS DE HÉLICE

Existem vários tipos ou classes de hélice, sendo, as mais simples de todas, as de passo fixo e as ajustáveis no solo.

A complexibilidade dos sistemas de hélice aumenta desde as formas simples até as de passo controlável, e complexos sistemas automáticos. Várias características dos diversos tipos de hélice serão discutidas nos parágrafos seguintes, mas sem a intenção de cobrir todos os tipos.

Hélices de passo fixo

Conforme o nome indica, uma hélice de passo fixo tem o passo ou ângulo da pá introduzido em sua construção. O ângulo da pá não pode ser modificado após a construção da hélice. Geralmente, este tipo de hélice é apenas uma peça, e construída de madeira ou liga de alumínio.

As hélices de passo fixo são planejadas para melhor eficiência a uma determinada velocidade de rotação e deslocamento. Elas são planejadas para completar uma série de condições, das velocidades da aeronave e alguma mudança nestas condições, que reduzirão a eficiência da hélice e do motor.

A hélice de passo fixo é usada em aeronaves de potência, velocidade, alcance ou altitude baixas.

Hélices ajustáveis no solo

São hélices que operam como uma hélice de passo fixo.

O passo ou ângulo da pá podem ser mudados somente quando a hélice não estiver girando. Isto é feito soltando-se a fixação do mecanismo que mantém as pás no lugar.

Depois que o mecanismo de fixação estiver preso e apertado, o passo das pás não poderá ser mudado em vôo, para permitir as variações necessárias.

Do mesmo modo que a hélice de passo fixo, a hélice ajustável no solo é usada em aeronaves de potência, velocidade, alcance e altitudes baixas.

Hélice de passo controlável

Essa hélice permite uma mudança no passo ou ângulo da pá, enquanto ela estiver girando. Isto permite a hélice assumir um ângulo da pá que dê o melhor desempenho para uma particular condição de vôo.

O número de posições de passo pode ser limitado como acontece com a hélice de passo controlável de duas posições; ou o passo pode ser controlável de duas posições; ou o passo pode ser ajustado para qualquer ângulo, entre o passo mínimo e o máximo, de uma determinada hélice.

A utilização da hélice de passo controlável, também permite a possibilidade de obter uma desejada rotação do motor para uma particular condição de vôo. Quando em aerofólio é movido através do ar, ele produz duas forças, sustentação e arrasto; (resistência ao avanço).

Aumentando o ângulo da pá da hélice, o ângulo de ataque também aumenta, produzindo mais sustentação e arrasto; esta ação aumenta os cavalos-força requeridos para girar a hélice a uma determinada rotação.

Desde que o motor esteja mantendo a mesma potência, a hélice diminui a rotação. Se o ângulo da pá for diminuído, a hélice aumentará a velocidade. Assim, a rotação do motor pode ser controlada pelo aumento ou diminuição do ângulo da pá.

O uso de um governador da hélice, para aumentar ou diminuir o passo é uma prática comum. Quando a aeronave começa uma subida, o ângulo da pá da hélice diminui, apenas o suficiente para evitar que o motor diminua sua velocidade. Portanto, o motor pode manter este fornecimento de potência desde que não haja mudança na seleção das manetes.

Quando a aeronave entra em um mergulho, o ângulo da pá aumenta o suficiente para evitar uma sobrevelocidade e, com a mesma seleção de manetes, o fornecimento de potência permanecerá inalterado. Se a seleção das manetes for alterada, no lugar de mudar a velocidade da aeronave em uma subida ou descida, o ângulo da pá aumentará ou diminuirá como necessário para manter uma velocidade constante no motor.

A potência do motor (e não a rotação) será, portanto, mudada de acordo com as mudanças no comando das manetes. As hélices controladas por governador, e as de velocidade constante, mudam o ângulo da pá automaticamente, mantendo constante a rotação do motor.

A maior parte dos mecanismos de mudança de passo são operados por pressão de óleo (hidraulicamente) usando algum tipo de sistema pistão e cilindro. O pistão pode mover-se no cilindro, ou o cilindro pode mover-se em um pistão estacionário.

O movimento linear do pistão é convertido por diversos tipos de ligações mecânicas, usando o movimento rotativo necessário para variar o ângulo da pá. As ligações mecânicas podem ser por meio de engrenagens, o mecanismo de troca de passo girando uma engrenagem de acionamento ou motora, que engraza com as engrenagens fixadas na base de cada pá.

Na maioria dos casos, o óleo sob pressão para a operação destes vários tipos de mecanismos hidráulicos de mudança de passo é fornecido diretamente do sistema de lubrificação do motor. Quando este sistema é usado, a pressão de óleo é usualmente reforçada por uma bomba integrada ao governador para operar a hélice. O aumento da pressão de óleo proporciona uma rápida mudança do ângulo da pá.

Os governadores usados para controlar o mecanismo hidráulico de mudança de passo são acionados pelo eixo de manivelas do motor e, por esse motivo, são sensíveis as mudanças de rotação. Os governadores orientam o óleo sob pressão para a operação do mecanismo hidráulico de mudança de passo.

Quando a rotação do motor ultrapassa um valor, para o qual o governador foi regulado, o governador comanda o mecanismo de mudança do passo da hélice para uma condição de aumento de passo. Esse ângulo aumenta a carga no motor diminuindo a rotação. Quando a rotação diminui, abaixo de um valor para o qual o governador foi regulado, o governador comanda o mecanismo de mudança de passo para girar as pás para um passo menor; a carga no motor é diminuída e a rotação aumenta. Assim, o governador da hélice tende a manter constante a rotação do motor.

Hélices automáticas

Nos sistemas de hélices automáticas, o sistema de controle ajusta o passo, sem atuação do operador, para manter uma específica ajustagem da rotação do motor.

Por exemplo, se a rotação do motor aumenta, os controles automaticamente aumentam o ângulo da pá até que uma desejada rotação tenha sido restabelecida.

Um bom sistema de controle automático reage nas pequenas variações de rotação, praticamente em todas as condições, mantendo constantes as rotações por minuto (r.p.m) do motor.

As hélices automáticas são frequentemente chamadas de hélices de "velocidade constante".

Refinamentos adicionais, tais como passo reverso e embandeiramento, são incluídos em algumas hélices para aperfeiçoar suas características operacionais.

Hélices reversíveis

Uma hélice de passo reverso é uma hélice controlável, na qual o ângulo da pá pode ser mudado para um valor negativo durante a operação.

A finalidade do passo reverso é a de produzir uma tração negativa, à baixa velocidade, usando a potência do motor.

Embora o passo reverso possa ser usado em vôo para descidas em rota, ele é usado principalmente como um freio aerodinâmico para reduzir a corrida no solo após o pouso.

Hélices embandeiráveis

Uma hélice embandeirável é uma hélice controlável que possui um mecanismo que muda o passo para um ângulo tal, que o deslocamento da aeronave para a frente produz um mínimo efeito "cata-vento" em uma hélice sem potência.

O embandeiramento das hélices deve ser usado em aeronaves multimotoras para reduzir ao mínimo a resistência ao avanço, causada por uma hélice, na condição de falha do motor.

CLASSIFICAÇÃO DAS HÉLICES

Hélices tratoras

Essas são as hélices montadas na parte anterior de um eixo, à frente da estrutura de apoio. A maioria das aeronaves são equipadas com este tipo de hélices.

A maior vantagem das hélices tratoras é que baixos esforços são induzidos em uma hélice, que gira em um ar relativamente calmo.

Hélices propulsoras

São aquelas montadas na parte posterior de um eixo, atrás da estrutura de apoio. As hélices propulsoras são construídas como hélices fixas ou de passo variável. Aeronaves aquáticas ou anfíbias utilizam, em grande porcentagem, hélices propulsoras.

Em aeronaves terrestres onde a distância da hélice ao solo normalmente é menor do que a distância da hélice à água dos aquáticos, as hélices propulsoras estão mais sujeitas a danos do que as tratoras. Pedras, cascalhos e pequenos objetos deslocados pelas rodas, muitas vezes podem ser atirados ou aspirados por uma hélice propulsora.

Similarmente, aeronaves aquáticas com hélices propulsoras estão aptas a sofrer danos na hélice, causados pelo jato de água levantado pelo casco durante pousos e decolagens da água. Consequentemente, a hélice propulsora, na maioria das vezes, é montada em cima e atrás das asas para evitar danos semelhantes.

HÉLICES USADAS EM AERONAVES LEVES

Existem, atualmente, em grande número, aeronaves leves utilizando hélices de velocidade constante, reguladas por governador. Mas, um número significativo de aeronaves da aviação geral, ainda opera com hélices de passo fixo.

Hélices de passo fixo, de madeira

A construção de uma hélice de madeira, de passo fixo (Figura 7-7) é de tal modo que o passo das pás não pode ser mudado após a construção.

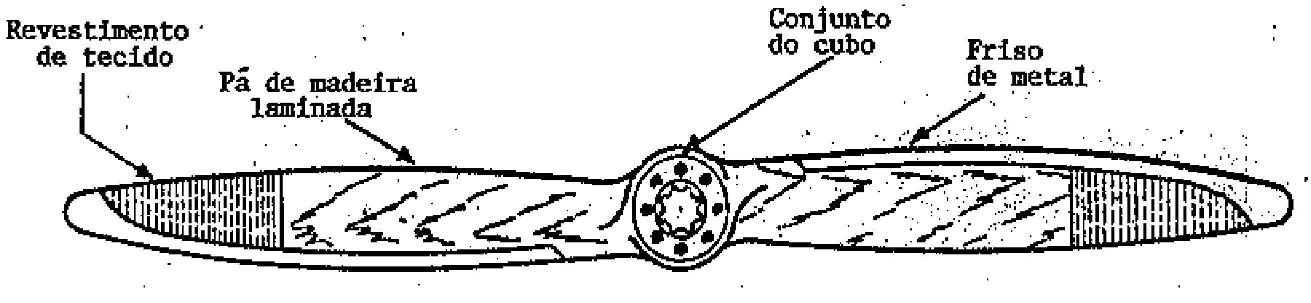


Figura 7-7 Hélice de madeira de passo fixo.

A escolha do ângulo da pá é decidido pelo uso normal da hélice em uma aeronave durante um vôo nivelado, quando o motor atingir a máxima eficiência.

A impossibilidade de mudar o passo da pá em uma hélice de passo fixo, restringe o seu uso as pequenas aeronaves com motores de baixa potência, nos quais a máxima eficiência do motor, durante todas as condições de vôo, é de menor importância do que nas grandes aeronaves. A hélice de madeira, de passo fixo, em virtude do seu baixo peso, rigidez, economia de produção, simplicidade de construção e facilidade de substituição, é bem apropriado para aquelas pequenas aeronaves.

Uma hélice de madeira não é construída de um sólido bloco de madeira, mas é formada de um determinado número de camadas de madeira dura, cuidadosamente selecionadas e bem secas.

Muitas madeiras, entre elas o mogno, a cerejeira, a nogueira preta e o carvalho, são usadas em grande parte, mas o vidoeiro é na maioria das vezes, amplamente utilizado.

São usadas de cinco a nove camadas separadas, tendo cada uma cerca de três quartos da polegada de espessura.

As várias camadas são colocadas juntas com uma cola, a base de resina à prova d'água e mantidas até a secagem. A peça bruta é então desbastada, até em formato e tamanho aproximados do produto acabado.

A hélice semi-acabada é então deixada em repouso para secar durante aproximadamente uma semana, para permitir que a umidade seja distribuída entre as camadas.

Este período adicional de secagem evita empenos e rachaduras, que podem ocorrer se o bloco for trabalhado imediatamente. Após este período, a hélice é cuidadosamente construída.

Gabaritos e transferidores de bancada são usados para obter-se o contorno apropriado, e o ângulo da pá de todas as estações.

Depois que as pás da hélice estiverem acabadas, um revestimento de tecido é colado nas últimas 12 a 15 polegadas de cada pá acabada, e um friso de metal (figura 7-8) é preso na maior parte do bordo de ataque e ponta de cada pá, para proteger a hélice dos danos causados pelas partículas soltas no ar durante o pouso, táxi ou decolagem.

O friso pode ser de folha de flandres, metal Monel ou latão.

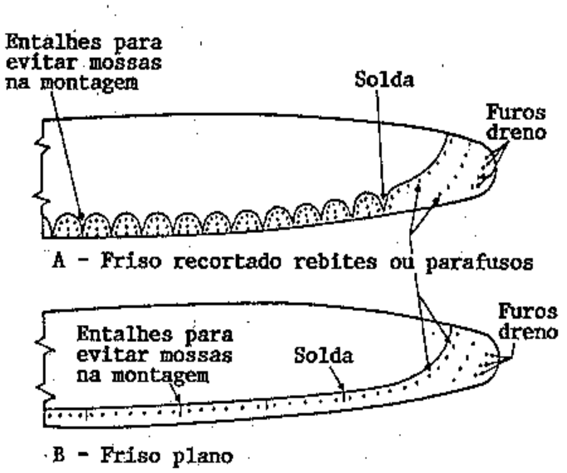

Entalhes para evitar mossas na montagem
Solda
Furos dreno
A - Friso recortado rebites ou parafusos
Furos dreno
Entalhes para evitar mossas na montagem
Solda
B - Friso plano

Figura 7-8 Instalação de revestimento e friso de metal.

Aço inoxidável tem sido usado com frequência, ele é fixado ao bordo de ataque com parafusos de cabeça escareada para madeira na parte grossa da pá, e com rebites de cobre nas seções finas das pontas.

As cabeças dos parafusos são fixadas com solda para evitar que se soltem, e para que a solda torne a superfície plana e lisa. Como a umidade tende a se acumular nas pontas das pás, entre o metal e a madeira são feitos pequenos furos para permitir a drenagem desta umidade, ou sua expulsão pela força centrífuga. É importante que esses furos sejam sempre mantidos abertos.

Como a madeira está sujeita a dilatação, contração e empeno, devido a umidade, uma camada protetora é aplicada em uma hélice já acabada, para evitar uma rápida mudança do conteúdo de umidade.

O acabamento mais usado é um determinado número de camadas de verniz claro e impermeável. Após este processo ser completado, a hélice é montada em um cubo, e cuidadosamente balanceada.

Vários tipos de cubos são usados para montar hélices de madeira no eixo de manivelas do motor. A hélice pode ter um cubo de aço forjado que será fixado em um eixo estriado, ele pode ser conectado em um eixo cônico por um cubo de aço forjado, ou ele pode ser aparafusado em um flange de aço forjado do eixo de manivelas. Em qualquer caso, várias partes de fixação são requeridas para a montagem efetiva da hélice no eixo. Os cubos fixados em um eixo cônico, normalmente são mantidos no lugar por uma porca de retenção, que é atarraxada na ponta do eixo. Em um modelo, uma contraporca é usada como segurança da porca de retenção, e para permitir um extrator para a remoção da hélice do eixo. Esta porca é rosqueada no interior do cubo, e de encontro à porca de retenção. A contraporca e a porca de retenção são frenadas juntas com arame de freno ou com contrapino.

Um cone dianteiro e um cone traseiro podem ser usados para apoiar, de um modo apropriado, a hélice em um eixo estriado. O cone traseiro é inteiriço, de bronze, envolvendo o eixo de encontro a porca de tração (ou espaçador) e apoiado na sede do cubo destinada ao cone traseiro.

O cone dianteiro é, em duas peças de aço, que formam par durante todo o tempo de vida, possuindo um sulco na sua circunferência interna para que ele possa ser fixado em um flange da porca de retenção da hélice. Quando a porca de retenção é atarraxada no lugar, o cone dianteiro encaixa-se em sua sede, do cubo.

Um anel de pressão é encaixado em um sulco do cubo, à frente do cone dianteiro, para que, quando a porca de retenção for removida do eixo da hélice, o cone dianteiro atuará de encontro ao anel de pressão, agindo como um extrator, puxando a hélice do eixo.

Um tipo de cubo incorpora uma bucha de bronze no lugar de um cone dianteiro. Quando este tipo de cubo é usado, é necessário o uso de um extrator para iniciar a remoção da hélice. Um cone traseiro espaçador é algumas vezes utilizado em uma hélice para eixo estriado, para evitar a interferência da hélice com a refrigeração do motor. Um flange largo, na face traseira de alguns tipos de cubos eliminam o uso de um cone traseiro espaçador.

Um tipo de conjunto de cubo para uma hélice de passo fixo, de madeira, é uma peça de aço embutido na hélice para montá-la no eixo. Ele tem duas partes principais, a placa lisa e a placa flange (figura 7-9). A placa lisa é um disco de aço que forma a face dianteira do cubo. A placa flange é de aço, oca e estriada internamente para receber o eixo da hélice. A parte do flange, oposta ao disco, tem encaixes para receber a placa lisa, que tem encaixes na abertura de passagem do eixo, para fixação na placa flange.

Tanto a placa lisa quanto a flange, tem uma série de correspondentes orifícios no disco, concêntricos com relação ao centro do cubo. A passagem para o eixo na placa flange tem uma sede para o cone com 15º na parte traseira, e uma sede para cone na dianteira com 30º, para centralizar o cubo acuradamente no eixo da hélice.

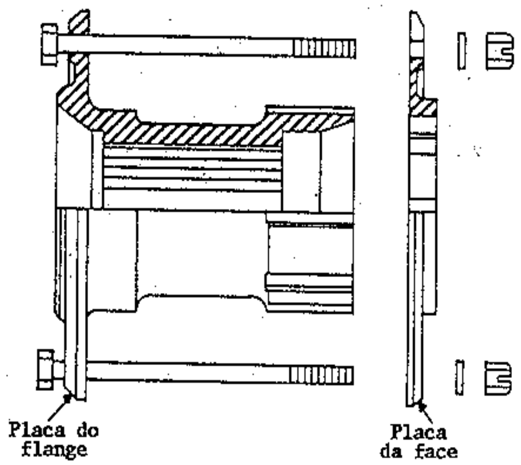


Figura 7-9 Conjunto do cubo.

Hélices de passo fixo, de metal

As hélices de metal, de passo fixo, são semelhantes na aparência com as de madeira, com a diferença de terem a seção da pá mais fina. A hélice de passo fixo, de metal, é extensamente utilizada na maioria das aeronaves leves.

A maioria das hélices de metal antigas eram fabricadas por uma peça de duralumínio forjado. Comparadas com as hélices de madeira, elas eram mais leves por causa da eliminação dos dispositivos de fixação, elas ofereciam um custo de manutenção mais baixo, porque eram feitas de uma só peça, e permitiam maior eficiência de refrigeração devido ao passo efetivo bem próximo ao cubo, e porque elas não tinham junções entre as pás e o cubo.

O passo da hélice podia ser modificado, dentro de certos limites, torcendo-se a pá ligeiramente. As hélices deste tipo são agora manufaturadas em liga de alumínio anodizado. Elas são identificadas por caracteres estampados no cubo com o número de série, modelo, número do certificado de tipo da *Federal Aviation Administration* (F.A.A.), número do certificado de produção, e o número de vezes que a hélice foi recondicionada. O número completo do modelo da hélice é uma combinação dos números básicos do modelo e números sufixos, indicando o diâmetro e o passo da hélice. Uma explanação de um número completo de um modelo, usando a hélice Mc Cauley 1B90/CM/71/44, é apresentado na figura 7-10.

1B90 / CM / 71 / 44

44 — Passo em polegadas a 0,75 do raio

71 — Diâmetro da hélice em polegadas

CM —
CF - Instalação no eixo flangeado nº 1 SAE; pontas das pás elípticas
CH - Forma conjunto com cubo da Continental Motors Corp.; pontas elípticas.
CM - Instalação no eixo flangeado nº 1 SAE; pontas das pás quadradas.
LF - Instalação no eixo flangeado nº 2 com adaptador Mc Cauley C-1210; pontas das pás elípticas.
LM - Instalação no eixo flangeado nº 2 com adaptador Mc Cauley C- 1210; pontas das pás quadradas.

1B90 — Número básico de desenho (planejamento etc)

Figura 7-10 Número completo de modelo de hélice.

HÉLICES DE VELOCIDADE CONSTANTE

As hélices Hartzell, Sensenick e Mc Cauley, para aeronaves leves, são bem semelhantes em sua operação. Todas elas usam a força centrífuga atuando nos contrapesos da pá, para aumentar o seu ângulo. A descrição de uma hélice de velocidade constante Hartzell é usada como exemplo. As especificações e instruções do fabricante devem ser consultadas para informações dos modelos específicos.

Hélices de velocidade constante para aeronaves leves.

A maioria dos tipos de aeronaves leves usam hélices de velocidade constante, controladas por governador tanto na versão de duas como na de três pás.

Essas hélices podem ser do tipo não embandeiráveis, ou elas podem ser capazes de embandeirar e reverter o passo.

O cubo de aço consiste de uma aranha de aço, a qual suporta as pás de alumínio, com um tubo penetrando na base das pás. Braçadeiras fixam o flanco das pás com os rolamentos de retenção. Um cilindro hidráulico está montado no eixo rotacional, conectado à braçadeira da pá para atuação do passo (ver a figura 7-11).

O cubo e a retenção das pás básicos são comuns a todos os modelos descritos. As pás estão montadas na aranha do cubo em ajustes angulares. A força centrífuga das pás, em torno de 25 toneladas, é transmitida para a aranha do cubo através das braçadeiras da pás, e então, através dos rolamentos de esferas.

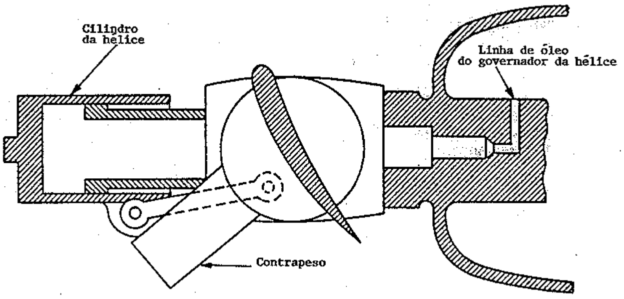


Figura 7-11 Mecanismo de mudança de passo para uma hélice de contrapesos.

A tração da hélice e o torque do motor são transmitidos das pás para a aranha do cubo, através de um embuchamento dentro do flanco das pás.

As hélices têm contrapesos fixados às braçadeiras das pás, utilizando a força centrífuga derivada dos contrapesos para aumentar o passo das pás. A força centrífuga, devido a rotação da hélice, tende a mover os contrapesos para dentro do plano de rotação, aumentando, assim, o passo das pás (ver a figura 7-12).

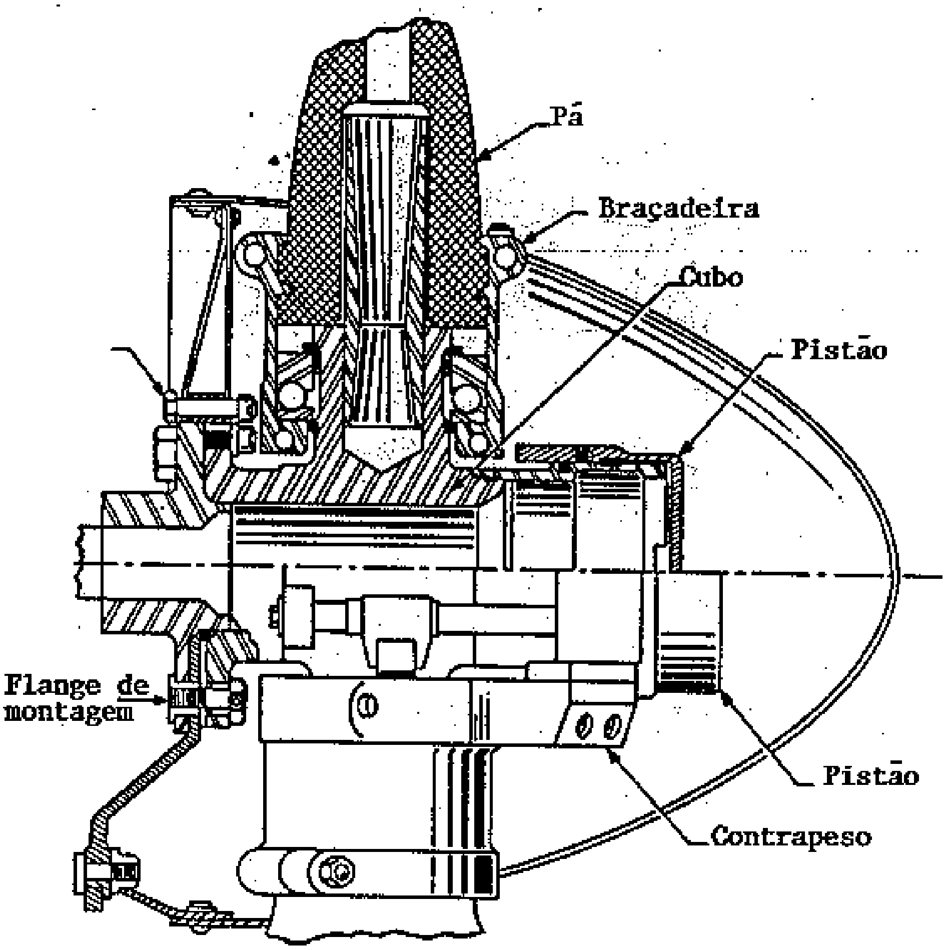

Pá
Braçadeira
Cubo
Pistão
Flange de montagem
Pistão
Contrapeso

Figura 7-12 Hélices de velocidade constante.

Na ordem de controlar o passo das pás, um conjunto hidráulico pistão cilindro está montado na parte frontal da aranha do cubo.

O pistão é acoplado a braçadeira da pá por meio de um sistema deslizante, garfo para os modelos não embandeiráveis; e um sistema de hastes para os modelos embandeiráveis.

O pistão é atuado para a direção dianteira por meio da pressão de óleo suprida por um governador, o qual supera a força em oposição criada pelos contrapesos.

Hélices de velocidade constante, não embandeiráveis

Se a velocidade do motor for reduzida para uma rotação menor do que a regulagem do governador (ver figura 7-13), a força rotacional do motor que aciona os contrapesos do governador diminuirá também. Isto permite que a mola de velocidade mova a válvula piloto para a posição mais baixa.

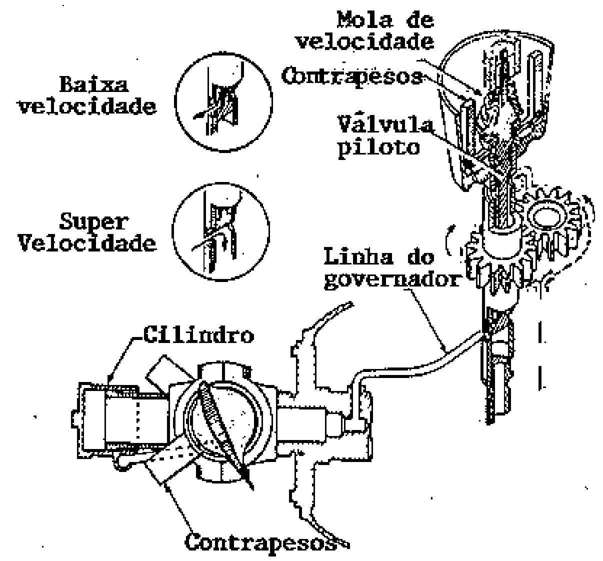

Mola de velocidade
Contrapesos
Válvula piloto
Baixa velocidade
Super Velocidade
Linha do governador
Cilindro
Contrapesos

Figura 7-13 Operação básica de velocidade constante.

Com a válvula piloto nesta posição, o óleo fornecido pela bomba de engrenagens fluirá através de passagens para a hélice, movendo o cilindro para a posição mais afastada. Isto, diminui o ângulo da pá, permitindo ao motor retornar à condição de velocidade estável.

Se a velocidade do motor aumentar para uma rotação maior do que a regulagem do governador, os contrapesos se oporão à tensão da mola de velocidade movendo a válvula piloto para cima. Isto permite que o óleo seja drenado da hélice através do eixo de comando do governador.

Assim que o óleo abandonar a hélice, a atuação da força centrífuga nos contrapesos moverão as pás para um aumento de ângulo, com uma conseqüente diminuição da rotação do motor.

Quando o motor estiver exatamente na rotação selecionada pelo governador, a reação centrífuga dos contrapesos equilibrará a tensão da mola de velocidade, posicionando a válvula piloto de tal maneira que o óleo não seja fornecido nem drenado da hélice. Nesta condição, o ângulo da pá não muda.

Convém notar que a seleção da rotação é feita pela variação da compressão na mola de velocidade.

O posicionamento da cremalheira de velocidade é a única ação controlada manualmente. Todas as outras são controladas automaticamente no interior do governador.

Hélice de velocidade constante e embandeirável

As hélices embandeiráveis operam de modo semelhante às não embandeiráveis, com a diferença de que as embandeiráveis possuem a mola de embandeiramento, que auxilia os contrapesos a aumentarem o passo (ver figura 7-14).

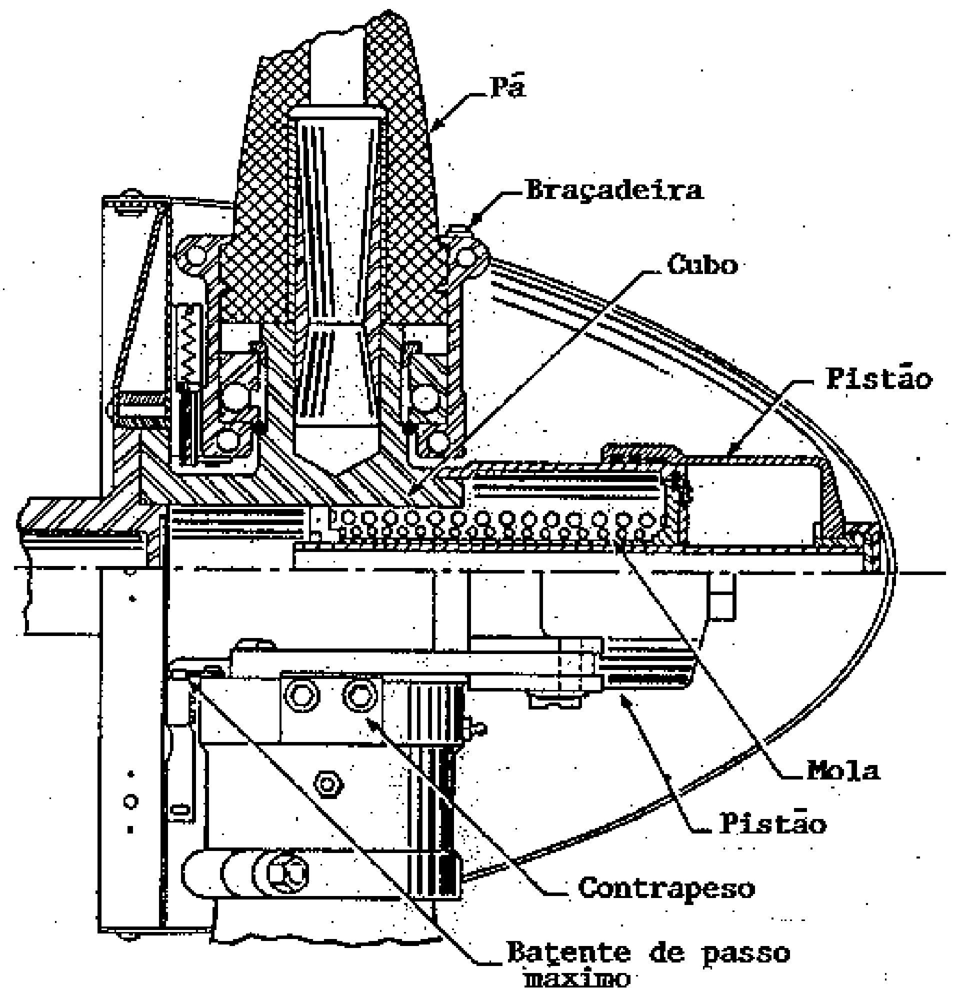


Figura 7-14 Hélice de velocidade constante embandeirável.

EMBANDEIRAMENTO

O embandeiramento é executado pelo alívio da pressão de óleo através do governador, permitindo que os contrapesos e a mola de embandeiramento comandem as pás para a posição bandeira. Isto é feito pelo comando do controle de passo do governador, sendo puxado para o limite do seu curso, abrindo uma passagem que permite o escoamento do óleo da hélice de volta ao motor.

O tempo necessário para embandeirar, depende da quantidade de óleo que volta da hélice para o motor, e da força exercida pela mola e pelos contrapesos. A maior passagem através do governador e o peso da ação da mola tornam mais rápida a ação de embandeiramento. O tempo normal de embandeiramento, com este sistema, é de três a dez segundos.

A capacidade de desembandeirar as pás, ou restabelecer o passo normal, dentro do mesmo tempo, não é considerado importante para as aeronaves leves bimotoras. A possibilidade de embandeirar a hélice errada em uma emergência é bem remota, igualmente, a ação errada se tornará aparente com tempo suficiente de ser corrigida.

Além disso, para o pouso, não será necessário dar partida naquele motor que foi cortado em vôo, porque uma aeronave leve bimotora pode facilmente pousar com apenas um motor funcionando. A necessidade do desembandeiramento é apenas para a finalidade de demonstração.

DESEMBANDEIRAMENTO

O desembandeiramento é executado pela reposição do controle do governador para o curso normal de vôo, e para reacender o motor (ver figura 7-15).

Logo que o motor gira algumas voltas, o governador inicia o desembandeiramento das pás, seguindo-se a rotação em cata-vento, que celera o processo de desembandeiramento. Para facilitar a rotação do motor, o ângulo da pá em bandeira, em um ponto a 3\4 na pá, é de 80º a 85º, permitindo que o ar auxilie a partida do motor.

Em geral, o desembandeiramento e o reacendimento podem ser executados dentro de poucos segundos.

Sistemas especiais de desembandeiramento são encontrados em certas aeronaves, para as quais o reacendimento seja difícil. O sistema consiste de um acumulador a óleo, conectado ao governador por meio de uma válvula, como é mostrado na figura 7-15.

Para evitar que a mola de embandeiramento atue na hélice quando a aeronave estiver no solo com o motor parado, são instalados batentes do aumento do passo, automaticamente removíveis.

sistema consiste de fechos acionados por mola, fixados ao cubo estacionário,o qual engraza no disco batente do passo máximo preso por parafusos nas braçadeiras móveis das pás. Quando a hélice ultrapassa 600 r.p.m.,a força centrífuga atua para desengraxar os fechos do disco batente do passo máximo para que o passo da hélice possa ser aumentado para a posição bandeira.

Quando o motor estiver girando a uma baixa rotação, ou parado, a mola engraza o fecho com o batente do passo máximo, evitando que o passo aumente sob a ação da mola de embandeiramento.

Uma característica de segurança aplicada a este método, é que a hélice irá para a posição bandeira se a pressão de óleo no governador, por qualquer razão,cair a zero.

Como o governador obtém o seu suprimento de óleo do sistema de lubrificação do motor, é importante que na situação do motor esteja girando sem óleo, por quebra de uma parte do seu sistema; que a hélice seja embandeirada automaticamente.

Esta ação pode livrar o motor de um dano mais sério, no caso do piloto não estar ciente do defeito.

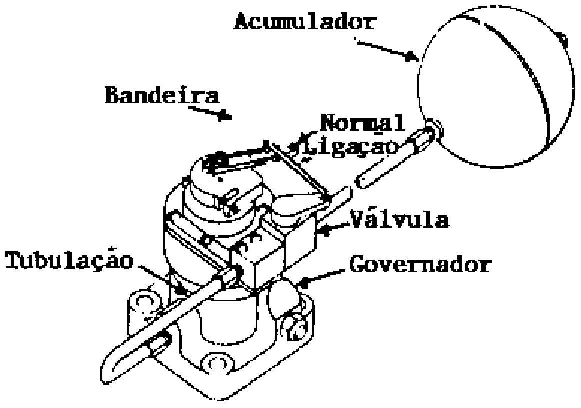


Figura 7-15 Sistema de desembandeiramento.

HÉLICES HARTZELL COMPACTA

Essas hélices representam um novo conceito no desenho básico. Elas combinam o pouco peso e a simplicidade do projeto, com a rigidez da construção.

Para obter estas características, o cubo é feito o mais compacto possível, utilizando a liga de alumínio forjado para a maioria das suas partes. A cúpula do cubo é feita em duas metades, unidas por parafusos ao longo do plano de rotação. Esta cúpula encerra internamente o mecanismo de mudança do passo e a raiz das pás.

O cilindro hidráulico, que fornece a força para a mudança do passo, está montado na parte frontal do cubo. Esta hélice só pode ser instalada em motores que tenham as provisões para montagem em flange.

A hélice de velocidade constante utiliza a pressão de óleo fornecida pelo governador para mover as pás para um aumento de passo (redução da rotação).

O momento de torção centrífuga das pás tende a movê-las para uma diminuição de passo (aumento da rotação), na ausência da pressão de óleo do governador.

As hélices embandeiráveis utilizam a pressão de óleo vinda do governador, para mover as pás para diminuir o passo (aumento da rotação). O momento de torção centrífuga das pás tendem também a mover as pás para diminuir o passo. A oposição a essas duas forças é uma força produzida pela compressão do ar, bloqueado entre a cabeça do cilindro e o pistão, o qual tende a mover as pás para um aumento do passo na ausência da pressão de óleo do governador.

Assim, o embandeiramento é executado pela compressão do ar, na ausência da pressão de óleo do governador; e é executado pelo movimento de retorno do controle do governador para a sua posição extrema.

A hélice é protegida de embandeiramento quando está estacionária, pelos pinos centrífugos, os quais engrazam um ressalto na haste do pistão.

Estes serão movidos para fora pela força centrífuga contra as molas, quando a hélice estiver girando acima de 700 r.p.m.

O tempo necessário para embandeirar depende da quantidade de óleo que volta da hélice através do motor e governador, e a pressão de ar forçando a cabeça do cilindro.

O tamanho nas passagens do óleo, e a rapidez do óleo vindo do cilindro da hélice, podem ser forçados a voltar para o motor. Também, o aumento da carga do ar acelera a ação de embandeiramento. Em geral, o embandeiramento pode ser completado em alguns poucos segundos.

O desembandeiramento pode ser executado por qualquer um dos vários métodos apresentados a seguir:

1. Na partida do motor, o governador pode bombear óleo de volta ao interior da hélice para reduzir o passo. Na maioria das aeronaves leves, bimotoras, este procedimento é considerado adequado, pois a partida do motor, em geral, não apresenta problemas.

2. Prover um acumulador conectado ao governador, com uma válvula para bloquear uma carga de óleo quando a hélice estiver embandeirada, mas soltá-la para a hélice, quando o controle de rotação tiver retornado para a posição normal.

3. Prover um sistema, que permita ao óleo que opera a lubrificação do motor, desembandeirar a hélice de um motor parado. Isto consiste de uma linha de óleo conectando os dois governadores com uma válvula no meio, operada manual ou eletricamente.

O governador está projetado para que possa ser adaptado, tanto para operações de ação simples, como para dupla ação. Como um governador de ação simples, ele dirige a pressão de óleo para a parte traseira do cilindro para diminuir o passo e permitir a drenagem do cilindro, quando a força centrífuga aumenta o passo.

As hélices que possuem contrapesos usam governadores de ação simples. Os contrapesos e a força centrífuga atuam juntos para aumentar o passo. Para aquelas hélices que não usam contrapesos para aumentar o passo, o óleo vindo do governador é usado, vencendo a força centrífuga das pás.

Neste caso, o plugue "B" é removido e instalado na passagem "C" do governador. Isto permite que a pressão de óleo do governador seja dirigida para a parte traseira do cilindro, para diminuir o passo. A pressão de óleo é dirigida para o lado dianteiro do cilindro, para aumentar o passo. Ver a figura 7-16.

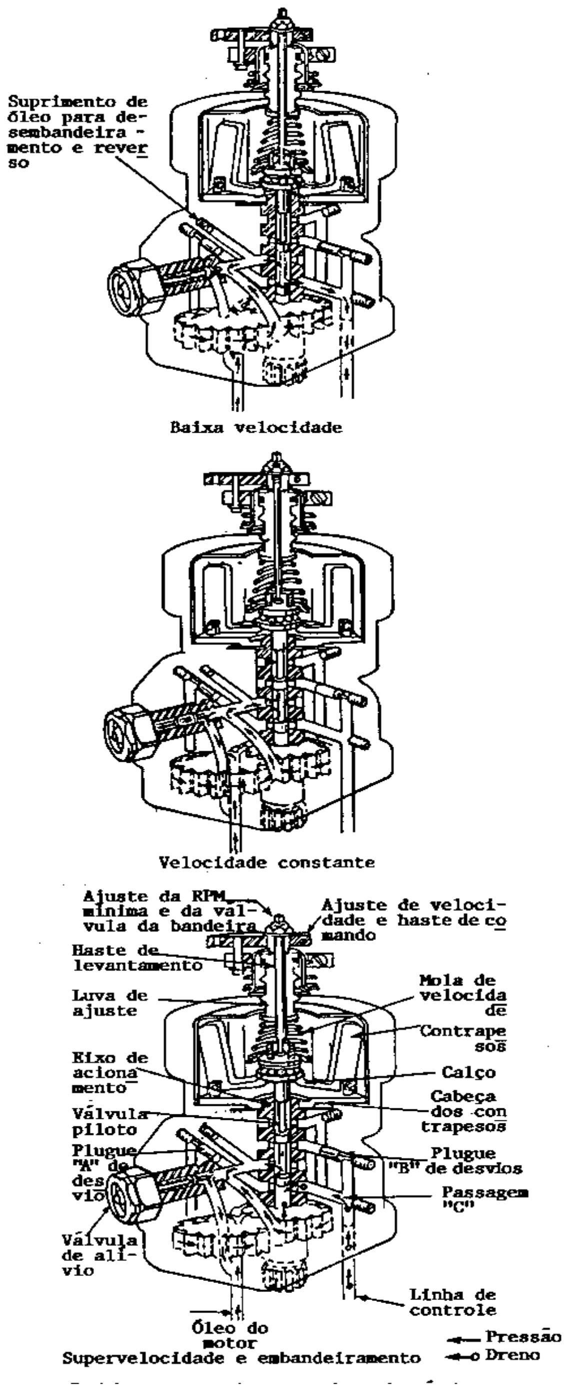

Suprimento de óleo para desembandeiramento e reverso
Baixa velocidade
Velocidade constante
Ajuste da RPM mínima e da válvula da bandeira
Ajuste de velocidade e haste de comando
Haste de levantamento
Luva de ajuste
Mola de velocidade
Contrapesos
Eixo de acionamento
Calço
Válvula piloto
Cabeça dos contrapesos
Plugue "A" de desvio
Plugue "B" de desvios
Passagem "C"
Válvula de alívio
Linha de controle
Óleo do motor
Pressão
Dreno
Supervelocidade e embandeiramento

Figura 7-16 Governador Woodward série X 210.000.

HÉLICE HIDROMÁTICA HAMILTON STANDARD

A descrição a seguir é típica da maioria dos vários modelos da hélice hidromática Hamilton Standard.

A hélice hidromática (figura 7-17) é composta por quatro componentes principais:

1- Conjunto do cubo;
2- Conjunto da cúpula;
3- Conjunto da válvula distribuidora (para o embandeiramento das hélices de ação simples) ou conjunto extensão do eixo do motor (para hélices não embandeiráveis ou dupla ação);
4- Conjunto de antigelo.

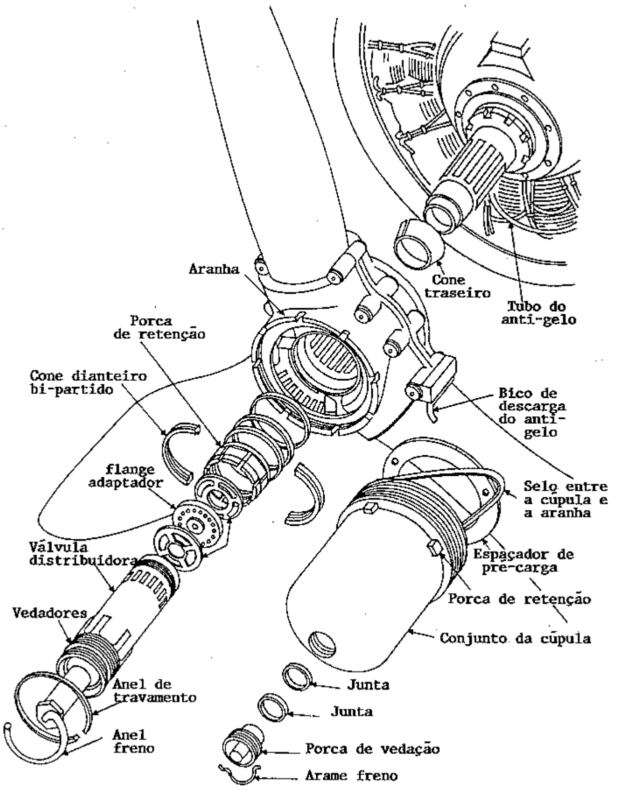

Aranha
Cone traseiro
Tubo do anti-gelo
Porca de retenção
Cone dianteiro bi-partido
Bico de descarga do anti-gelo
flange adaptador
Selo entre a cúpula e a aranha
Válvula distribuidora
Espaçador de pré-carga
Porca de retenção
Vedadores
Conjunto da cúpula
Anel de travamento
Junta
Junta
Anel freno
Porca de vedação
Arame freno

Figura 7-17 Instalação típica de uma hélice hidromática.

O conjunto do cubo é o mecanismo básico da hélice. Ele contém, tanto as pás, como os meios de mantê-las em posição. As pás são suportadas pela aranha e retidas pelo cubo. Cada pá é livre para girar em torno do seu eixo sob o controle do conjunto da cúpula.

O conjunto da cúpula contém o mecanismo de mudança do passo das pás. Ele consiste de diversos componentes principais:

1- Came rotativo
2- Came fixo
3- Pistão
4- Cúpula

Quando o conjunto da cúpula estiver instalado no cubo da hélice, o came fixo permanece estacionado com relação ao cubo.

O came rotativo, que pode girar dentro do came fixo, comanda os segmentos de engrenagens da base das pás.

O pistão opera dentro da cúpula, e, é o mecanismo que converte a pressão de óleo do motor e governador em forças, que irão atuar através dos cames para girar as pás da hélice.

A válvula distribuidora, ou o conjunto extensão do eixo do motor, permite passagens de óleo para o governador (ou óleo auxiliar) para o lado interno do pistão; e o óleo do motor para o lado externo.

Durante a operação de desembandeiramento, a distribuidora muda sob a pressão auxiliar, e inverte estas passagens para que o óleo da bomba auxiliar seja direcionado para a parte externa do pistão.

O óleo do lado interno fluirá de volta ao motor. O conjunto extensão do motor é usado com as hélices que não têm capacidade de embandeiramento.

Muitas partes estruturais da maioria das hélices hidromáticas são semelhantes. A pá e o conjunto do cubo são quase iguais, e os governadores são também semelhantes em construção e princípios de operação.

A principal diferença é no mecanismo de troca de passo.

Na hélice hidromática não são usados contrapesos, e as partes móveis do mecanismo são completamente embutidos.

A pressão de óleo e o momento de torção centrífuga das pás são usados juntos para que elas girem a um ângulo mínimo.

As maiores vantagens da hélice hidromática, são: o grande curso do ângulo da pá; e as características de embandeiramento e reversão.

Princípios de operação

O mecanismo de mudança de passo das hélices hidromáticas é um sistema hidráulico-mecânico no qual as forças hidráulicas, atuando em um pistão, são transformadas em forças mecânicas de torção atuando nas pás.

O movimento linear do pistão é convertido em movimento rotativo por um came cilíndrico.

Uma engrenagem cônica na base do came engraza com segmentos também cônicos, fixados na base das pás, fazendo com que estas girem.

A ação de mudança do passo das pás pode ser entendida pelo estudo do esquema na figura 7-18.

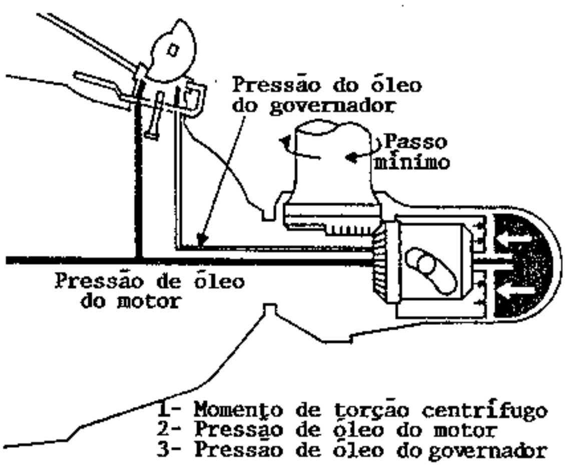

Pressão do óleo do governador
Passo mínimo
Pressão de óleo do motor
1- Momento de torção centrífugo
2- Pressão de óleo do motor
3- Pressão de óleo do governador

Figura 7-18 Diagrama das forças operacionais de uma hélice hidromática.

A força centrífuga atuando nas pás em rotação inclui uma força componente, que tende a mover as pás no sentido de diminuição do passo.

Como mostra a figura 7-18, uma segunda força, a pressão de óleo do motor, é suprida para o lado externo do pistão da hélice, a fim de mover a pá no sentido de diminuição do passo.

O óleo do governador da hélice é tomado do suprimento de óleo do motor, e reforçado em pressão pelo governador, que está ligado diretamente ao lado interno do pistão da hélice. Isto atua como uma contraforça que pode mover as pás no sentido do aumento do passo.

Pela medição desta alta pressão de óleo, ou pela sua drenagem do lado interno do pistão por meio da unidade de controle da velocidade constante, a força no sentido do aumento do passo pode equilibrar e controlar as duas forças, que tendem a diminuição do passo. Deste modo, o ângulo da pá da hélice é regulado para manter uma selecionada rotação.

As forças básicas de controle da hélice que atuam na Hamilton Standard, são: a força de torção centrífuga e a alta pressão do óleo fornecida pelo governador.

A força centrífuga atuando em cada pá de uma hélice em rotação inclui uma força de torção sobre a linha central da pá, a qual tende, durante todo o tempo, movê-las no sentido da diminuição do passo.

A saída do óleo da bomba do governador é dirigida para qualquer um dos lados do pistão da hélice. O óleo do lado do pistão oposto a esta alta pressão de óleo, retorna para o lado de entrada da bomba do governador para ser novamente utilizado. A pressão de óleo fornecida pelo motor não entra diretamente na hélice, mas é suprida somente pelo governador.

Durante as operações de velocidade constante, a dupla ação do mecanismo do governador manda o óleo para um lado ou para o outro do pistão, de acordo com a necessidade de manter a velocidade, em uma determinada seleção.

Condição de baixa velocidade

A baixa velocidade é o resultado de quando as pás (seção da pá em negrito da figura 7-19) tiverem sido movidas para um ângulo, maior do que o requerido para uma operação de velocidade constante (seção da pá em linha interrompida).

A seta representa a direção na qual as pás se moverão para restabelecer a operação de velocidade constante.

Quando a velocidade do motor diminui abaixo da rotação regulada no governador, a resultante diminuição em força centrífuga exercida pelos contrapesos permite que a mola de velocidade abaixe a válvula piloto, abrindo, por este motivo, a abertura medidora do governador da hélice. O óleo então fluirá da parte interna do pistão, através da válvula distribuidora no eixo da hélice.

Deste ponto, o óleo se desloca através do eixo da hélice, anéis de transferência, sob e para a entrada medidora, e então, através do eixo da engrenagem de acionamento do governador e caminhos da válvula piloto, é drenado no interior do cárter do motor. A bomba de recalque recolhe o óleo da parte frontal do motor, retornando-o para o tanque de óleo.

Quando o óleo é drenado da parte interna do pistão, ele fluirá através de passagens do eixo da hélice e da válvula distribuidora. Ao sair da válvula distribuidora, o óleo emergirá na parte externa do pistão. Com o auxílio do momento de torção centrífugo das pás, este óleo movimenta o pistão para dentro. Este movimento é transmitido através dos rolamentos do came e das engrenagens cônicas para as pás. Então, as pás são movidas para uma diminuição de ângulo, como é mostrado no diagrama esquemático da figura 7-19.

Quando as pás assumem um ângulo menor (seção da pá em linha interrompida da figura 7-19), a velocidade do motor aumenta, e a válvula piloto é levantada pelo aumento da força centrífuga exercida nos contrapesos do governador. A abertura de medição do governador da hélice gradualmente se fecha, diminuindo o fluxo de óleo do lado interno do pistão. Esta diminuição no fluxo de óleo, diminui, também, a razão da mudança do passo em direção ao passo mínimo.

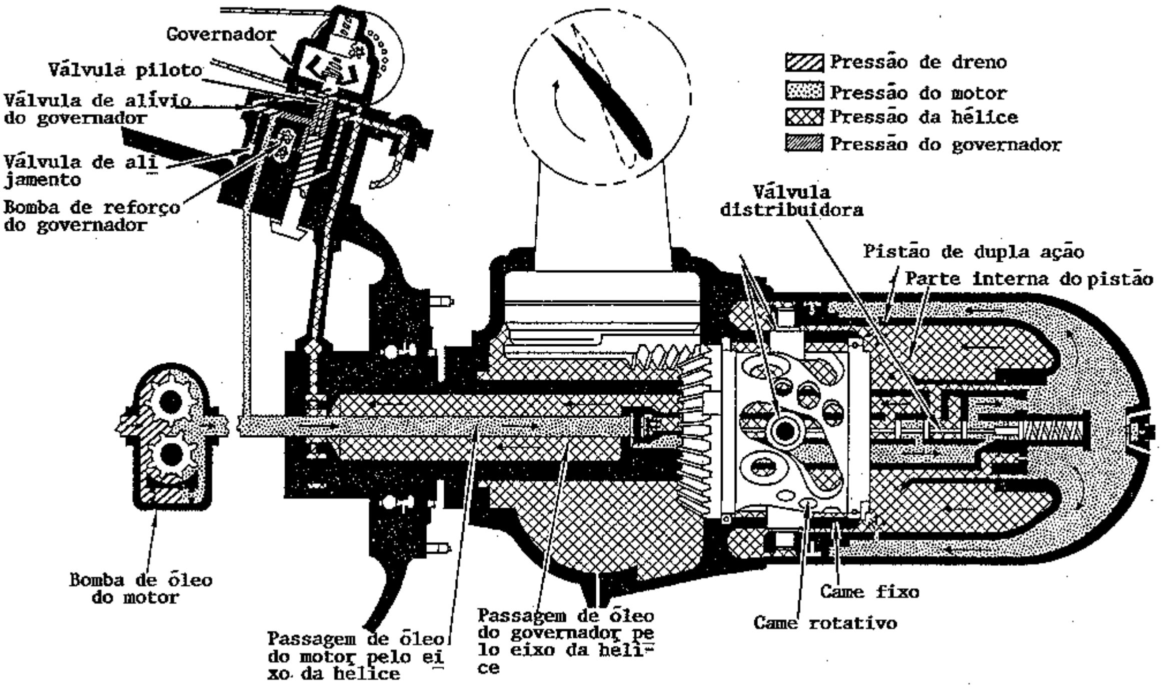

Governador
Válvula piloto
Válvula de alívio do governador
Válvula de alijamento
Bomba de reforço do governador
▨ Pressão de dreno
▒ Pressão do motor
⊠ Pressão da hélice
▩ Pressão do governador
Válvula distribuidora
Pistão de dupla ação
Parte interna do pistão
Bomba de óleo do motor
Passagem de óleo do motor pelo eixo da hélice
Passagem de óleo do governador pelo eixo da hélice
Came fixo
Came rotativo

Figura 7-19 Operação da hélice (condição de baixa velocidade).

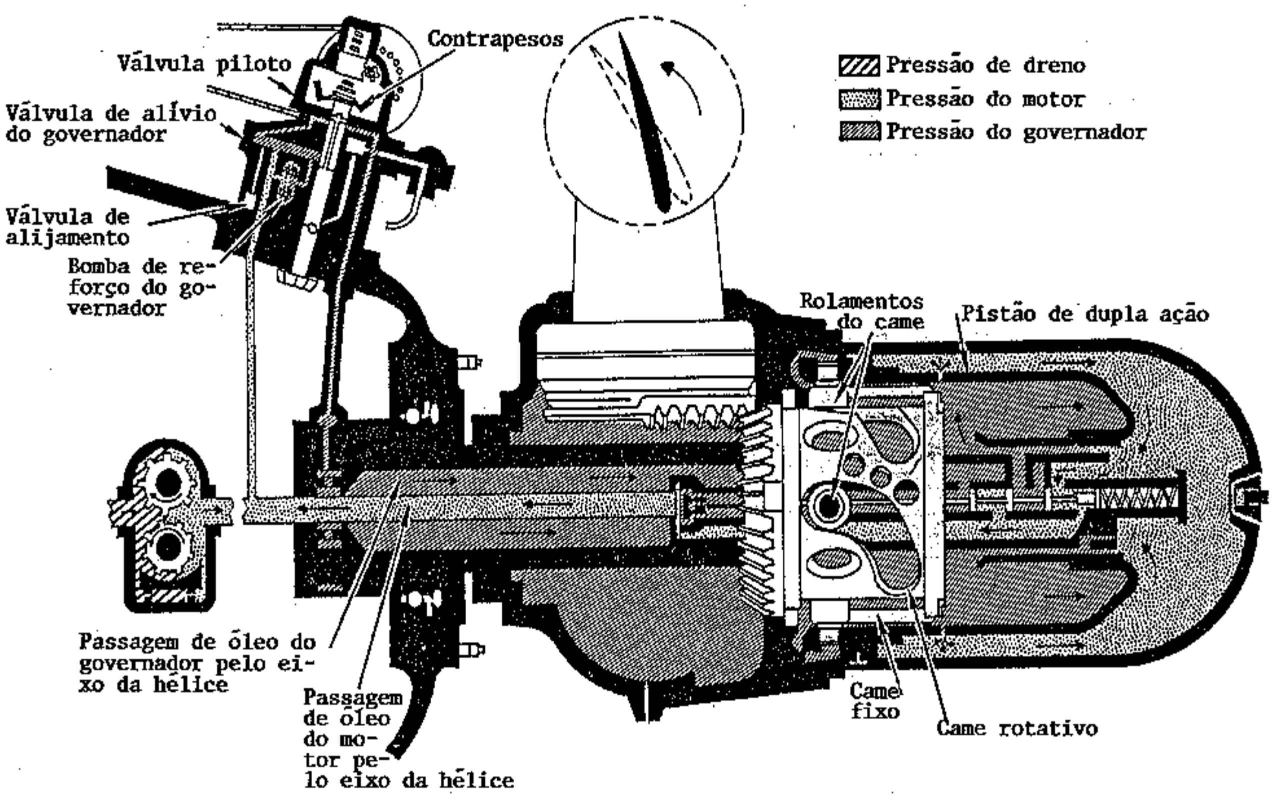

Válvula piloto
Contrapesos
Válvula de alívio do governador
Válvula de alijamento
Bomba de reforço do governador
▨ Pressão de dreno
▩ Pressão do motor
▦ Pressão do governador
Rolamentos do came
Pistão de dupla ação
Passagem de óleo do governador pelo eixo da hélice
Passagem de óleo do motor pelo eixo da hélice
Came fixo
Came rotativo

Figura 7-20 Operação da hélice (condição de supervelocidade).

Logo que o motor tenha atingido a rotação para a qual o governador está regulado, a válvula piloto assumirá a posição neutra (fechada) na qual ela evita qualquer fluxo de óleo apreciável, para ou vindo da hélice. A válvula é mantida nesta posição, porque a força centrífuga dos contrapesos se iguala à força da mola de velocidade. As forças de controle agora são iguais e, a hélice e o governador, estão operando em velocidade constante.

Condição de alta velocidade

Se a hélice estiver operando acima da rotação para a qual o controle está regulado, as pás estarão em um ângulo mais baixo (seção da pá em negrito na figura 7-20) do que o requerido para a operação em velocidade constante (linhas interrompidas). A seta representa a direção na qual a pá se moverá, dando à hélice a condição de velocidade constante.

Quando a velocidade do motor aumenta, acima da rotação para a qual o governador está regulado, os contrapesos serão movidos para fora, devido a força centrífuga, contrariando a força da mola de velocidade, levantarem a válvula piloto. Isto abre o orifício medidor do governador da hélice, permitindo que o óleo flua da bomba de reforço do governador através do orifício medidor do governador, entrando nos anéis de transferência. Dos anéis, o óleo passa através do eixo do governador, através de um orifício da válvula distribuidora entre os espaços da válvula, e então, para a parte interna do pistão.

Como um resultado deste fluxo, o pistão e os rolamentos fixos a ele, são movidos para fora, e o came rotativo é girado pelo movimento dos rolamentos na pista.

Quando o pistão é movido para fora, o óleo é removido da parte externa do pistão. Este óleo entra na válvula distribuidora pelo orifício de saída, flui através da válvula e entra pela passagem de óleo do eixo da hélice. Deste ponto, o óleo é dissipado no sistema de lubrificação do motor.

O mesmo equilíbrio de forças existe através da válvula distribuidora durante a alta velocidade, como durante a baixa velocidade, exceto que o óleo sob pressão do governador restitui o óleo drenado da entrada dos ressaltos da válvula e dos espaços entre os ressaltos.

O movimento do pistão para fora movimenta as pás na direção do aumento de ângulo, o qual, em conseqüência, reduz a rotação do motor. Uma diminuição na rotação do motor diminui a velocidade de rotação dos contrapesos do governador. Como resultado, os contrapesos são movidos para dentro pela força da mola de velocidade; a válvula piloto é abaixada; e o orifício medidor do governador da hélice é fechado. Logo que este orifício seja fechado, o fluxo de óleo para a hélice, ou vindo dela, cessa, e a hélice e o governador passam a operar em velocidade constante.

Operação de embandeiramento

A instalação de um sistema de hélice hidromática típica, embandeirável, é mostrada na figura 7-21.

Quando o botão interruptor de embandeiramento é apertado, um circuito de baixa corrente é estabelecido da bateria através do solenóide do botão, e da bateria através do solenóide do relê. Tão logo o circuito permaneça fechado, o botão permanecerá "apertado" por ação da bobina do solenóide.

Com este solenóide fechado, é estabelecido um circuito de alta corrente da bateria para o motor da bomba da unidade de embandeiramento. Esta bomba recebe óleo do reservatório do sistema de lubrificação do motor, reforça sua pressão, se necessário, para abrir a válvula de alívio da bomba; e supre a conexão da válvula de transferência de alta pressão do governador.

O óleo auxiliar, entrando na conexão da válvula de transferência de alta pressão, inverte a válvula de transferência do governador, a qual, hidraulicamente desconecta a hélice do governador e, ao mesmo tempo, abre o caminho na hélice do óleo para o óleo auxiliar.

O óleo flui através dos anéis de transferência do óleo do motor, através das passagens do óleo do governador no eixo da hélice, através da entrada da válvula distribuidora, pelo interior da válvula e, finalmente, para a parte interna do pistão pela saída correspondente da válvula.

A válvula distribuidora não muda durante a operação de embandeiramento.

Ela simplesmente serve de passagem para o óleo da pressão auxiliar para a parte interna do pistão, e do óleo do motor para a parte externa do pistão.

As mesmas condições descritas para a operação de baixa velocidade existe na válvula distribuidora, exceto que, o óleo sob pressão auxiliar substitui o óleo drenado da parte interna do pistão e dos espaços internos da hélice. A mola da válvula distribuidora é recuada pela pressão do óleo do motor, o que quer dizer que a todo tempo a pressão diferencial necessária para mover o pistão será idêntica à aplicada na válvula distribuidora.

O pistão da hélice se movimenta para fora sob a pressão de óleo auxiliar, a uma velocidade proporcional a razão a qual o óleo é suprido.

Este movimento do pistão é transmitido através dos rolamentos, operando nas pistas com inclinações opostas do came fixo ao came rotativo, e sendo convertido pelas engrenagens-cônicas em momento de torção das pás.

Somente durante o embandeiramento, ou desembandeiramento, é usada a porção de baixa vantagem mecânica da pista dos rolamentos no came rotativo (a porção de baixa vantagem mecânica é a situada entre a curva da pista e o final externo do perfil).

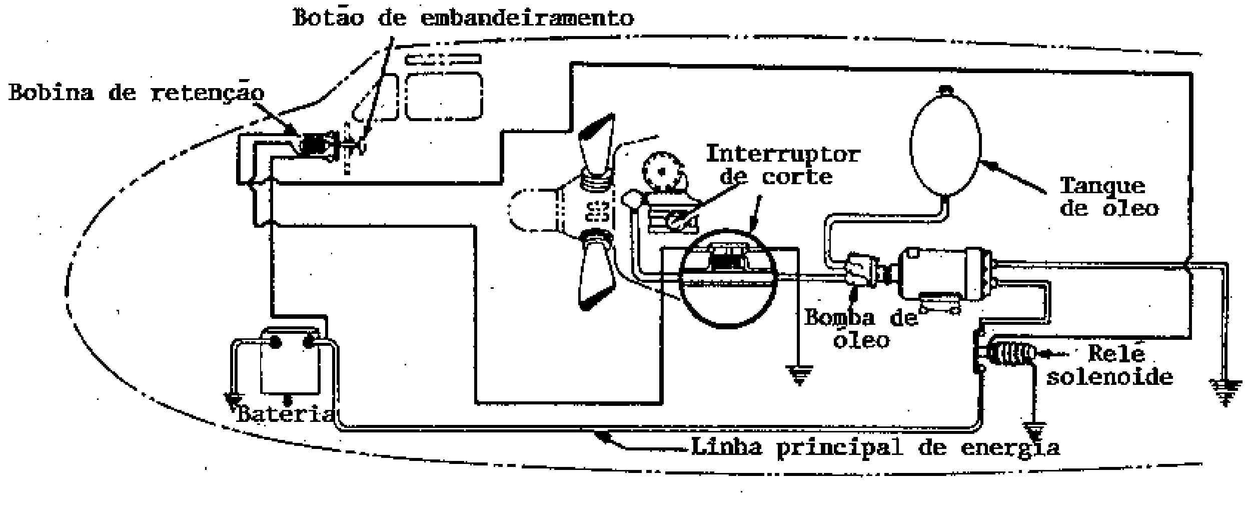


Figura 7-21 Instalação típica de embandeiramento.

O óleo, sob a pressão do motor deslocado da parte externa do pistão, flui através da entrada externa da válvula distribuidora para a parte final posterior e, através do orifício da válvula, entra na passagem de óleo do eixo da hélice sendo, finalmente, liberado no sistema de lubrificação do motor. Então, as pás se movimentam na direção de um ângulo de total aumento do passo (ou posição bandeira).

Tendo atingido a posição de totalmente embandeirada, um movimento adicional é evitado, pelo contato entre o anel batente do ângulo máximo na base do came fixo e o ressalto batente no dente do came rotativo.

A pressão na parte interna do pistão é agora aumentada rapidamente e, logo que ultrapassar uma determinada pressão, o interruptor elétrico de corte automaticamente será aberto. Esta pressão de corte é menor do que a necessária para desviar a válvula distribuidora.

Abrindo-se o interruptor, o solenóide é desenergizado, soltando o botão interruptor de controle de embandeiramento. A abertura deste interruptor interrompe o circuito do solenóide relê, parando o motor da bomba de embandeiramento.

A pressão em ambos os lados do pistão cai a zero, e como todas as forças estão em equilíbrio, as pás da hélice permanecem na posição embandeirada. Neste momento, a válvula de transferência de alta pressão do governador é desviada para a sua posição normal, assim que a pressão na linha do governador da hélice cai abaixo da requerida, para manter a válvula aberta.

Operação de desembandeiramento

Para tirar da posição bandeira uma hélice hidromática, aperta-se o botão interruptor de controle de embandeiramento. Como no caso do embandeiramento, o circuito de controle de baixa corrente, vindo da bateria através do solenóide do botão através do solenóide do relê, são completados quando o solenóide fecha. O circuito de alta corrente vindo da bateria gira o motor da bomba, e o óleo é suprido sob alta pressão para a válvula de transferência do governador.

Óleo auxiliar, entrando através da conexão da válvula de transferência de alta pressão, inverte a válvula de transferência do governador e desconecta-o da linha da hélice; na mesma operação, óleo auxiliar é admitido (ver a figura 7-22).

O óleo flui através dos anéis de transferência do óleo do motor, através das passagens do óleo do governador no eixo da hélice, e entrando no conjunto da válvula distribuidora.

Quando a operação de desembandeiramento começa, o pistão está na posição extrema para fora, o óleo entra na parte interna do pistão pelos caminhos de saída da válvula distribuidora.

Como a pressão na parte interna do pistão aumenta, a pressão contra as estrias da válvula distribuidora também aumenta.

Quando a pressão torna-se maior do que a força combinada de oposição da mola da válvula distribuidora e a pressão de óleo por trás dessa mola, a válvula muda de posição. Quando a válvula muda, as passagens através do conjunto da válvula distribuidora para a hélice são invertidas.

Uma passagem é aberta entre as divisões da válvula, e através de uma abertura para a parte externa do pistão, e um desvio da saída da válvula distribuidora.

Quando o pistão se move para dentro, sob a pressão de óleo da bomba auxiliar, o óleo é desalojado da parte interna do pistão, e através de orifícios entre as divisões da válvula entra no eixo da hélice, caminhos do óleo do motor e, finalmente, dispersado no sistema de lubrificação do motor.

Ao mesmo tempo, a pressão no interruptor de corte aumenta, e o interruptor é aberto. Contudo, o circuito para a bomba de embandeiramento e unidade do motor permanecem completo, enquanto o botão interruptor de embandeiramento for mantido pressionado.

Com a parte interna do pistão da hélice conectada a linha de dreno; e a pressão auxiliar fluindo para a parte externa do pistão, este se moverá para dentro. Esta ação desembandeira as pás como é mostrado na figura 7-22.

Quando as pás são desembandeiradas, elas começam a girar a hélice em rotação livre (cata-vento), e auxiliam na operação de desembandeiramento pela adição de força no sentido de diminuição do passo, recebida do momento de torção centrífugo.

Quando a velocidade do motor aumenta para aproximadamente 1.000 r.p.m., o operador desliga o motor da bomba de embandeiramento.

A pressão na válvula distribuidora e na válvula de transferência do governador diminui, permitindo a inversão da válvula distribuidora sob a ação da mola da válvula de transferência de alta pressão do governador.

Esta ação reconecta o governador com a hélice, e estabelece as mesmas passagens de óleo através da válvula distribuidora, que são usadas durante as operações de velocidade constante e de embandeiramento.

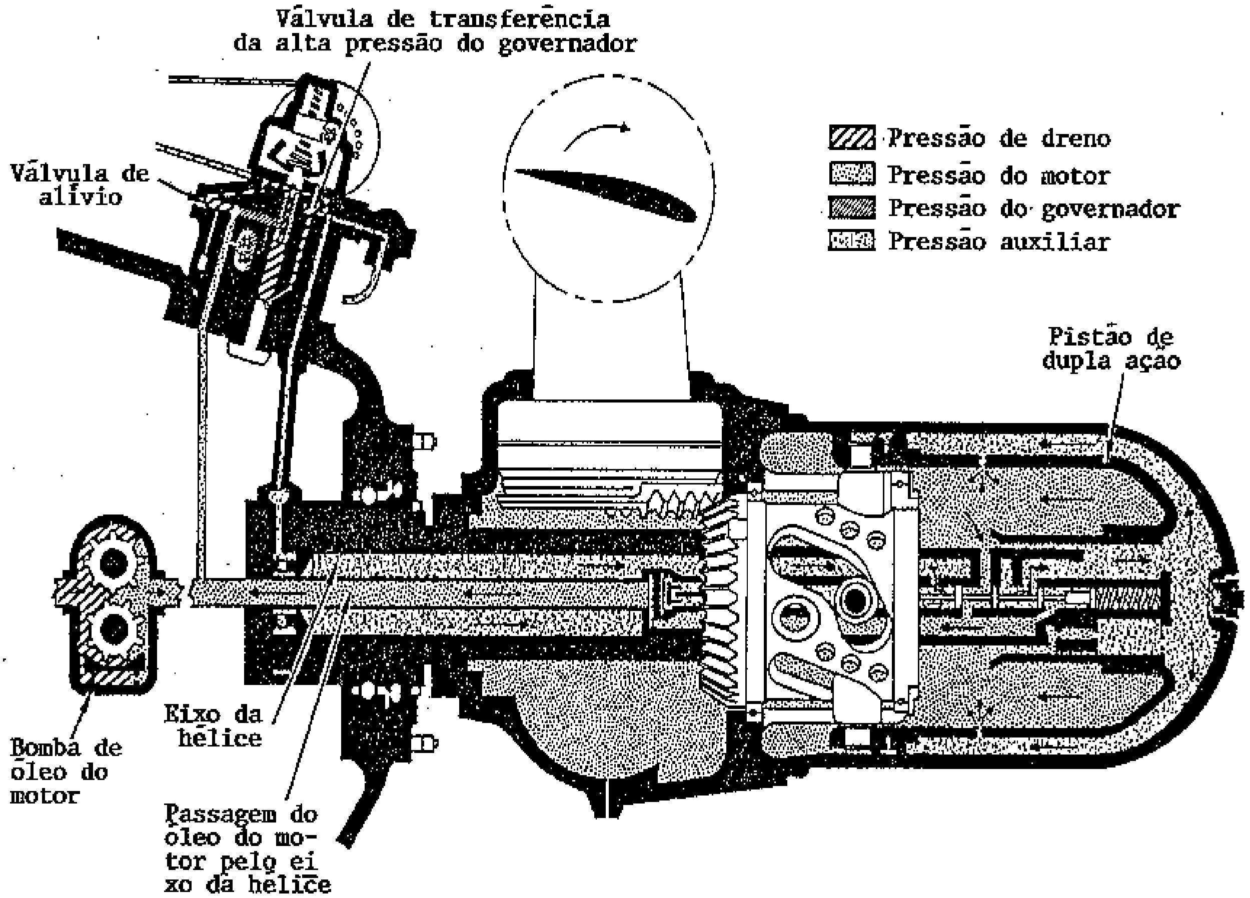

Válvula de transferência da alta pressão do governador
Válvula de alívio
▨ Pressão de dreno
▨ Pressão do motor
▨ Pressão do governador
▨ Pressão auxiliar
Pistão de dupla ação
Eixo da hélice
Bomba de óleo do motor
Passagem do óleo do motor pelo eixo da hélice

Figura 7-22 Operação da hélice (condição de desembandeiramento).

GOVERNADORES HIDRÁULICOS

Três forças fundamentais, já apresentadas, são usadas para controlar as variações do ângulo das pás requeridos para a operação de velocidade constante. Essas forças são:

1. Movimento de torção centrífugo, um componente da força centrífuga atuando em uma pá rotativa, o qual tende a mover a pá para uma diminuição de passo.

2. Óleo sob pressão do motor, no lado externo do pistão, suplementado pelo momento de torção centrífugo no sentido de passo mínimo.

3. Óleo do governador da hélice, na parte interna do pistão, mantendo o equilíbrio das primeiras duas forças, e movendo as pás na direção de aumento do passo.

Mecanismo do governador

O governador da hélice girado pelo motor (figura 7-23, controle de velocidade constante), recebe o óleo do sistema de lubrificação e reforça a pressão ao nível necessário à operação do mecanismo de mudança de passo. Ele consiste essencialmente em uma bomba de engrenagens, para aumentar a pressão do óleo do motor; uma válvula piloto, atuada por contrapesos, os quais controlam o fluxo de óleo através do governador; e um sistema de válvula de alívio, a qual regula a pressão de operação do governador.

Em adição ao reforço da pressão de óleo do motor para produzir uma das forças de controle fundamentais, o governador mantém o necessário equilíbrio entre as três forças de controle pela medição, para a drenagem da parte interna do pistão da hélice numa exata quantidade de óleo, necessário para manter o adequado ângulo da pá para a operação de velocidade constante.

A posição da válvula piloto, de acordo com a abertura medidora do governador, regula a quantidade de óleo com um fluxo desta abertura para/ou da hélice.

Uma mola sobre o suporte da válvula piloto retorna-o para uma posição intermediária na rotação de cruzeiro, no caso de uma falha do controle do governador.

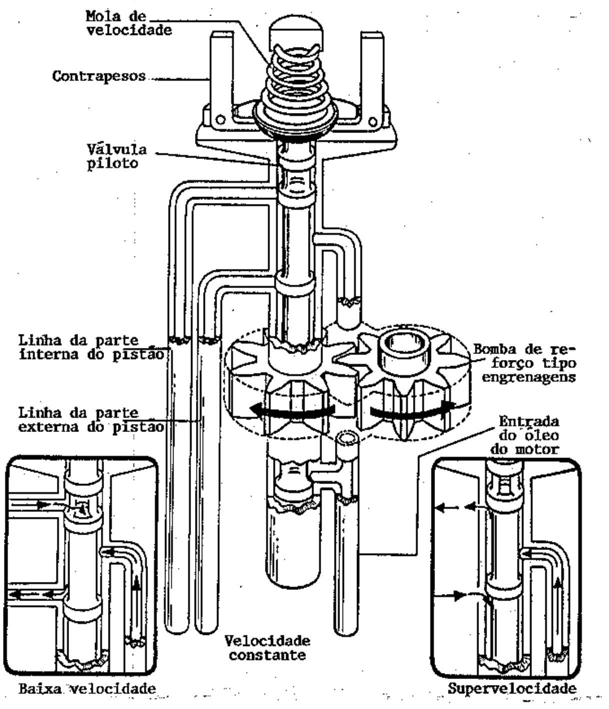

Mola de velocidade
Contrapesos
Válvula piloto
Linha da parte interna do pistão
Linha da parte externa do pistão
Bomba de reforço tipo engrenagens
Entrada do óleo do motor
Velocidade constante
Baixa velocidade
Supervelocidade

Figura 7-23 Diagrama da operação do governador da hélice.

Regulando o governador das hélices

O governador da hélice incorpora um batente ajustável, o qual limita a velocidade máxima em que o motor deve girar.

Logo que a rotação de decolagem é atingida, a hélice se move do batente de passo mínimo. O grande ângulo da pá da hélice aumenta a carga no motor, mantendo, então, a prevista velocidade máxima do motor.

No momento da instalação da hélice, governador da hélice ou do motor, os seguintes itens são normalmente observados, para assegurar que o grupo motopropulsor obterá a rotação de decolagem.

1. Durante o aquecimento no solo, mover a manete para a posição de decolagem, e anotar as rotações por minuto (r.p.m,) resultantes e pressão de admissão.
2. Se as r.p.m. obtidas forem maiores ou menores do que as r.p.m. previstas para a decolagem, pelas instruções do fabricante, reajustar o batente do governador até que a rotação prevista seja obtida.

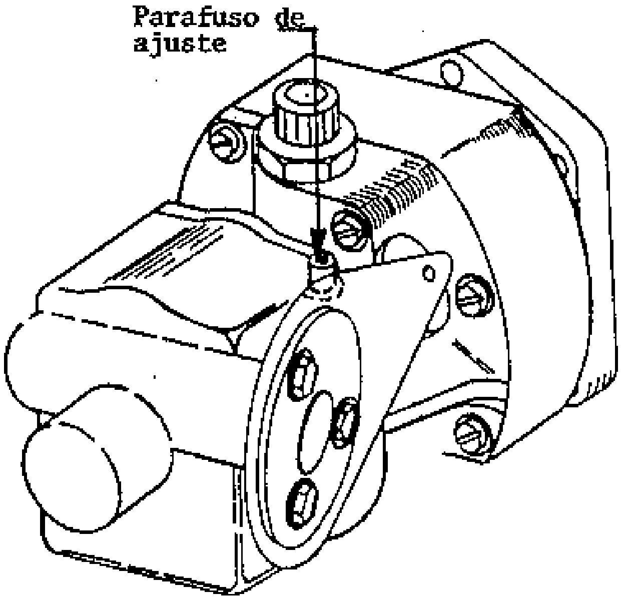

Parafuso de ajuste

Figura 7-24 Parafuso de ajustagem das RPM da hélice.

SINCRONIZAÇÃO DAS HÉLICES

A maior parte das aeronaves quadrimotoras, e muitas trimotoras, são equipadas com sistemas de sincronização da rotação do motor.

A sincronização reduz a vibração, e elimina o desconforto produzido pela operação não sincronizada das hélices. Existem vários tipos de sistemas sincronizadores em uso.

Motor mestre sincronizador

Os primeiros tipos, ainda em uso em algumas aeronaves, consistem de uma unidade mestre sincronizadora, quatro alternadores, um tacômetro, alavancas de controle da rotação do motor, interruptores e fiação.

Esses componentes automaticamente controlam a velocidade de cada motor, e sincronizam todos eles a uma determinada rotação por minuto (r.p.m).

Uma unidade mestre sincronizadora incorpora um motor mestre, o qual, mecanicamente, gira quatro unidades contatoras; cada uma delas está eletricamente conectada com um alternador.

O alternador é um pequeno gerador trifásico de corrente alternada, acionada pela seção de acessórios do motor. A frequência da voltagem produzida pelo gerador é diretamente proporcional a velocidade da seção de acessórios do motor. Na operação automática, a desejada r.p.m. pode ser calibrada pelo ajuste manual da hastes de controle da r.p.m., até que um indicador mestre no painel de instrumentos indique a desejada r.p.m.

Qualquer diferença em r.p.m., entre um motor e o motor mestre, causará à unidade contactora correspondente, operar o mecanismo de mudança de passo da hélice até que ela esteja em velocidade constante, exatamente na desejada r.p.m.

Sistema do motor mestre

Os sistemas sincronizadores são também instalados em aeronaves leves bimotoras. Tipicamente, os sistemas semelhantes consistem de um governador especial da hélice no motor esquerdo, um governador escravo no motor direito, uma unidade de controle sincronizadora e um atuador na nacele do motor direito.

Os governadores da hélice são equipados com dispositivos magnéticos, que contam as rotações da hélice, e mandam um sinal para a unidade sincronizadora.

O sincronizador, o qual é normalmente uma unidade transistorizada, compara o sinal vindo dos dois dispositivos magnéticos dos governadores das hélices.

Se os dois sinais forem diferentes, as hélices estão fora de sincronização, - e o controle sincronizador gera um impulso de corrente contínua (c.c.)-, que é enviado para a unidade da hélice escrava.

O sinal do controle é enviado para um atuador, que consiste de dois solenóides rotativos montados, para operar em um eixo comum. Um sinal para aumentar a r.p.m. da hélice escrava é mandado para um dos solenóides, o qual gira o eixo no sentido dos ponteiros do relógio. Um sinal para diminuir a r.p.m. é mandado para o outro solenóide, que moverá o eixo na direção oposta.

Cada sinal pulsativo gira o eixo uma quantidade fixa. Esta distância é chamada de "clic". Um cabo flexível ligado ao eixo tem a sua outra extremidade ligada a uma unidade de compensação. A ação de ajuste fino (Vernier) da unidade de compensação regula o braço do governador.

SISTEMA DE CONTROLE DO GELO NA HÉLICE

Efeitos do gelo na hélice

A formação de gelo em uma pá da hélice, com efeito, produz uma seção distorcida do aerofólio da pá, causando uma perda na eficiência da hélice. Geralmente, o gelo é coletado assimetricamente na pá da hélice, produzindo desbalanceamento e destrutiva vibração.

Sistemas de fluidos

Um típico sistema (figura 7-25) inclui um tanque para manter um suprimento de fluido antigelo. Este fluido é forçado para cada hélice por uma bomba.

O sistema de controle permite variação na razão de bombeamento, sendo assim, a quantidade de fluido liberado para uma hélice pode ser variada, dependendo da severidade do congelamento. O fluido é transferido de um esguicho fixo, na parte frontal do motor, dentro de um canal em "U" de um disco (anel tubular) montado na parte traseira do conjunto da hélice. O fluido sob pressão da força centrífuga é transferido para cada espiga da pá.

Em virtude do fluxo de ar ao redor da espiga da pá ter a tendência de dispersar o fluido antigelo, para as áreas onde o gelo não foi coletado em grande quantidade, são instaladas botas ou sapatas no bordo de ataque da pás. Essas sapatas são estreitas tiras de borracha estendidas, desde a base da pá até uma estação da pá, situada a 75% aproximadamente do raio da hélice.

As sapatas são moldadas com vários canais paralelos, nos quais o fluido é espalhado da raiz da pá na direção da ponta pela força centrífuga. O fluido segue lateralmente dos canais sobre o bordo de ataque das pás.

O álcool isopropílico é usado em alguns sistemas de antigelo, devido a facilidade de obtenção e o baixo custo. Compostos fosfatados são comparáveis ao álcool isopropílico no desempenho do antigelo, e têm a vantagem de não serem tão inflamáveis.

No entanto, os compostos fosfatados são relativamente caros e, em conseqüência, não são usados com frequência.

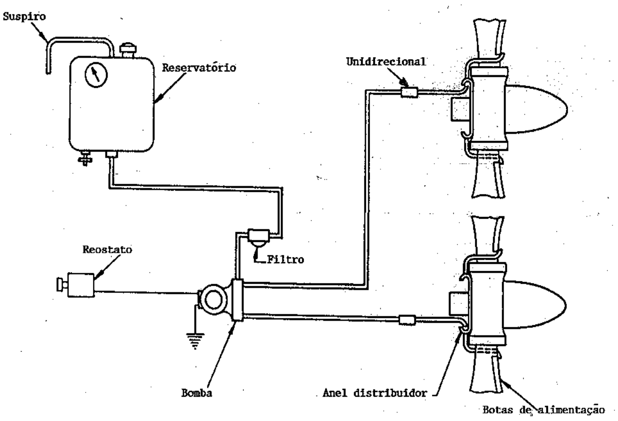

Suspiro
Reservatório
Unidirecional
Reostato
Filtro
Bomba
Anel distribuidor
Botas de alimentação

Figura 7-25 Sistema típico de antigelo da hélice por meio de fluido.

Sistemas elétricos de degelo

Um sistema elétrico de controle do gelo da hélice (figura 7-26) consiste basicamente de uma fonte de energia, um elemento de resistência de aquecimento, controles do sistema e a necessária fiação.

Os elementos de aquecimento são montados interna ou externamente no cone e nas pás. A energia elétrica vinda do sistema da aeronave é transferida para o cubo através de condutores elétricos, os quais terminam em anéis e buchas. Conectores flexíveis são usados para transferir força do cubo para os elementos das pás.

O controle de gelo é completado pela conversão da energia elétrica em energia calorífica nos elementos de aquecimento. A remoção do gelo das pás deve ser obtida de forma equilibrada, se uma vibração excessiva precisar ser evitada.

Para se obter remoção balanceada de gelo, a variação da corrente de aquecimento nos elementos da pá é controlada, para que efeitos semelhantes de aquecimento sejam obtidos nas pás em posições opostas.

Os sistemas de degelo elétricos normalmente são designados para uma aplicação intermitente de força para o aquecimento dos elementos, a fim de remover a formação de gelo antes de uma excessiva acumulação.

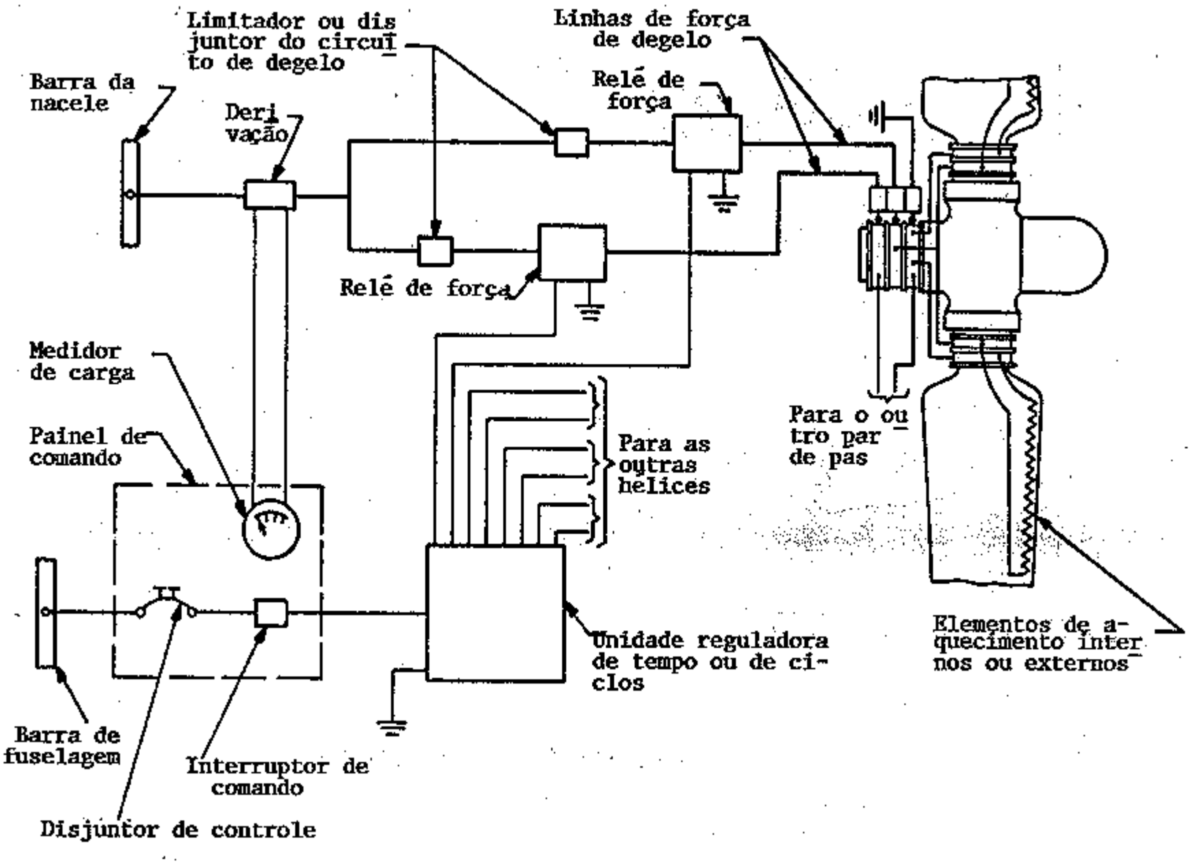

Limitador ou dis
juntor do circui
to de degelo
Linhas de força
de degelo
Barra da
nacele
Deri
vação
Relé de
força
Relé de força
Medidor
de carga
Painel de
comando
Para as
outras
hélices
Para o ou
tro par
de pas
Elementos de a-
quecimento inter
nos ou externos
Unidade reguladora
de tempo ou de ci-
clos
Barra de
fuselagem
Interruptor de
comando
Disjuntor de controle

Figura 7-26 Sistema elétrico típico de degelo.

Um adequado controle de aquecimento em intervalos ajuda a evitar um novo acúmulo, porque o aquecimento é aplicado no tempo suficiente para derreter a camada de gelo em contato com a pá.

Se o calor fornecido para derreter o gelo de uma superfície for maior do que o necessário, mas insuficiente para evaporação de toda a água formada, esta água retornará a superfície não aquecida e congelará. Retornos desta natureza causam formação de gelo em áreas da pá, ou da superfície da hélice não controladas pelo sistema.

Temporizadores de ciclagem são usados para energizar o aquecimento dos elementos do circuito por período de 15 a 30 segundos, com um ciclo completo de 2 minutos. O temporizador de ciclagem é um contator girado por um motor elétrico, o qual controla a força dos contatores em seções separadas do circuito.

Os controles para os sistemas elétricos de degelo da hélice incluem interruptores (ON-OFF), amperímetros ou medidores de carga para indicar a corrente nos circuitos, e dispositivos de proteção, tais como limitadores de corrente ou disjuntores.

Os amperímetros ou medidores de carga permitem monitorar a corrente dos circuitos individuais, e refletem a operação do temporizador.

Para evitar o superaquecimento dos elementos, o sistema de degelo da hélice é geralmente usado somente quando a hélice estiver girando, e por pequenos períodos de tempo durante o aquecimento do motor no solo.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DA HÉLICE

As exigências para inspeção da hélice, e os procedimentos de manutenção discutidos nesta seção, são representativos daqueles em uso constante na maioria das hélices descritas neste capítulo.

Não foram incluídos detalhes dos procedimentos de manutenção para uma determinada hélice, e, todas as pressões, figuras e medidas são apenas com a finalidade de ilustração e não têm aplicação específica. Para informações de manutenção de uma hélice específica, sempre devem ser observadas as aplicáveis instruções do fabricante.

Inspeção da hélice

As hélices devem ser inspecionadas regularmente. O exato intervalo de tempo para a inspeção de uma hélice em particular, normalmente é especificado pelo fabricante daquela hélice.

A inspeção diária regular da hélice varia de um tipo para o outro.

Tipicamente ela é uma inspeção visual das pás da hélice, do cubo, controles e acessórios, quanto a segurança, proteção e condições gerais.

A inspeção visual das pás não é apenas uma descuidada ou casual observação. A inspeção deve ser meticulosa o bastante para detectar qualquer falha ou defeitos que possam existir.

As inspeções executadas em grandes intervalos de tempo, por exemplo, 25, 50 ou 100 horas, normalmente incluem um cheque visual de:

1. Pás, cones e outras superfícies externas por excessivo acúmulo de óleo ou graxa.
2. Seções soldadas das pás e cubos por evidência de falhas.
3. Pás, cones e cubos quanto a cortes, arranhões e outros defeitos. Usa-se uma lente de aumento se necessário.
4. Parafusos de fixação do cone e da cúpula quanto a aperto.
5. O nível de óleo do sistema de lubrificação quando aplicável.

Se a hélice for envolvida em um acidente, e existir a possibilidade de terem ocorrido danos internos, ela deverá ser desmontada e inspecionada.

Sempre que uma hélice for removida de um eixo, os alojamentos dos cones, bem como as outras partes de contato, deverão ser examinadas para detectar desgastes indevidos, atritos ou corrosão.

Durante uma revisão maior, a hélice é desmontada, e todas as partes são inspecionadas e checadas quanto a medidas, tolerâncias e desgaste.

Uma inspeção magnética, ou outro tipo de teste não destrutível, é normalmente feito nesta ocasião para determinar se alguma rachadura por fadiga tenha sido desenvolvida nos conjuntos e nos componentes de aço.

VIBRAÇÃO DA HÉLICE

Quando houver vibração em um grupo motopropulsor, algumas vezes é difícil determinar se a vibração é do motor ou se é da hélice. Na maioria dos casos, a causa da vibração pode ser determinada pela observação do cubo, cúpula ou cone, enquanto o motor estiver girando entre 1.200 a 1.500 rotações por minuto (r.p.m.), e determinando se o cubo da hélice gira em um plano absolutamente horizontal.

Se o cubo da hélice aparenta oscilar em uma pequena órbita, a vibração poderá normalmente ser causada pela hélice. Se o cubo não aparenta estar girando em órbita, o problema, provavelmente, está sendo causado pela vibração do motor.

Quando a vibração da hélice for a razão da excessiva vibração do grupo motopropulsor, o problema poderá ser causado pela falta de balanceamento das pás, centralização das pás incorreta ou variação do ângulo das pás. Checar a centralização das pás e a seleção do passo mínimo delas, para determinar se estas são as causas da vibração. Se tanto a centralização como o passo mínimo estiverem corretos, a hélice deverá estar estaticamente, ou dinamicamente, desbalanceada, e deverá ser substituída ou rebalanceada se for permitido pelo fabricante.

CENTRALIZAÇÃO DAS PÁS

Centralização das pás é o processo de determinar a posição das pontas das pás relativamente umas com as outras. A centralização indica somente a relativa posição das pás, e não a sua verdadeira trajetória.

As pás deverão alinhar umas com as outras tão próximo quanto possível. A diferença de alinhamento em posições semelhantes não devem exceder a tolerância especificada pelo fabricante da hélice.

O projeto e a fabricação das hélices é de tal modo que as pontas das pás darão uma boa indicação de centralização. O seguinte método de verificação é normalmente usado.

1. Instalar um arame duro ou pequena vareta no bordo de ataque da asa, ou em outra área conveniente da aeronave, até que ela toque ligeiramente a face da pá próxima da ponta (ver a figura 7-27).

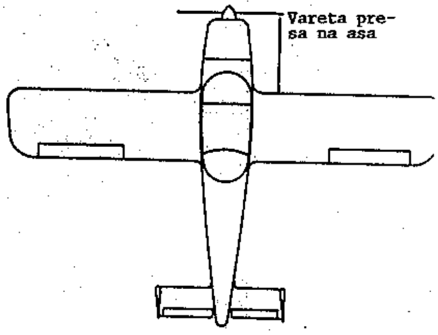


Figura 7-27 Checando a centralização das pás.

2. Girar a hélice até que a próxima pá esteja na mesma posição da primeira, e medir a distância entre a vareta e a pá. Continuar este processo até que todas as pás tenham sido checadas.

CHECANDO E AJUSTANDO OS ÂNGULOS DAS PÁS

Quando for colocado um ângulo da pá inadequado durante a instalação, ou for indicado pelo desempenho do motor, a seguinte seqüência de manutenção é normalmente seguida:

1. Obter das instruções do fabricante a seleção do ângulo da pá e a estação, na qual o ângulo da pá é checado. Não usar riscador metálico ou qualquer outro instrumento cortante ou pontiagudo para marcar a localização da estação da pá, ou para marcar linhas de referência na pá da hélice, porque qualquer arranhão pode, eventualmente, resultar em falha.

2. Usar um transferidor universal para checar os ângulos da pá enquanto a hélice estiver no motor.

Uso do transferidor universal da hélice

O transferidor universal pode ser usado para checar os ângulos da pá quando a hélice estiver na bancada de balanceamento ou instalada no motor de uma aeronave.

A figura 7-28 mostra as partes e os ajustes de um transferidor universal de hélice.

As seguintes instruções para uso do transferidor aplicam-se a uma hélice instalada em um motor. Gira-se a hélice até que a primeira pá a ser checada esteja na horizontal, e com o bordo de ataque para cima.

Coloca-se o "nível de bolha de canto" (figura 7-28) a 90º da face do transferidor. As escalas de graus e a vernier são alinhadas, girando o disco de ajuste antes dele ser travado ao anel.

O mecanismo de travamento é um pino que fica mantido na posição engrazado por ação de mola. O pino pode ser solto, sendo puxado para fora e girado a 90º.

Solta-se a trava do anel na moldura (uma porca com rosca direita, girada com os dedos) e gira-se o anel, até que, tanto o anel quanto o disco, estejam zerados na parte superior do transferidor.

Checa-se o ângulo da pá pela determinação de quanto o lado plano é inclinado do plano de rotação.

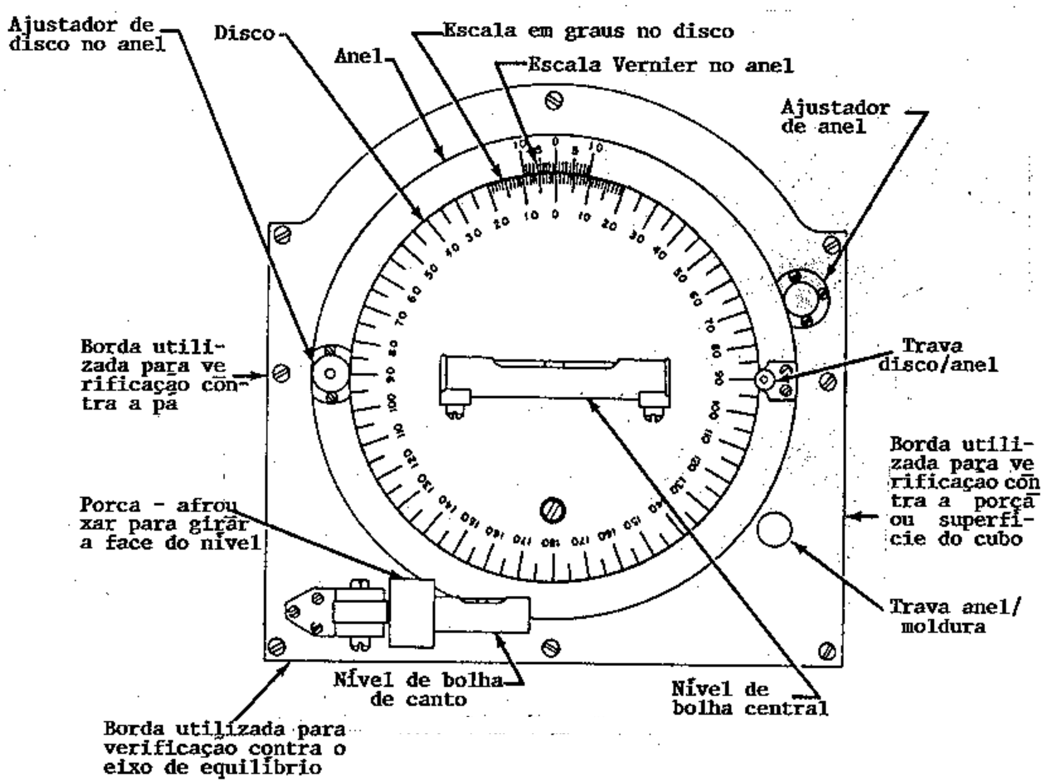

Ajustador de disco no anel
Disco
Anel
Escala em graus no disco
Escala Vernier no anel
Ajustador de anel
Borda utilizada para verificação contra a pá
Trava disco/anel
Borda utilizada para verificação contra a porça ou superfície do cubo
Porca - afrouxar para girar a face do nível
Trava anel/moldura
Nível de bolha de canto
Nível de bolha central
Borda utilizada para verificação contra o eixo de equilíbrio

Figura 7-28 Transferidor Universal.

Primeiro, localiza-se o ponto que representa o plano de rotação, colocando o transferidor verticalmente de encontro a porca do cubo, ou qualquer superfície convenientemente conhecida, como estando no plano de rotação da hélice.

O transferidor é mantido na vertical pelo nível de bolha de canto, e o anel de ajuste é girado até que o nível do centro esteja na horizontal. Isto seleciona o zero da escala vernier em um ponto que representa o plano de rotação da hélice. Então, trava-se o anel na moldura.

Mantendo o transferidor na mão, com a parte curva para cima, solta-se a trava disco-anel.

Coloca-se o bordo dianteiro na vertical (o bordo oposto ao que foi usado anteriormente) de encontro a pá, na estação especificada nas instruções do fabricante.

O transferidor permanece na vertical pelo nível de bolha de canto, e o disco de ajuste é girado até que o nível de bolha central esteja na horizontal. O número de graus e décimos de graus entre os dois zeros indica o ângulo da pá.

Na determinação do ângulo da pá, dez pontos da escala vernier são iguais a nove pontos na escala de graus. A graduação na escala vernier representa décimos de um grau, mas aqueles da escala de graus representam graus inteiros.

O número de décimos de um grau no ângulo da pá é dado pelo número de espaços da escala vernier, entre o zero da escala e a linha desta, estando em perfeito alinhamento com uma linha da escala graduada em graus. Esta leitura deverá ser feita sempre na escala vernier. A escala vernier aumenta na mesma direção em que a escala do transferidor aumenta. Isto é oposto à direção de rotação do elemento móvel do transferidor.

Depois de se fazer qualquer ajuste necessário na pá, trava-se na posição e a mesma operação para as pás restantes da hélice é repetida.

BALANCEAMENTO DA HÉLICE

Uma hélice desbalanceada estática, ou dinamicamente, torna-se uma fonte de vibração na aeronave. O desbalanceamento estático ocorre quando o centro de gravidade da hélice não coincide com o eixo de rotação.

O desbalanceamento dinâmico resulta quando o centro de gravidade dos elementos semelhantes da hélice, como as pás ou os contrapesos, não seguem o mesmo plano de rotação.

Como o comprimento do conjunto da hélice, ao longo do eixo do motor, é pequeno em comparação com o seu diâmetro, e como as pás são fixadas ao cubo, eles estão no mesmo plano perpendicular ao eixo de rotação.

O desbalanceamento dinâmico, resultante da imprópria distribuição de massa é desprezível, com a condição de que a tolerância de centralização seja encontrada.

Um outro tipo de desbalanceamento da hélice é o aerodinâmico, que resulta quando a potência das pás for desigual. Este tipo de desbalanceamento pode ser amplamente eliminado pelo cheque do contorno da pá e seleção do seu ângulo.

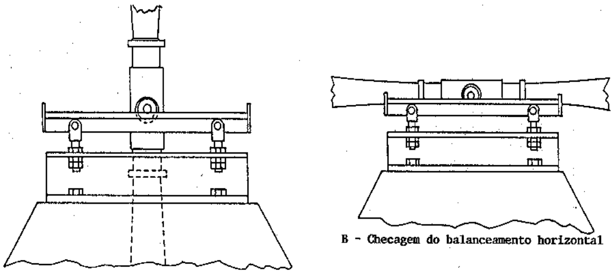
Balanceamento estático

O balanceamento estático pode ser feito pelo método de suspensão ou pelo método de fio-de-faca.

No método de suspensão, a hélice, ou parte dela, é suspensa por uma corda; e qualquer desbalanceamento é determinado pela verificação entre um disco firmemente fixado na corda e um cilindro fixado ao conjunto ou parte que está sendo testada. O método de suspensão é usado com menor frequência do que o simples e mais acurado método fio-de-faca.

A bancada do teste tipo fio-de-faca (figura 7-29) tem duas lâminas de aço endurecido, montadas de modo a permitir a livre rotação de um conjunto de hélice entre eles.

A bancada de teste fio-de-faca deve estar localizada em um recinto ou área que esteja livre de qualquer corrente de ar, e de preferência sem qualquer fonte de forte vibração.


A - Checagem do balanceamento vertical

B - Checagem do balanceamento horizontal

Figura 7-29 Posições de uma hélice de duas pás durante a checagem do balanceamento.

O método padronizado de checar o balanceamento de um conjunto de hélice, obedece a seguinte seqüência de operações:

1. Instalar um embuchamento no furo de passagem do eixo da hélice.
2. Instalar um mandril ou eixo através do embuchamento.
3. Colocar o eixo do conjunto da hélice, de modo que as extremidades do eixo sejam apoiadas sobre as lâminas da bancada de balanceamento fio-de-faca. A hélice deve ter uma rotação livre.

Se a hélice estiver propriamente balanceada, estaticamente, ela permanecerá em qualquer posição na qual for colocada. Um conjunto de hélice de duas pás é checado quanto ao balanceamento, em primeiro lugar, com as pás na posição vertical e, depois, na posição horizontal (figura 7-29).

A checagem da posição vertical com a outra pá é repetida, isto é, com a pá que foi checada na posição inferior agora colocada na posição superior.

A checagem de um conjunto de hélice de três pás é feito com cada pá colocada na posição vertical, como mostra a figura 7-30.

Durante uma checagem de balanceamento estático de uma hélice, todas as pás devem estar com o mesmo ângulo. Antes de se executar a checagem de balanceamento, cada pá deve ser colocada no mesmo ângulo.

A menos que haja outra especificação do fabricante, uma checagem aceitável de balanceamento requer que o conjunto da hélice não tenha a tendência de girar em qualquer uma das posições previamente descritas.

Se a hélice estiver perfeitamente equilibrada em todas as posições descritas, ela deverá também estar perfeitamente equilibrada em todas as posições intermediárias.

Quando necessário, checa-se o balanceamento nas posições intermediárias, para verificar as posições originais descritas.

Quando o conjunto da hélice é checado por balanceamento estático, e apresentar uma definida tendência de girar o conjunto, certas correções são permitidas para remover o desbalanceamento.

1. A colocação de pesos fixos permanentes em localizações aceitáveis, quando o peso total do conjunto da hélice ou das partes, estiverem dentro de limites aceitáveis.
2. A remoção de pesos de localizações aceitáveis, quando o peso total do conjunto da hélice ou das partes, forem iguais aos limites permissíveis.

A localização para remoção ou colocação de pesos para correção de hélices desbalanceadas são determinadas pelo fabricante da hélice. O método e o ponto de aplicação das correções do desbalanceamento devem ser checados, para confirmar se eles estão de acordo com as especificações do fabricante.

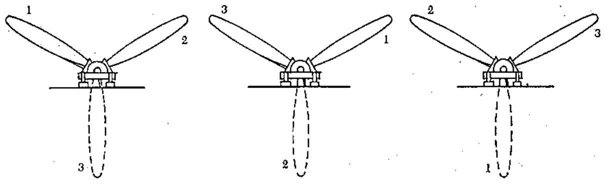


Figura 7-30 Posições das pás de uma hélice durante a checagem do balanceamento.

SERVIÇOS NAS HÉLICES

Os serviços nas hélices incluem limpeza, lubrificação e reabastecimento do suprimento de óleo.

Limpeza das pás da hélice

Pás e cubos de hélices de alumínio e de aço devem ser limpos pela lavagem das pás com um suave solvente de limpeza, usando um pincel ou um pano. Materiais ácidos ou cáusticos não deverão ser usados. Pó de polir, palha de aço, escovas de aço, ou qualquer outra ferramenta ou substâncias que possam arranhar ou estragar a pá deverão ser evitados.

Se um forte polimento é desejado, bons produtos comerciais de polir metais podem ser encontrados. Após completar a operação de polimento, todos os traços do polimento deverão ser removidos imediatamente. Quando as pás estiverem limpas, elas deverão ser cobertas com uma fina camada de óleo limpo de motor ou um equivalente apropriado.

Para limpar hélices de madeira, pode ser usada água morna e um sabão suave, juntos, com pincel ou pano.

Se uma hélice tiver sido submetida a água salgada, ela deverá ser lavada com água fresca até que todos os traços de sal tenham sido removidos. Isto deverá ser executado tão cedo quanto possível, independente de ser a hélice, ou suas partes, de liga de alumínio, aço ou madeira.

Após a lavagem, todas as partes deverão ser secadas completamente, e as partes de metal deverão ser cobertas com óleo limpo de motor ou um equivalente apropriado.

Lubrificação da hélice

As hélices hidramáticas que operam com o óleo do motor não requerem lubrificação. As hélices elétricas necessitam de óleos e graxas para a lubrificação do cubo e dos mecanismos de operação da mudança de passo.

Os procedimentos adequados de lubrificação da hélice, com as especificações do óleo e graxas, são normalmente indicados nas instruções do fabricante.

A experiência indica que algumas vezes a água penetra na hélice através do conjunto de rolamentos da pá em alguns modelos de hélices.

Por esta razão, os programas de lubrificação do fabricante da hélice devem ser seguidos para que seja assegurada uma lubrificação adequada nas partes móveis. Substituição de graxa, através de bicos de pressão (ZERKS), devem ser feitos de acordo com as instruções do fabricante.

O nível de óleo do reservatório deve ser checado em intervalos específicos, nas hélices que tenham reservatórios próprios ao sistema. Normalmente este tipo de hélice deve ter uma das pás (geralmente a número um) posicionada de tal modo que permita ver o nível de óleo em um visor na parte lateral do reservatório.

Extremo cuidado deve ser tomado quando se abastece o reservatório, a fim de evitar uma quantidade acima do previsto, e nunca ser utilizado um óleo não especificado.

TURBOÉLICE

A combinação de uma hélice, um conjunto de caixa de redução e um motor a turbina é chamado de conjunto motopropulsor turboélice. A hélice é operada por um motor de turbina a gás, através de um conjunto de caixa de redução.

O motor turboélice é usado em aeronaves, variando em tamanho, de grandes quadrimotores, de transporte aos executivos de tamanho médio e aeronaves bimotoras relativamente pequenas.

A discussão a seguir é dirigida a um turboélice, que consiste de componentes e conjuntos típicos da maioria das aeronaves turboélices.

Ao contrário do motor turbojato, que produz força propulsora diretamente, o turboélice produz impulso indiretamente, porque o compressor e a turbina fornecem torque para uma hélice, a qual, por sua vez, produz a maior parte da força propulsiva que desloca a aeronave.

O controle de combustível do turboélice e o governador são conectados e operam em coordenação um com o outro.

A manete de potência dirige um sinal, vindo da cabine ao controle de combustível para uma específica quantidade de força para o motor. O controlador do combustível e o governador da hélice juntas, estabelecem a correta combinação de r.p.m., fluxo de combustível e ângulo da pá da hélice para criar suficiente força de impulso.

O sistema de controle da hélice é dividido em dois tipos de controle: um para operação de vôo e outro para solo. Para vôo, o ângulo de pá da hélice e o fluxo de combustível para qualquer posição da manete, são governados automaticamente de acordo com um programa predeterminado.

Abaixo da posição de marcha lenta (flight idle) da manete de potência, a coordenada programação de r.p.m. e ângulo da pá, torna-se incapaz de manejar o motor eficientemente. Esta é a gama de solo também chamada de "limites Beta".

Nos limites Beta do quadrante das manetes, os ângulos da pá da hélice não são comandados pelo governador, mas sim pela posição da manete de potência. Quando esta manete é movida abaixo da posição de partida, o passo da hélice é revertido para fornecer tração reversa para uma rápida desaceleração da aeronave após o pouso. Uma característica do turboélice é que as mudanças de força não são relacionadas com a velocidade do motor, mas com a temperatura da entrada da turbina. Durante o vôo a hélice mantém constante a velocidade do motor. Esta velocidade é conhecida como 100% da rotação do motor, e ela é considerada como a velocidade na qual a maior força e o melhor desempenho global pode ser obtido.

As mudanças de potência são efetuadas pela variação do fluxo de combustível. Um aumento no fluxo de combustível causa um aumento na temperatura da entrada da turbina, e um correspondente aumento da energia disponível. A turbina absorve mais energia e a transmite para a hélice na forma de torque. A hélice para poder absorver o aumento de torque, aumenta o ângulo da pá, mantendo assim uma velocidade constante no motor.

O sistema de controle do torque negativo (NTS) mostrado na figura 7-31 proporciona um sinal que aumenta o ângulo da pá da hélice para limitar o torque negativo do eixo. Quando um predeterminado torque negativo é aplicado na caixa de engrenagens de redução, a engrenagem anel estacionária é movida contra a ação de mola, devido a reação de torque gerada pelo setor de estrias helicoidais.

No movimento para a frente, a engrenagem anel empurra duas hastes de acionamento, através da parte dianteira da caixa de engrenagens. Uma, ou ambas as hastes, podem ser usadas para enviar o sinal à hélice e iniciar um aumento do ângulo da pá da hélice. Esta ação (na direção de aumento do ângulo) continua até que o torque negativo seja cancelado, resultando no retorno da hélice para a operação normal.

O sistema de torque negativo funciona quando as seguintes condições de operação do motor são encontradas: temporária interrupção do combustível, cargas de ar em rajada na hélice, descida normal com baixa programação de combustível, condições de alta sangria de ar do compressor com baixa seleção de potência; e durante o corte normal do motor.

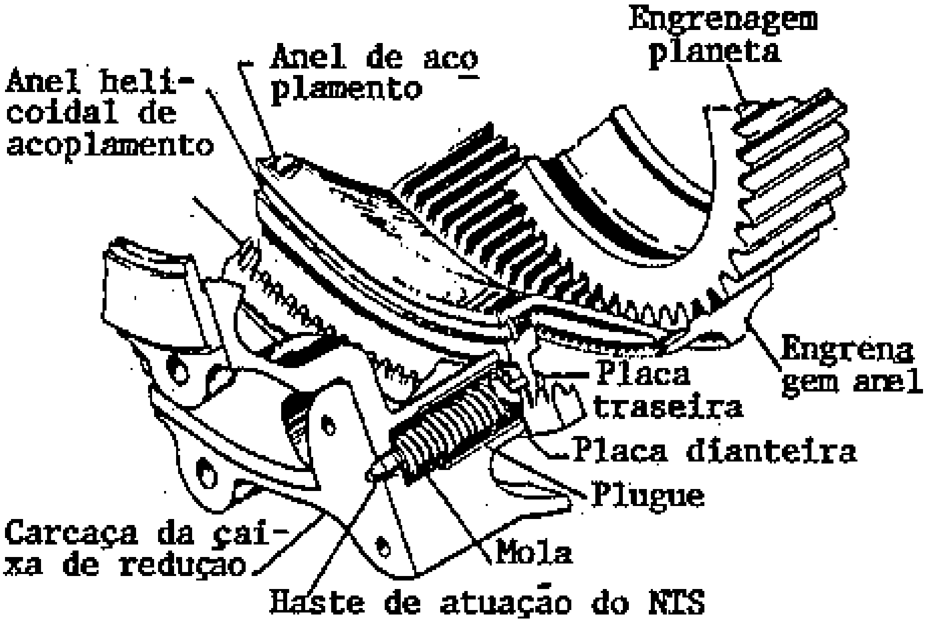

Engrenagem planeta
Anel de acoplamento
Anel helicoidal de acoplamento
Engrenagem anel
Placa traseira
Placa dianteira
Plugue
Carcaça da caixa de redução
Mola
Haste de atuação do NTS

Figura 7-31 Componentes do sinal de torque negativo.

O sinal sensitivo de potência (TSS) é um dispositivo de segurança que atua embandeirando a hélice. Se houver perda de potência durante a decolagem, o arrasto da hélice é limitado para aquele de uma hélice embandeirada, reduzindo o perigo de uma guinada em uma aeronave multimotora.

Este equipamento automaticamente aumenta o ângulo da pá e ocasiona o embandeiramento da hélice.

O sistema TSS consiste de um conjunto interruptor montado externamente no lado direito da caixa de engrenagens de redução. Um pino se estende atuando um interruptor na parte interna da caixa de engrenagens. Uma mola força o pino contra a alavanca do sistema de sinal de potência, montada dentro da caixa de engrenagens, e comanda o anel externo do rolamento de força do eixo da hélice.

Quando a potência positiva da hélice excede um predeterminado valor, o eixo e o rolamento de esfera movem-se para frente comprimindo duas molas, localizadas entre os conjuntos de potência e do rolamento.

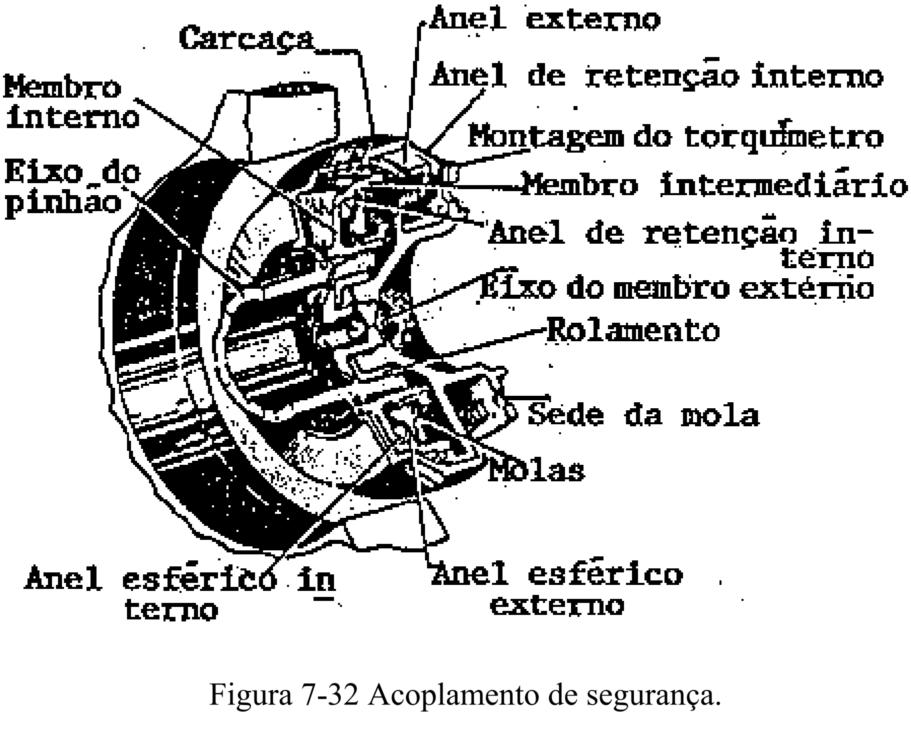

Carcaça
Anel externo
Membro interno
Anel de retenção interno
Montagem do torquímetro
Eixo do pinhão
Membro intermediário
Anel de retenção interno
Eixo do membro externo
Rolamento
Sede da mola
Molas
Anel esférico interno
Anel esférico externo

Figura 7-32 Acoplamento de segurança.

A alavanca do sinal de potência segue o anel externo, e o sistema TSS move-se para a parte interna anterior da caixa de engrenagens. O sistema de TSS é então armado para a decolagem e a operação automática.

Em qualquer tempo subseqüente, quando a potência da hélice diminui abaixo de um determinado valor, a força da mola movimenta o eixo da hélice para trás. Quando isto ocorre, o pino do TSS move-se para fora, energizando o sistema de embandeiramento automático. Isto comanda a hélice par aumentar o ângulo da pá.

Um acoplamento de segurança (figura 7-32) desengraxa a caixa de redução da unidade de força, se esta unidade estiver operando acima de um prefixado valor de torque negativo, consideravelmente maior do que o requerido para atuar o NTS.

O acoplamento consiste essencialmente de um membro interno, estriado para o eixo do pinhão; um outro membro aparafusado na extensão do eixo; e um membro intermediário, conectado ao membro interno através de dentes helicoidais e de um membro interno através de dentes retos.

A reação dos dentes helicoidais movem o membro intermediário para a frente, provocando o engraxamento quando um torque positivo for aplicado, e para trás quanto um torque negativo for aplicado. Então, quando um predeterminado torque negativo for excedido, os membros do acoplamento se desengraxam automaticamente.

O reengraxamento é também automático durante o embandeiramento, ou corte da unidade de força. O acoplamento de segurança somente opera quando houver um torque negativo excessivo.

Conjunto de engrenagens de redução

Um conjunto de engrenagens de redução é mostrado na figura 7-33. Ele incorpora um eixo de hélice simples, um sistema de NTS, um sistema de TSS, um acoplamento de segurança, um freio da hélice, um sistema de óleo, de cárter seco independente, e o necessário sistema de engrenagens.

O freio da hélice (figura 7-33) é destinado a impedir a sua rotação livre, quando estiver embandeirada em vôo, e para diminuir o tempo que a hélice leva em parar totalmente após o corte do motor.

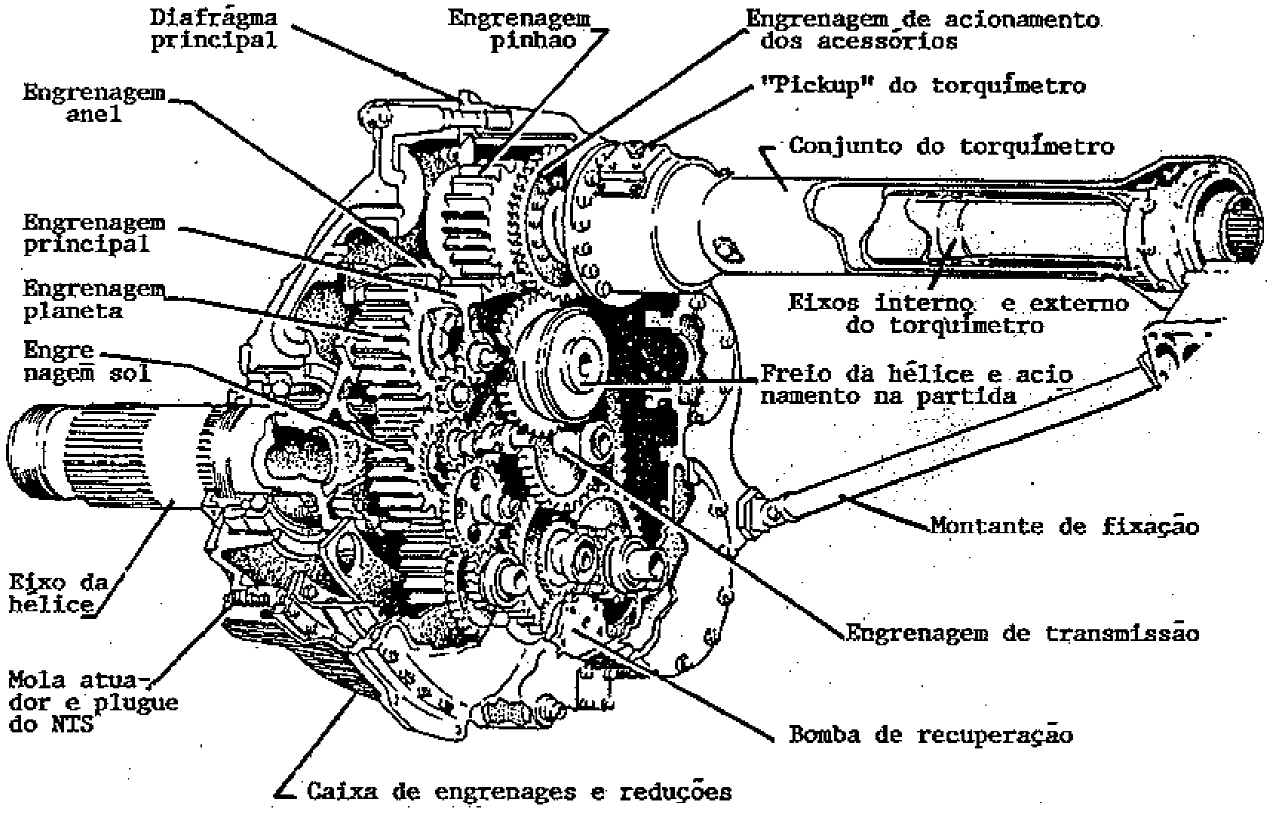

Diafrágma principal
Engrenagem pinhao
Engrenagem de acionamento dos acessórios
"Pickup" do torquímetro
Conjunto do torquímetro
Engrenagem anel
Engrenagem principal
Engrenagem planeta
Engre nagem sol
Eixos interno e externo do torquímetro
Freio da hélice e acio namento na partida
Montante de fixação
Eixo da hélice
Engrenagem de transmissão
Mola atuador e plugue do NTS
Bomba de recuperação
Caixa de engrenages e reduções

Figura 7-33 Caixa de redução e torquímetro.

O freio da hélice é do tipo cone de fricção, consistindo de um membro interno estacionário e um membro externo rotativo, o qual, quando travado, atua sobre o primeiro estágio das engrenagens de redução.

Durante a operação normal do motor, a pressão do óleo da caixa de redução mantém o freio na posição aliviada. Isto é executado pela pressão do membro interno. Quando a hélice é embandeirada, e no corte do motor, a pressão de óleo da caixa de redução cai a zero, a efetiva força hidráulica diminui; e a força de uma mola faz com que o membro externo entre em contato com o interno.

A unidade de força gira o conjunto das engrenagens de redução através de um eixo de extensão e um conjunto de torquímetro. O conjunto de engrenagens de redução é fixado à unidade de força pela carcaça do torquímetro, a qual serve como suporte inferior e um par de tirantes, como suportes superiores.

A fixação dos tirantes auxilia o transporte dos momentos e forças produzidas pela hélice e engrenagens de redução. As extremidades dianteiras dos tirantes têm pinos concêntricos que são estriados para o travamento. Estes pinos ajustam o tamanho dos tirantes para compensar as tolerâncias de fabricação na carcaça do eixo de comando e partes de interconexão.

Conjunto turboélice

O turboélice proporciona um eficiente e flexível meio de utilização da potência produzida pelo motor a reação. O conjunto da hélice (figura 7-34), juntamente com o conjunto de controle, mantém uma constante r.p.m. do motor em qualquer condição de marcha lenta de vôo (alcance alfa).

Para operações de solo e reversão (alcance beta), a hélice pode ser operada para proporcionar empuxo zero ou negativo.

Os maiores subconjuntos da hélice são o cubo, a cúpula, conjunto do batente do passo mínimo, conjunto regulador da trava do passo, conjunto das pás e conjunto de anéis de contato de degelo.

O conjunto de controle (figura 7-34) é um conjunto fixo montado na extensão traseira do cubo da hélice.

Ele contém o reservatório de óleo, bombas, válvulas e dispositivos de controle que suprem o mecanismo de mudança de passo com força hidráulica, com adequada amplitude e direção, para variação do passo nas condições de operação selecionadas.

O conjunto de controle contém o conjunto de buchas para transmissão da força elétrica aos anéis do sistema de degelo.

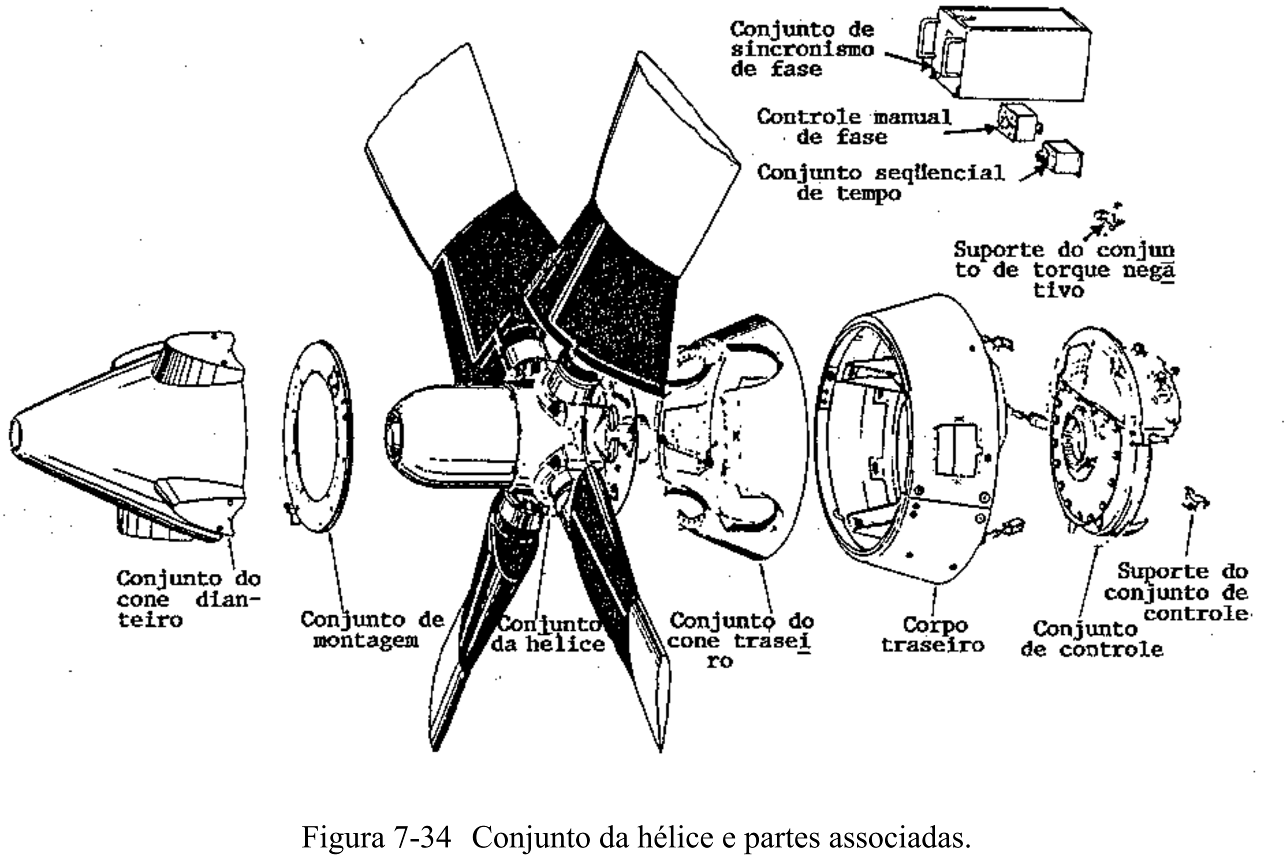

Conjunto de sincronismo de fase
Controle manual de fase
Conjunto seqüencial de tempo
Suporte do conjunto de torque negativo
Conjunto do cone dianteiro
Conjunto de montagem
Conjunto da hélice
Conjunto do cone traseiro
Corpo traseiro
Conjunto de controle
Suporte do conjunto de controle

Figura 7-34 Conjunto da hélice e partes associadas.

O conjunto do cone envolve o cubo e a cúpula, dando-lhes a forma aerodinâmica para reduzir o arrasto; e também permite a entrada do ar que proporciona a refrigeração do óleo usado no controle da hélice.

A parte traseira do conjunto do cone é um componente fixo, montado na caixa de engrenagens de redução do motor para envolver o conjunto de controle. Junto com o cone, esta parte traseira permite um fluxo de ar para a macele do motor.   O sistema de sincronismo de fase é destinado a manter uma preestabelecida relação angular entre a hélice designada como mestre e as hélices escravas. As três unidades principais deste sistema são o gerador pulsativo, o sincronizador eletrônico e o conjunto seguidor de velocidade.

O controle manual de fase permite a pré-seleção do relacionamento do desejado ângulo de fase entre a hélice mestre e as escravas, e um ajuste fino da velocidade do motor selecionado como mestre. Este ajuste fino permite uma ajustagem de aproximadamente um por cento a mais ou a menos (± 1%) na velocidade do motor mestre.

A operação da hélice é controlada por uma ligação mecânica da manete de potência no console da cabine, e pelo punho de corte do motor em emergência (caso a aeronave esteja equipada com um) para o coordenador, o qual, por sua vez é ligado à haste de entrada do controle da hélice.

O limite não governado, ou de taxi, que compreende da posição do "reverso" até a "marcha lenta de vôo" (indexadas no coordenador como de 0º a 34º incluindo a posição de "marcha lenta de solo") é denominado de limite beta. O limite governado, ou de vôo, que compreende da posição "marcha lenta de vôo” até a posição de "decolagem" (indexadas no coordenador como de 34º a 90º) é denominada de limite alfa. A porção restante do segmento do coordenador (indexadas de 90º até a posição "bandeira" refere-se apenas ao embandeiramento).

O controle dos limites beta para o manejo de solo é inteiramente hidromecânico, e é obtido pela introdução de um sistema de haste e ressalto que opera a válvula piloto.

Um eixo de ressaltos (eixo alfa) se movimenta em resposta dos comandos da manete de potência, e estabelece o desejado ângulo da pá (limite beta). O outro eixo de ressaltos (eixo beta) é operado por um comando de retorno da pá. Sua posição fornece um sinal da posição atual da pá nos limites beta.

Também, a válvula piloto é movimentada pela ação recíproca desses ressaltos e alavancas para medir o óleo, tanto para o passo máximo como para o mínimo, para que o atual ângulo da pá esteja em harmonia com o ângulo programado.

Nos limites beta (abaixo da marcha lenta de vôo) a ação de governo da hélice está bloqueada, desde uma supervelocidade, que poderá resultar em movimento do ângulo da pá em direção errada, se ela estiver nos limites do reverso.

Quando a manete de potência é movida solicitando um ângulo de pá abaixo da marcha lenta de vôo, o ressalto de velocidade (no eixo alfa) aumenta a força da mola. Isto mantém a válvula piloto em uma condição de baixa velocidade contra o sistema da manete, até que o programado ângulo da pá seja atingido.

O governo da velocidade constante é executado por um governador atuado por contrapesos. Os contrapesos e a válvula piloto são girados, através de engrenagens, pela rotação da hélice.

Nos limites alfa, o governador é ajustado para 100% r.p.m. pela seleção do ressalto de velocidade (no eixo alfa), e a válvula piloto fica livre para mover-se em resposta das condições de velocidade.

O embandeiramento é iniciado pelo botão de bandeira, punho de corte do motor em emergência (punho de fogo), ou pelo sistema de embandeiramento automático. O embandeiramento é executado hidraulicamente por uma válvula de bandeira, a qual desvia outras funções de controle e rotas de mudança de passo, enviando óleo diretamente para a hélice. A operação de embandeiramento é separada de todas as funções normais de controle. A pressão vinda da linha de fornecimento da bomba é dirigida através dos controles da válvula de bandeira, antes de ir para a válvula piloto e para as válvulas de regulagem principal e reserva.

Do mesmo modo, a saída da válvula piloto, tanto para a diminuição como para o aumento do passo, é dirigido através da válvula de bandeira.

Quando a válvula é posicionada para o embandeiramento, a linha da bomba é conectada diretamente com a linha de aumento de passo. Isto isola a linha da hélice do restante do sistema de controle e fecha o desvio da bomba de reserva.

O normal embandeiramento é iniciado pelo comando do botão de bandeira. Esta ação envia corrente para a bobina de retenção do interruptor de embandeiramento, bomba auxiliar, e para o solenóide de bandeira, – o qual posiciona a válvula de bandeira, embandeirando a hélice.

Quando a hélice estiver totalmente embandeirada, a pressão de óleo aumenta, operando um interruptor de corte por pressão que irá desenergizar a bomba auxiliar e o solenóide de bandeira, através de um sistema de relê.

O embandeiramento pode também ser executado pelo comando do punho de corte do motor em emergência, ou pelo interruptor na posição de "corte" ("*shutdown*"). Esta ação, mecanicamente posiciona a válvula de bandeira e energiza, eletricamente, o botão de embandeiramento, mandando a hélice para o total bandeira.

O sistema de auto-bandeira automaticamente energiza a bobina de retenção (puxando o botão de bandeira), quando a perda de potência do motor resultar em perda de tração da hélice a um determinado valor. Este sistema é armado por um interruptor para uso durante a decolagem, e somente funciona quando a manete de potência estiver próxima ou na posição de "decolagem".

O dispositivo de NTS automaticamente movimenta um pino, que atua em um mecanismo do controle da hélice quando um predeterminado valor de torque negativo for sentido (quando a hélice gira o motor). Este pino, trabalhando através de ligações de controle, muda a posição da válvula de bandeira, mandando as pás em direção ao embandeiramento.

Quando o ângulo da pá aumenta, o torque negativo diminui até que o sinal de NTS seja removido, fechando a válvula de bandeira. Se o predeterminado valor de torque negativo for ainda excedido, o pino de NTS causará outra vez a mudança da posição da válvula de bandeira.

O efeito normal do NTS é uma ciclagem da r.p.m. levemente abaixo da rotação na qual o torque negativo foi sentido.

O desembandeiramento é iniciado ao ser puxado o botão de bandeira para a posição desembandeiramento ("unfeather").

Esta ação supre voltagem para o motor da bomba auxiliar para girar a bomba. Devido o governador da hélice estar em uma posição de baixa rotação com a hélice embandeirada, as pás se moverão na direção de diminuição de passo sob a pressão da bomba auxiliar.

A trava do passo opera nas situações de perda da pressão de óleo da hélice, ou em condições de supervelocidade.

As catracas do conjunto se engrazam, quando a pressão de óleo que as separava, se dissipa através de uma válvula atuada por contrapesos, que opera a uma rotação ligeiramente superior a 100% r.p.m. As catracas se desengraxarão, quando a alta pressão do óleo e a rotação normal, forem estabelecidas.

Quando a manete de potência está na posição de "marcha lenta de vôo", o controle beta de retorno, do batente de passo mínimo, no ressalto de seleção beta (no eixo alfa), está selecionado para cerca de 2º abaixo da seleção do batente de passo mínimo de vôo, atuando como um batente de passo mínimo secundário.

Quando a manete de potência está na posição de "decolagem", este secundário batente de passo mínimo seleciona outro para um ângulo da pá, maior do que o batente mecânico do passo mínimo de vôo.

Isto atende as necessidades do controle de alta velocidade, após um rápido avanço da manete de potência, tão bem como um secundário batente de passo mínimo.

BAINHA DAS PÁS

A bainha da pá (CUFF) é uma estrutura de metal, madeira, ou plástico, destinada ao acabamento da espiga da pá com a superfície externa, transformando a forma circular da espiga em uma seção de aerofólio.

A bainha tem a finalidade primária de aumentar o fluxo de ar de refrigeração da nacele do motor.

As bainhas são fixadas às pás por dispositivos mecânicos, ou usando materiais de colagem.

Adesivos a base de borracha ou epóxi geralmente são usados como agentes de colagem. Adesivos orgânicos podem causar corrosão resultante da umidade que penetra entre a superfície interna da bainha e a externa da pá.

CAPÍTULO 8

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE MOTOR

INTRODUÇÃO

Os procedimentos para a remoção ou a instalação de motores variam muito com o tipo do motor e da aeronave. Dessa forma, não é possível haver uma única lista de procedimentos que sirva para todos os tipos de motores. Por conta dos vários tipos de instalações de motores, bem como do grande número de variações de projeto dentro de cada tipo de categoria de motores, foram relacionados exemplos representativos para ilustrarem os procedimentos de instalação para motores alternativos, turboélice e turbojato.

Os motores radiais e os de cilindros opostos foram considerados para representar e descrever os procedimentos típicos e gerais para instalação, remoção, armazenagem e conservação dos motores alternativos. Embora esses dois tipos tenham sido escolhidos para garantir a abrangência dos motores usados tanto em aviões pesados quanto leves, muitas das informações e alguns dos procedimentos apresentados na discussão dos motores radiais são aplicáveis aos de cilindros opostos.

Deve ser enfatizado que, enquanto alguns procedimentos para aeronaves e motores específicos são incluídos neste capítulo, outros foram omitidos por causa de sua irrelevância para uma discussão geral.

Por essa razão, sempre há referência à instrução do fabricante, aplicável antes da realização de qualquer fase da instalação ou remoção do motor.

RAZÕES PARA REMOÇÃO DE MOTORES ALTERNATIVOS

Os parágrafos seguintes ressaltam as razões mais comuns para remoção e substituição de um motor alternativo.

Informações para auxiliar na avaliação das condições do motor que determinam a sua remoção são incluídas. Entretanto, em cada caso, consultam-se instruções aplicáveis do fabricante, como a autoridade final para definir as bases para substituição do motor.

Extensão (excedida) da vida do motor

A vida do motor é dependente de alguns fatores como: mau uso operacional, qualidade da fabricação ou da manutenção, tipo da aeronave na qual o motor está instalado, o tipo da operação em que foi utilizado; e o nível de manutenção preventiva com que foi tratado. Logo, é impossível estabelecer o tempo bem definido de utilização para a remoção do motor.

Entretanto, com base na experiência em serviço, é possível estabelecer o intervalo de tempo máximo de vida de um motor. Independentemente de suas condições, um motor deve ser removido quando tiver acumulado o tempo máximo recomendado desde a última revisão, incluindo qualquer extensão de tempo permitida.

Parada brusca

A parada brusca é uma parada rápida e completa do motor. Pode ser causada por emperramento do motor ou pelo impacto de uma ou mais pás da hélice com um objeto (ou com o solo), de tal maneira que o motor pare antes de completar uma volta da hélice.

A parada brusca pode ocorrer sob condições; tais como falha do trem de pouso, pilonagem ou pouso muito brusco. A parada brusca pode causar dano interno ao motor, como quebra de dentes de engrenagem, danos no trem de engrenagens da seção traseira, desalinhamento do eixo de manivela, ou danos nos rolamentos da hélice. Quando ocorre a parada brusca, o motor é geralmente substituído.

Súbita redução na velocidade de rotação

A súbita redução na velocidade de rotação pode ocorrer quando uma ou mais pás da hélice colidirem com um objeto, estando o motor com baixa velocidade de rotação.

Após o impacto, o objeto estranho (como um pássaro) é afastado, e o motor recupera sua velocidade de rotação anterior ao impacto, e assim continua, a menos que seja parado para prevenir dano posterior.

Enquanto taxiando (com o motor em baixa rotação), uma súbita redução na velocidade de rotação pode ocorrer quando a hélice colidir com um objeto estranho – como o mato alto que às vezes cresce na pista de grama, uma caixa de ferramentas ou peças de outra aeronave.

Pesquisas com motores que tenham sofrido este tipo de acidente demonstraram que, geralmente, nenhum dano ocorre quando a velocidade de rotação é baixa, quando então a potência disponível é pequena e a hélice é capaz de absorver o arrastamento ou pequeno impacto. Entretanto, quando o acidente ocorre com alta velocidade de rotação, os impactos são muito mais severos.

Quando súbita redução de velocidade de rotação ocorrer, as seguintes ações devem ser tomadas:

(1) Fazer uma cuidadosa inspeção externa do berço do motor, de sua carcaça e da parte do eixo que se conecta à hélice,para determinar se alguma peça foi danificada. Se o dano encontrado não puder ser consertado pela manutenção de linha, remover o motor.

(2) Remover os filtros de óleo, e verificar se há partículas de metal. Remover o bujão do cárter, drenar o óleo em um recipiente limpo, escorrendo-o através de um pano limpo, verificando, tanto no pano quanto no óleo, se ficaram partículas de metal. Partículas grandes de metal no óleo indicam um bem definido mau funcionamento do motor, que deve ser removido. Entretanto, se as partículas de metal presentes são semelhantes à limalha fina (pó de metal), continuar a inspeção do motor para determinar se ainda é aproveitável.

Caso não haja partículas grandes de metal, fazer um teste com motor no solo, procurando por partículas de metal no óleo. Não encontrando, prosseguir com um teste em vôo com o mesmo propósito.

Se o motor operar normalmente durante o teste em vôo, mais uma vez é verificar a presença de partículas no óleo. Caso não tenham sido encontradas partículas metálicas grandes ou em excesso, o motor é mantido em operação, fazendo teste de presença de partículas de metal no óleo após 10 horas e 20 horas de operação. Após tudo isso, não se encontrando partículas metálicas, provavelmente o motor não vai mais requerer outros testes posteriores, pelo menos até a próxima inspeção programada.

(3) Remover a hélice e verificar se o eixo de manivelas, ou o eixo de acionamento da hélice, caso haja caixa de redução, sofreu empenamento. Utilizando um relógio-comparador, com graduações de 0,001 da polegada, ajustá-lo ao eixo da hélice. Retirar uma vela de cada cilindro para permitir que o conjunto, eixo de manivelas ou eixo de acionamento da hélice gire livremente, sem compressão. Girar o conjunto e observar se há flutuação no relógio-comparador. Fazer o teste tanto na parte do eixo de manivelas ou eixo de acionamento que se fixam à hélice, quanto no extremo oposto.

Havendo excessiva flutuação, o motor deve ser removido. Os limites màximos de flutuação (empenamento) devem ser consultados nas instruções do fabricante. Caso haja flutuações grandes, mas dentro dos limites, uma hélice em bom estado deve ser instalada no motor analisado, que deve ser girado; a trajetória das pontas das pás da hélice definem cada uma, quando girando, um plano; se o eixo não estiver empenado, esses planos coincidem; se o eixo estiver empenado, serão planos diferentes. Pela separação entre planos, medindo e confrontado com as instruções do fabricante, é possível determinar se o empenamento do eixo está dentro da tolerância permitida.

(4) Dar partida no motor para verificar se a operação é suave, e se a potência desenvolvida é adequada. Se o motor operar corretamente durante a checagem de potência no solo, cortá-lo, e repetir a pesquisa de partículas metálicas no sistema de lubrificação.

PARTÍCULAS METÁLICAS NO ÓLEO

A presença de partículas metálicas, tanto nos visores (de vidro) de óleo, quanto nas tampas magnéticas do cárter, são geralmente uma indicação de falha parcial do motor. Entretanto, devido à construção dos sistemas de óleo das aeronaves, é possível que as partículas metálicas que tenham sido encontradas no óleo ou no sistema de lubrificação, sedimentadas com a goma que se firma no fundo do cárter e de outras partes baixas, tenham sido geradas por falha anterior.

Por outro lado, o carbono (carvão) formado nas partes quentes do motor tende a firmar grãos que se desprendem e que podem ser confundidos com metal. É necessário considerar essas possibilidades quando partículas estranhas foram encontradas nos visores de óleo do sistema de lubrificação, ou nas tampas dos drenos ou do cárter.

Antes de remover um motor por suspeita de falha interna, pela indicação da presença de material estranho nos visores de óleo ou tampas dos drenos ou do cárter, confirma-se se este material estranho é realmente metálico da seguinte forma: colocando-o sobre uma superfície metálica rígida (pode ser uma chapa de aço, lisa e limpa) e começando a bater suavemente com um martelo. Se for carbono (carvão) irá quebrar (esfarelar); se for metal (dependendo do tipo de liga metálica) pode até deformar, mas sem desintegrar.

Se as partículas são metálicas, verifica-se a provável extensão do dano interno. Por exemplo, se somente pequenas partículas forem encontradas, como se fosse limalha fina, drena-se todo o óleo, subtituindo-o.

Então, gira-se o motor no solo, e torna-se a verificar os visores de óleo e tampas dos drenos e do cárter.

Se nenhuma partícula a mais for encontrada, a aeronave pode ser testada em vôo, seguindo-se mais uma inspeção dos visores de óleo e tampas de drenos e do cárter. Deve ser, entretanto, acuradamente observado o desempenho do motor, caso não haja evidência de material estranho.

Operação instável do motor

Os motores são geralmente removidos quando é sentida uma consistente operação instável. A operação instável de um motor geralmente é percebida através de uma ou mais das seguintes condições:

(1) Vibração excessiva do motor.

(2) Falha contínua ou intermitente, das explosões.

(3) Parada em vôo.

(4) Sensível diminuição de potência

PREPARAÇÃO DOS MOTORES ALTERNATIVOS PARA INSTALAÇÃO

Após ter sido tomada a decisão quanto a remoção do motor, a preparação do motor substituto deve ser considerada. Os métodos e procedimentos de manutenção usados variam bastante. Na aviação comercial, onde as operações de manutenção necessitam mais rapidez e eficiência na substituição dos motores de aviões, geralmente há a opção pela montagem de rápida troca de motor ou QECA ("*quick-engine-change assembly*"), algumas vezes também chamado pacote pronto (*engine pouer pachage*).

O QECA é essencialmente o motor propriamente dito, e mais seus acessórios fixados, tudo pronto para ser instalado. Já outros operadores de aeronaves com motores radiais, bem como muitos operadores de aeronaves com motores de cilindros opostos, fazem uso de outro método mais lento, porém mais barato.

Uma vez que a substituição de motores nessas oficinas de reparos ocorram com frequência aleatória, somente algumas substituições de motores são feitas manualmente.

Tais motores substitutos podem ser parcial ou completamente pré-montados, com acessórios e subconjuntos necessários, –ou eles podem ser guardados conforme são recebidos dos fabricantes em suas próprias caixas, invólucros, tambores ("*containers*") –e somente serão desembalados e preparados para a instalação quando for necessário substituir um motor.

O método QECA é mais comumente usado para grandes motores radiais, e é essa a razão pela qual são empregados na descrição dos procedimentos de montagem e instalação do sistema QECA. Porém, deve ser enfatizado que muitos desses procedimentos são aplicáveis para outros métodos de montagem e instalação de motores.

MÉTODO “QECA” DE MONTAGEM DE MOTORES RADIAIS

O estudo do método QECA de montagem a seguir não tem a pretensão de excluir procedimentos que estão na prática desde que a maioria das oficinas desenvolveu procedimentos adequados a si próprias, ou se utilizam daqueles recomendados pelos fabricantes.

Os procedimentos aqui incluídos estabelecem uma sequência lógica no desenvolvimento do método QECA, para motores e seus componentes, através dos estágios intermediários de uma montagem padrão, para que se obtenha uma melhor compreensão da interconexão existente entre unidades e sistemas.

Pelo método QECA, os componentes de um motor radial são dispostos conforme a ilustração (vista explodida) da figura 8-1.

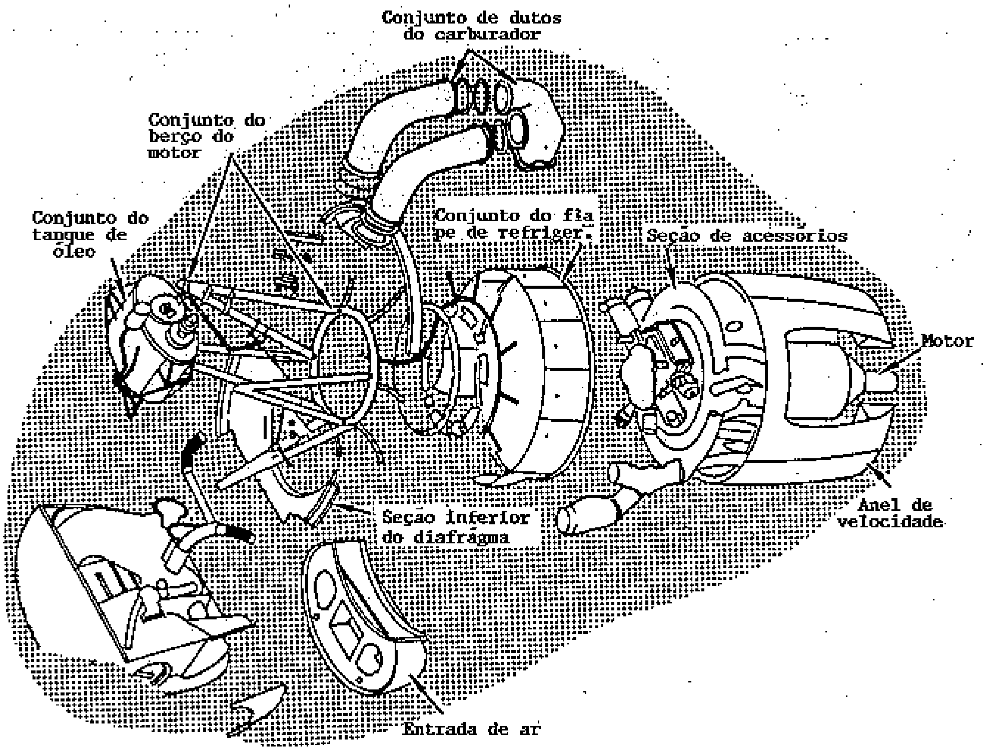

Conjunto de dutos do carburador
Conjunto do berço do motor
Conjunto do tanque de óleo
Conjunto do flape de refriger.
Seção de acessórios
Motor
Anel de velocidade
Seção inferior do diafragma
Entrada de ar

Figura 8-1 Vista explodida de um típico conjunto de potência.

Como pode ser observado o método QECA divide a montagem do motor em diversas unidades. Dentre tais unidades, que são comuns à maioria dos motores radiais ainda existentes, encontramos: tomada de ar, flapes de refrigeração do motor, carenagem do motor, suporte dos flapes de refrigeração do motor, janelas de inspeção, berço do motor e o motor propriamente dito, com todos os seus acessórios, alavancas e cabos de controle.

Em algumas aeronaves, os motores são fixados em naceles aerodinâmicas, cuja estrutura se confunde com a das asas. Essas naceles podem ser consideradas como sendo divididas em duas seções: as naceles das asas e as dos motores.

A primeira é parte da estrutura da asa; e a última aquela construída separada das asas.

A figura 8-2 ilustra uma nacele típica com a linha de separação identificando as duas partes. Aparentemente, as naceles das asas parecem ser somente uma continuidade aerodinâmica para as naceles dos motores, mas esse não é seu único propósito.

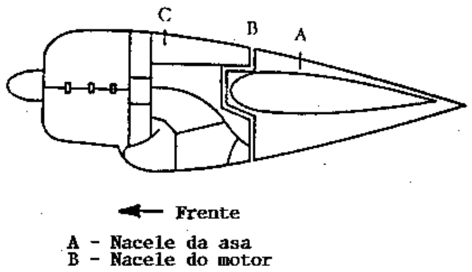
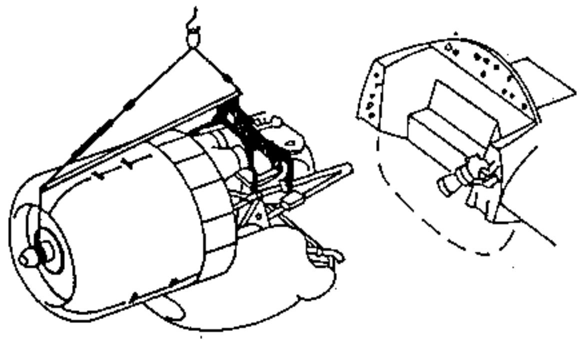

C
B
A
Frente
A - Nacele da asa
B - Nacele do motor

Figura 8-2 Típicas nacele de asa e motor.

Em alguns aviões, as naceles das asas mais próximas a fuselagem abrigam o trem de pouso quando recolhido. Também, no interior das naceles das asas são colocados reservatórios de óleo, combustível, partes do sistema hidráulico, drenos, conjuntos de controles que operam esses motores, etc.

Os pontos, nos quais as naceles dos motores são desconectadas das naceles das asas, podem ser facilmente identificados na maioria dos aviões. Para localizar os pontos de conexão, basta procurar a última seção de carenagens removíveis mais distante do lado do motor que sustenta a hélice.

Normalmente, a remoção dessas seções de carenagens de refrigeração irá expor as conexões elétricas e hidráulicas, fixações, emendas dos cabos e parafusos de montagem. Os pontos de separação do QECA, incluindo a parede de fogo e os pontos de desconexão, estão ilustrados na figura 8-3.


B - Nacele removida

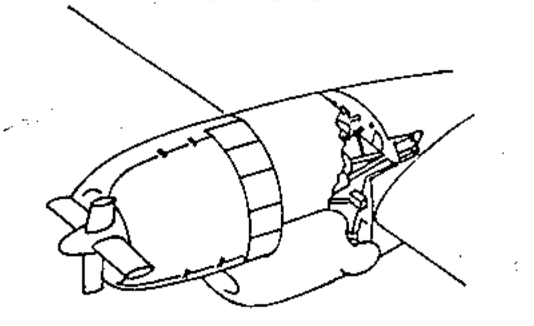

A - Nacele instalada

Figura 8-3 Pontos de desconexão de um QECA.

A parede de fogo é geralmente o anteparo dianteiro da nacele da asa, e difere da maioria das outras paredes divisórias por ser construída de aço inoxidável ou outro material resistente ao fogo. O propósito principal da parede de fogo é o de confinar qualquer fogo no motor, em sua nacele propriamente dita, além de prover a interface para a montagem de unidades dentro da nacele do motor e mais os pontos de emendas ou conexões das linhas (de combustível e de óleo), drenos e passagem das cablagens elétricas, que são conduzidas do motor para a aeronave.

Sem essa parede protetora, e na eventualidade de haver fogo no motor, haveria também a possibilidade dele passar para o interior das asas (onde normalmente estão os tanques de combustível), dessa forma, a necessidade da vedação de qualquer abertura não utilizada na parede de fogo é evidente e não pode ser relevada. Um motor de aeronave e seus acessórios, que tenham sido estocados, devem passar por um processo de limpeza e eliminação dos fluidos de estocagem, tampões, selagens e inspeção antes que eles possam ser instalados. Isto significa mais do que retirar o motor da embalagem e "aparafusá-lo"na aeronave.

Se o motor for guardado em uma “embalagem” metálica pressurizada, a válvula de ar deve ser aberta para sangrar o ar de pressurização (ou outro gás). Dependendo do tamanho da válvula, a despressurização da embalagem pode levar até 30 minutos.

A abertura da embalagem se faz retirando os parafusos que unem suas duas metades. Então, fixam-se os cabos e ganchos de uma talha (ou sarilho, guincho, etc.) nos pontos apropriados, e separa-se a metade superior afastando-a da área de trabalho. Se o motor estiver instalado dentro de uma embalagem de madeira, é necessário romper o selo do invólucro de proteção, e dobrá-lo em torno do motor (geralmente é um papel impermeável, plastificado).

Remove-se os agentes desidratantes (sacos com *silica gel*, em geral) e os indicadores de umidade para fora da embalagem do motor. Também se renova e coloca em lugar seguro qualquer acessório que não esteja fixado no motor, mas que esteja na mesma embalagem montado à parte. Se o motor for do tipo radial, os parafusos do anel de montagem devem ser desapertados da embalagem, e o motor deve ser ligeiramente levantado (pela talha) para permitir que o anel de montagem seja removido.

Outros motores, que não aqueles do tipo radial, são geralmente aparafusados diretamentena embalagem.

Desestocagem de um motor

Após o motor ter sido afixado em um suporte, todas as coberturas devem ser removidas dos pontos onde o motor foi selado ou fechado com tampas, tais como entradas de ar, saídas de gases e as tomadas de força para movimentar os acessórios.

À medida que as coberturas ou tampas forem sendo removidas, verifica-se os flanges de contato e áreas adjacentes quanto a sinais de corrosão. Da mesma forma, remove-se os indicadores de umidade que são colocados nos orifícios das velas, verificando pela coloração, se há ou não indicação de umidade dentro de cada cilindro. Havendo, inspeciona-se cuidadosamente as paredes internas dos cilindros (removendo-os).

Nos motores radiais, a parte interna dos cilindros mais baixos, e respectivos dutos de admissão, devem ser cuidadosamente verificados quanto à presença excessiva do composto anticorrosão, que foi drenado de dentro do motor, mas tende a acumular-se nas partes mais baixas. O excesso desse composto, dentro do cilindro mais baixo, caso o motor venha a ser acionado, pode servir como "calço hidráulico", ou seja: a sua presença impede que, em determinada parte do seu curso, o pistão possa se movimentar devido ao enchimento do cilindro com esse composto (estando as válvulas desse cilindro do motor fechadas).

A presença de composto anticorrosivo dentro do cilindro pode ser verificada quando da retirada dos indicadores de umidade dos orifícios das velas de cada cilindro. A maior parte desse composto será drenado pelos orifícios das velas de ignição dos cilindros mais baixos dos motores radiais, quando os indicadores de umidade forem removidos.

Um pouco do composto permanecerá na cabeça do cilindro abaixo do nível dos orifícios das velas de ignição, como mostrado na figura 8-4, e pode ser removido com uma bomba manual.

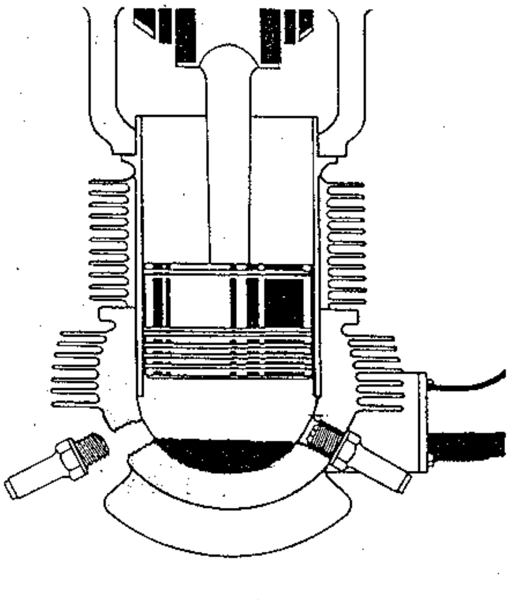


Figura 8-4 Drenagem de um composto preventivo da corrosão.

Um método mais positivo é o da remoção dos dutos de admissão dos cilindros mais baixos, abrindo-se as respectivas válvulas de admissão através da movimentação do eixo de manivelas. Esse método permite que o composto anticorrosivo em excesso seja drenado através dessa válvula. Se por alguma razão, o excesso de composto anticorrosivo for encontrado acumulado nos cilindros superiores, deve então ser removido por bomba manual.

Os visores de óleo (pequenas janelas circulares de vidro) devem ser removidos, e cuidadosamente lavados com querosene ou outro solvente, aprovado para eliminar todos os resíduos que possam restringir a circulação de óleo e causar a falha do motor. Após os visores terem sido limpos, eles são embebidos em óleo limpo, e só então reinstalados no motor.

Quando for removida a tampa do tubo de admissão do motor, os sacos contendo sílica-gel (desidratante) devem ser removidos antes da instalação do carburador. Deve-se tomar cuidado para que esses sacos não se rompam acidentalmente.

A cobertura de proteção do eixo da hélice é removida; e o composto anticorrosão, lavado. Só então, o eixo com óleo do motor é coberto.

Como verificação final, observa-se o motor está todo limpo. Há a possibilidade de que o composto anticorrosivo suje o motor quando houver remoção dos indicadores de umidade, ou limpeza dos visores de óleo. Para se limpar o motor é usado querosene ou outro solvente aprovado.

Inspeção e desestocagem de acessórios

O desempenho de um motor depende dos seus acessórios. Embora o motor tenha sido completamente revisado, qualquer omissão ou erro na instalação dos acessórios pode resultar na operação inadequada do motor, ou talvez num dano irreparável.

Antes da preparação de quaisquer dos acessórios que tenham sido embalados com o motor, consulta-se os dados de estocagem, geralmente afixados em etiqueta na embalagem do motor, ou registrados na documentação que vai dentro dessa embalagem, para determinar quanto tempo o motor e seus acessórios estão estocados.

Alguns acessórios, que normalmente acompanham o motor quando este retorna da revisão, são considerados inapropriados para o uso se seu tempo de estocagem exceder um valor anteriormente estabelecido (geralmente são acessórios que possuem partes de borrachas que ressecam). Esse tempo varia conforme a especificação do fabricante.

Qualquer acessório que tenha sido removido de um motor anteriormente usado, mas que possa ser acoplado a um motor novo ou recondicionado, deve passar por cuidadosa inspeção para avaliar suas reais condições. Esta inspeção inclui uma avaliação das condições gerais, limpeza, ausência de sinais de corrosão, ausência de desgaste que pode ser determinado pela folga excessiva das partes móveis.

Alguns acessórios devem ser substituídos, independente do seu tempo em operação, caso o motor esteja sendo substituído devido a falha interna. Tais acessórios podem ter sido contaminados por partículas de metal, introduzidas nos seus mecanismos pelo mesmo óleo que lubrifica, tanto o motor quanto seus acessórios.

Antes de se instalar qualquer acessório de reposição, verifica-se visualmente quanto a sinais de corrosão e à liberdade de operação (verificar se o acessório não está travado por algum grampo, selo, etc).

Sempre se limpa os encaixes, os flanges e os acoplamentos antes de montar os acessórios e, somente após ajustar a junta (de papel, cortiça, borracha), faz-se a fixação dos acessórios. Lubrifica-se o eixo de acionamento quando assim for determinado pelas instruções do fabricante.

INSPEÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DAS UNIDADES E SISTEMAS EXTERNOS AO MOTOR

A nacele do motor deve ser cuidadosamente limpa antes de sua inspeção. O projeto de uma nacele de motor varia de um tipo de avião para outro, mas basicamente é o mesmo tipo de estrutura, coberta por painéis de formato aerodinâmico removíveis, na qual o motor é montado.

Essa estrutura é fixada ao avião e incorpora uma parede de fogo isolante, separando o motor da célula.

Como já foi visto, as conexões das cablagens elétricas, dos tubos de combustível e de óleo e os drenos, além do acoplamento das alavancas de controle, passam através dessa parede de fogo.

Inspeciona-se toda a nacele do motor quanto a sua estrutura, e também as carenagens e placas rebitadas que completam o fechamento da nacele do motor. Quaisquer trincas nas carenagens ou dutos, caso não excedam os limites estabelecidos nos requisitos para reparos estruturais do fabricante da aeronave em questão, devem ter seu desenvolvimento interrompido, fazendo-se um furo de alívio de tensões na sua extremidade no interior da chapa, além de sobrepor-se um reforço rebitado, cobrindo-se a área afetada.

O berço do motor deve ser inspecionado quanto a qualquer empenamento dos tubos de aço de sua estrutura ou outras falhas, como: mossas, dobras, rachaduras, trincas (especialmente nas soldagens das emendas), deformações tipo “V” profundo (concentradores de tensões), achatamento dos tubos, etc. Em dúvida, faz-se uma inspeção com líquidos penetrantes para encontrar as trincas, áreas porosas (típica de escoamento de metal), ou outros defeitos porventura existentes.

Os parafusos de fixação dos motores em seus berços são inspecionados por partículas magnéticas ou outro processo aprovado. Assim que os parafusos são removidos, simultaneamente os orifícios devem ser inspecionados quanto ao seu alargamento, que pode ter sido causado pelo movimento que ocorre entre o motor e o berço, caso o parafuso correspondente a esse orifício não tenha sido corretamente apertado.

Verifica-se a superfície externa de toda a cablagem exposta com relação a rompimento (descontinuidade), fricção ou outros danos. Verifica-se, também, a firmeza dos terminais soldados ou prensados dos fios elétricos. Adicionalmente, devem ser checados os pinos e encaixes dos conectores elétricos quanto as suas condições gerais.

Qualquer item que esteja danificado deve ser reparado ou substituído, dependendo da extensão do dano.

Antes de instalar um motor, inspeciona-se todas as tubulações da nacele do motor quanto a amassamentos contundentes, entalhe, arranhões profundos, fricção ou corrosão. Inspeciona-se também, e cuidadosamente, quanto à indicação de fadiga ou ao achatamento (redução da seção do tubo) causado por flexão acidental. Cuidadosamente, todas as mangueiras (de borracha ou plástico) usadas em vários sistemas dos motores são inspecionadas.

Algumas fissuras nas mangueiras se prolongam até o interior delas, mesmo quando a parte interna é reforçada.

Qualquer pedaço de mangueira que apresente indicação de escamamento, ou esfarelamento da sua cobertura externa, é substituído, até que o tecido (lona) interno de reforço esteja aparecendo. Substitui-se também aquelas mangueiras cujas extremidades estejam marcadas excessivamente pelas braçadeiras; esta deformação surge, ou quando a braçadeira foi muito apertada, ou quando a braçadeira está fixada há muito tempo na mesma posição.

Sempre são substituídas as hastes de controle, se estiverem com entalhes ou com corrosão suficientemente profunda para afetar sua resistência. Se a corrosão não puder ser removida por esfregamento com lã de aço (bombril), significa que o avanço da corrosão é muito profundo, comprometendo a resistência da haste.

Verifica-se as roldanas dos sistemas de controle quanto à liberdade de movimento. É fácil de perceber se uma roldana não está se movimentando livremente, através da evidência de desgaste, tanto na roldana, quanto no cabo de acionamento (na roldana forma-se um sulco dentro do seu sulco natural; no cabo, inicia-se o desfiamento nesse ponto). Os rolamentos das roldanas podem ser verificados através da folga e oscilação que apresentam, estando os cabos sem tensão. Os cabos devem ser inspecionados quanto à corrosão e à presença de fios partidos, o que é feito passando-se um pedaço de pano de algodão ou estopa (a estopa engancha no fio partido).

Verifica-se as emendas quanto a desfiamento, afrouxamento da fixação e limpeza, especialmente nos terminais dos cabos.

Os tubos do escapamento e os dutos do coletor de admissão são inspecionados quanto à fixação, trincas ou corrosão excessiva. Dependendo da instalação, essas unidades ou partes delas podem ser fixadas ao motor antes dele ser instalado na aeronave.

Verifica-se todos os dutos de ar quanto a entalhes, e quanto à condição de conservação dos vedadores de tecido ou borracha das conexões dos dutos. Os entalhes ou ressaltos devem ser reparados. As tiras de vedação (tecido ou borracha) ou antifricção devem ser substituídas se não estiverem bem acomodadas nos dutos, ou se estiverem usadas a ponto de terem sido esmagadas, não mais permitindo uma selagem perfeita.

Cuidadosamente é inspecionado o sistema de lubrificação do motor, e realizado qualquer manutenção especial requerida para ele, antes de se instalar um motor substituto.

Caso o motor esteja sendo trocado ao término do seu tempo normal de operação, geralmente só é necessário drenar o sistema; entretanto se o motor foi removido por falha interna, geralmente algumas unidades do sistema de lubrificação devem ser substituídas, e outras criteriosamente limpas e inspecionadas.

Caso o motor tenha sido removido por causa de falha interna, o tanque de óleo é, também, removido para permitir uma cuidadosa limpeza. O radiador de óleo e o regulador de temperatura devem ser removidos e enviados a uma oficina especializada para revisão.

A bomba de vácuo e suas linhas de pressão, bem como o separador de óleo do sistema de vácuo também devem ser removidos, limpos e inspecionados.

Falhas internas também determinam que o governador da hélice e o mecanismo da bomba de embandeiramento sejam substituídos, no caso dessas unidades serem operadas com a pressão do óleo do motor.

PREPARAÇÃO DO MOTOR PARA REMOÇÃO

Antes de se começar a trabalhar no avião ou no motor, a chave dos magnetos deve estar desligada, pois os motores de avião podem ser postos a funcionar, acidentalmente, pela movimentação das hélices, caso a chave dos magnetos esteja ligada.

Todos seletores de combustível ou válvulas de corte devem ficar fechados. As torneiras seletoras de combustível são operadas manualmente ou através de relés.

Se válvulas de corte por relés estão instaladas, faz-se necessário ligar a bateria antes de tais válvulas (ou torneiras) serem fechadas, uma vez que os relés (solenóides) dependem de eletridade para serem operados. Essas válvulas fecham a linha de combustível na altura da parede de fogo, entre o motor e a célula.

Após todo o combustível para o motor ter sido cortado, a bateria é desligada para eliminar a possibilidade de fogo, iniciado por algum fio aquecido.

Se for previsível que o avião permaneça mais de seis dias fora de operação, normalmente a bateria é removida e transferida para um lugar onde fique em carga.

Da mesma forma, mais alguns outros detalhes devem ser observados antes de se começar o trabalho de remoção do motor.

Primeiro deve haver extintores de incêncio em número necessário, e próximos o suficiente para atender a qualquer emergência possível. Verifica-se os frenos desses extintores para ter certeza de que não foram acionados e estão com plena carga (alguns possuem cartão com data da validade da carga, outros possuem um manômetro).

Observa-se se o avião está calçado (calços de madeira), caso não esteja, é possível que ele se movimente durante a operação, justo no momento crítico. Se o avião for triciclo, deve haver um apoio de cauda, tal que o avião não "caia de cauda"no chão assim que o peso do motor sair do nariz.

Caso seja um avião multimotor, não será necessário o apoio de cauda, se for feita a remoção apenas de um motor. Adicionalmente, os amortecedores (ou outro tipo de absorvedores de choque) devem ser despressurizados para prevenir que se expandam a medida que o peso do motor deixe de atuar sobre eles.

Após tomadas as precauções necessárias, inicia-se os trabalhos pela retirada das carenagens aerodinâmicas que envolvem o motor.

À medida que vão sendo removidas, verifica-se se há trincas, de tal forma que os reparos possam ser realizados simultaneamente com os trabalhos no motor, sem perda de tempo.

Coloca-se todas as carenagens (fixas, flapes de refrigeração, janelas de inspeção, etc.), que não precisem ser reparadas, arrumadas em uma prateleira, de sorte que possam ser rapidamente encontradas quando acontecer a reinstalação do motor substituto ou revisado.

Após removidas as carenagens, a hélice deve ser removida para inspeção ou reparo.

Drenagem dos fluidos do motor

Uma bandeja metálica grande (bandeja de drenagem) é colocada no chão sob o motor para receber todos os fluidos que pinguem do motor (óleo do motor, óleo hidráulico, combustível, etc).

Em seguida, é colocado sobre essa bandeja um recipiente apropriado sob os principais bujões de drenagem; em alguns motores há um dreno mais baixo, chamado dreno Y, que é o principal.

A figura 8-5 mostra os principais pontos onde mais comumente há drenos, como o radiador de óleo, linha de retorno do óleo do motor, etc. Todas as válvulas, drenos e linhas devem permanecer abertas até que o sistema de óleo tenha sido completamente drenado.

Após ter sido drenado o óleo, todos os tampões (ou bujões) são reinstalados e todas as válvulas de drenagem, fechadas. Então, o excesso de óleo que escorreu pelos pontos mais baixos ´´e enxaguado.

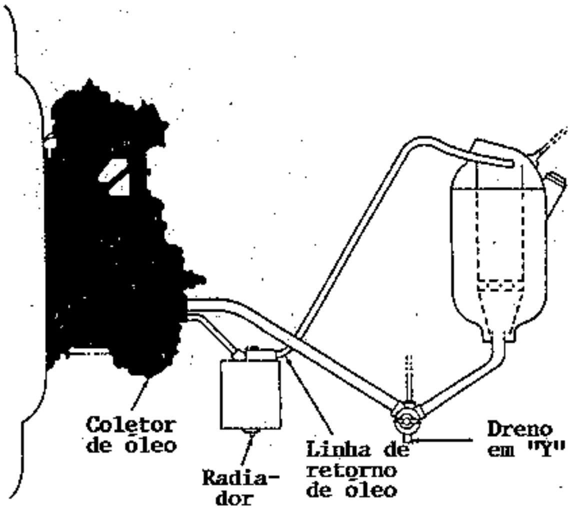


Figura 8-5 Pontos de dreno do sistema de óleo.

Conexões elétricas (desligamento)

O desligamento das conexões elétricas geralmente se faz na parede de fogo do motor. Isto nem sempre se aplica quando o motor está sendo removido; e quando partes elétricas, como o motor de partida ("starter") e o gerador, vão sendo separadas uma a uma, com seus respectivos cabos condutores.

Quando desconectando cabos condutores, uma boa medida de segurança é desconectar primeiro os cabos dos magnetos e, imediatamente, aterrá-los ao mesmo tempo no motor, ou no conjunto do qual esteja sendo removido.

A maior parte das conexões elétricas, eletrodutos e cabos, são padronizadas através do uso de conectores AN (“Army/Navy") ou MS ("Military Standards"). Cada um desses conectores consiste de duas partes que se encaixam: uma é a parte fixa na parede de fogo, onde se conectam os pinos, (fêmea).

A fim de prevenir desconexões acidentais durante a operação da aeronave, o lado externo da parte fêmea é rosqueado, a fim de permitir que a lado externo do encaixe (plug) macho (que é uma luva recartilhada externamente e rosqueada internamente), possa ser apertado, mantendo unido o conector, inclusive com arame de ferro.

Um conector típico é mostrado na figura 8-6. Esta ilustração também mostra uma montagem típica de uma caixa de junção, a qual é usada como conector elétrico em algumas instalações do motor do avião, como: gerador, motor de partida, aquecedor de óleo – ou seja, por onde passa muita carga, muita corrente.

Na caixa de junção o circuito elétrico é completado fixando-se dois cabos num terminal comum. Os cabos que saem da caixa de junção para o motor são desconectados pelos terminais, assim como também o são os eletrodutos, quando o motor estiver sendo preparado para remoção.

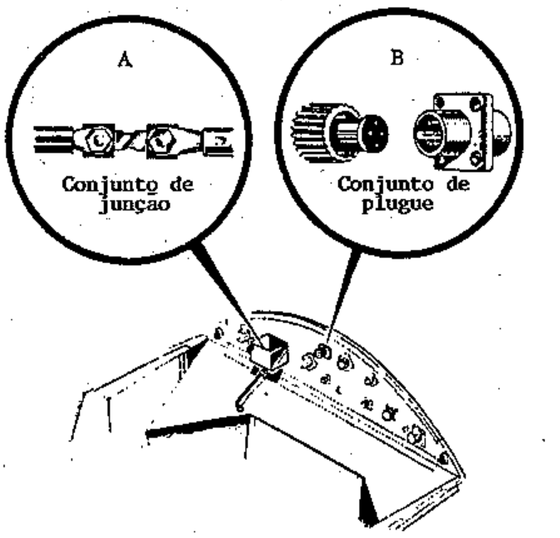


Figura 8-6 Conjunto de conexão dos tipos junção e plugue.

Após a ruptura dos frenos de segurança, eles são removidos das porcas recartilhadas que fixam os eletrodutos nas caixas de junção, bem como das porcas dos conectores.

Com fita isolante, à prova de umidade, envolve-se sobre as pontas expostas dos terminais para protegê-los da sujeira e da umidade.

Cabos ou eletrodutos longos não devem ficar pendurados aleatoriamente, uma vez que eles se enrolariam em alguma parte do avião durante o içamento do motor.

É uma boa prática enrolar, bem certinho e sem apertar muito, os cabos e os eletrodutos flexíveis, amarrando-os com barbante ou fita gomada (ou fita isolante) na própria montagem que está sendo removida.

Desconexão dos controles do motor

As articulações (balancins) e os cabos de controle do motor, como as do carburador ou da manete de controle de combustível e da mistura, têm seus cabos de controle operados manualmente a partir da cabine de vôo. Esses controles, em alguns casos, são desconectados pela remoção do esticador que junta as extremidades dos cabos.

Uma montagem típica é mostrada na figura 8-7.

Já a ligação típica, consistindo de uma haste de controle ligada a articulações, é ilustrada na figura 8-8.

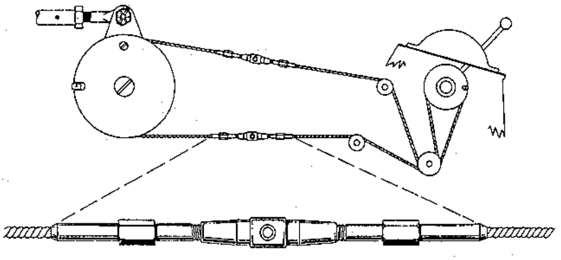


Figura 8-7 Conjunto de esticadores e cabos de controle do motor.

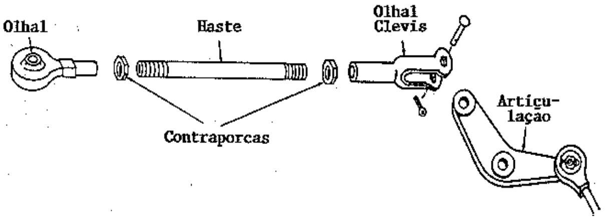


Figura 8-8 Conjunto de hastes de controle do motor.

A haste de controle nessa ligação mostrada tem duas montagens, uma em cada extremidade: uma orelha simples, com uma rótula vazada no centro, e uma orelha dupla atravessada por parafuso tipo CLEVIS, ambas as orelhas atarrachadas nas roscas das extremidades da haste, e mais duas contra-porcas respectivamente.

Estas montagens nas extremidades da haste possibilitam determinar o comprimento da haste de controle, dependendo da profundidade em que ela penetrou nas orelhas e foi travada pela contra-porca. Uma rótula geralmente é montada no lado da haste que tem uma orelha simples, e esta orelha é encaixada sobre um parafuso fixo em uma das pernas do balancim, sendo mantida por uma porca castelo, frenada por um contrapino.

A parte da haste que tem as orelhas duplas encaixa uma das pernas do balancim entre as duas orelhas, sendo que, às vezes, há uma rótula montada nessa perna do balancim. Então um parafuso CLEVIS (cabeça lenticular) é passado através do conjunto, fixado por porca castelo e frenado por contrapino.

Algumas vezes, essas montagens não incluem as rótulas, e são mantidas na posição tão somente por uma arruela e um contrapino, como no caso em que o parafuso CLEVIS simplesmente prende as orelhas duplas a uma das pernas do balancim.

Quando as ligações das hastes com o balancim são desmembradas é de bom alvitre que, após soltos, os parafusos com as porcas sejam recolocados, ou nas hastes ou nas pernas dos balancins, para que não se percam.

Todas as hastes de controle devem ser removidas ou amarradas, para prevenir que sejam amassadas ou quebradas, caso o motor venha a ser substituído (durante a renovação ou a instalação, quando motor é movimentado).

Desconexão das linhas (de combustível e de óleo)

As linhas que transferem líquidos (combustível ou óleo) entre o motor do avião e as unidades instaladas na célula, tanto são fabricadas com mangueiras flexíveis de borracha, como também com tubos de liga de alumínio (rígidos), unidos por pedaços de mangueira nas linhas que devem resistir a pressões elevadas, como as linhas hidráulicas, por exemplo, Frequentemente são empregados tubos de aço inoxidável.

A figura 8-9 mostra os tipos básicos de conectores/desconectores de linha.

A maioria das extremidades das linhas, quando consideradas com o QECA (motor substituto, tipo pacote pronto), estão fixadas num suporte aparafusado na parede de fogo, com uma porca frisada em torno da extremidade de cada tubo. As mangueiras podem ser fixadas desse mesmo modo descrito, mas também podem ser presas a um suporte aparafusado no próprio componente de onde saem, ou ainda a uma braçadeira.

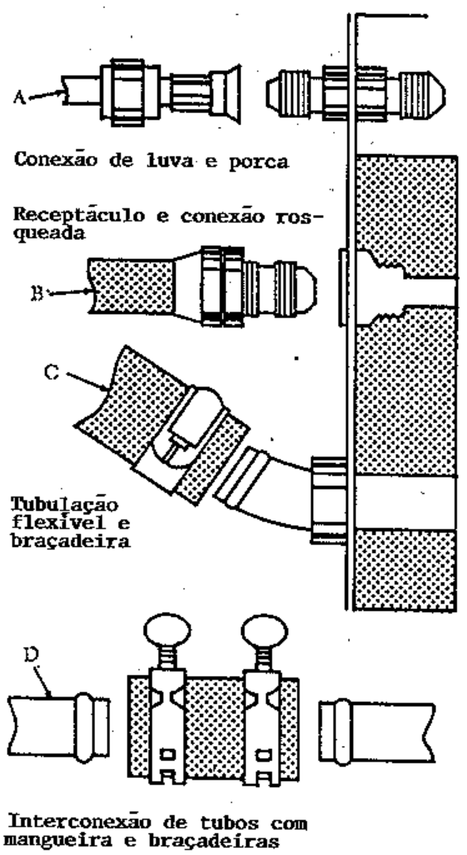

A
Conexão de luva e porca
Receptáculo e conexão rosqueada
B
C
Tubulação flexível e braçadeira
D
Interconexão de tubos com mangueira e braçadeiras

Figura 8-9 Tipos de desconexão de linhas.

Os suportes da parede de fogo, para algumas linhas, dispõem de dispositivos de desconexão rápida, que incorporam uma válvula de teste para prevenir a perda de fluido (combustível ou óleo) assim que a linha é desconectada.

Em algumas instalações, as tubulações metálicas podem também ser desconectadas onde dois pedaços de tubulação são emendados por um pedaço de mangueira com duas braçadeiras. Tais conexões são feitas afrouxando-se as braçadeiras e, em seguida, empurrando-se um pouco a mangueira de borracha sobre um dos pedaços de tubulação metálica da emenda. Há mais alguns tipos de desconexões rápidas, mas basicamente são apenas variações daqueles acima descritos.

Algum tipo de recipiente pode ser usado para operar o combustível ou óleo, que possa escorrer das linhas desconectadas. Após as linhas terem sido derivadas, elas devem ter suas extremidades imediatamente tampadas (com tampinhas de plásticos, em geral) ou cobertas com fita gomada à prova d'água, para prevenir que haja penetração de material externo nas tubulações, ou que o fluido acumulado neles venha a ficar pingando.

Outras desconexões

Os pontos, através dos quais os vários dutos de ar são desconectados, dependem do motor e da aeronave onde está instalado. Geralmente os dutos de admissão e os do sistema de exaustão devem ser desconectados, tal que o motor básico ou o QECA possa ser removido. Após as conexões do motor estarem livres (exceto as pertencentes ao motor) e todos os pontos de desconexão terem sido verificados, de sorte que gradativamente os dutos não estão mais ligados ou emaranhados, então o motor pode ser preparado para içamento.

REMOVENDO O MOTOR

Caso tenha havido cuidadosa preparação para remoção do motor, a sua efetiva remoção será uma operação relativamente rápida.

Se a remoção que está sendo realizada é somente a do motor, o restante dos acessórios (exceto o motor) fica na aeronave, mas se a remoção é do tipo QECA (pacote pronto), todos os acessórios são simultaneamente removidos. Antes do motor ter sido liberado dos pontos de fixação, um gancho deve ter sido instalado para que o peso do motor possa ser suportado pelo guincho (ou grua ou talha) quando os parafusos de montagem forem removidos.

Os motores de aeronaves, individualmente ou incorporados aos QECA, possuem pontos pré-definidos para a colocação do gancho de içamento. A localização destes pontos de fixação varia com o tamanho e a distribuição do peso do motor.

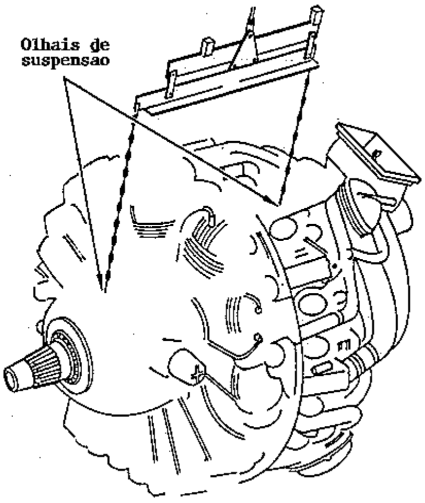


Figura 8-10 Motor com a eslinga (estropo) de suspensão instalada.

A figura 8-10 mostra um gancho suportando um motor que tem dois pontos de fixação. Em nome da segurança, o gancho deve ser cuidadosamente inspecionado quanto a seu estado geral, antes de ser utilizado para içamento do motor.

Antes de unir o gancho ao guincho, é preciso que o guincho tenha capacidade de carga suficiente para içar o motor seguramente. Um guincho operado normalmente, montado em uma estrutura transportável ou móvel é mostrado na figura 8-11.

Esta montagem com o guincho é especificamente fabricada com o propósito de remover motores ou outras grandes montagens de um avião.

Algumas estruturas são equipadas com guinchos motorizados. Neste caso, deve-se ter cuidado, uma vez que um dano considerável pode ocorrer caso um operador inexperiente permita que um guincho motorizado efetue uma operação muita rápida ou além dos limites. Antes de suspender (içar) um motor é bom verificar as condições do guincho e da estrutura (torre).

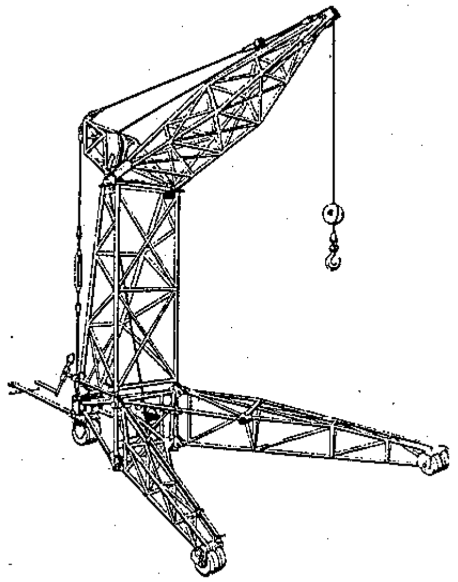


Figura 8-11 Conjunto de guincho e estrutura (talha) usado para remoção de motor.

Içamento do motor

Antes do guincho ser engatado no gancho do motor, verifica-se mais uma vez se o suporte da cauda do avião e os calços das rodas estão colocados. Até cabos (ou cordas) nos pontos laterais ou traseiro são observados, a fim de que o motor possa ser controlado à medida que é içado.

O guincho é encaixado no gancho, e o motor ligeiramente levantado –tão somente para aliviar as fixações do berço do seu peso. Remove-se as porcas das fixações (coxins) do berço, conforme a seqüência recomendada nas instruções do fabricante para a aeronave. Finalmente, tendo sido as porcas removidas, o motor é puxado para trás pelos cabos que lhes foram atados (ou é forçado para trás por outros meios, caso não tenham sido usados cabos).

Se os parafusos tiverem que ser removidos das fixações do berço, é possível manobrar o motor antes de fazê-lo. Mas se os parafusos tiverem que ficar nas fixações do berço, o guincho pode ser suavemente manobrado, para cima ou para baixo, como necessário, após todas as porcas terem sido removidas. Suavemente afrouxa-se os cabos, o suficiente para permitir que o motor volte a posição normal, quando estiver livre dos parafusos que o fixam ao berço.

A partir do momento que o guincho tiver retirado o peso do motor de seu berço, o motor deve ser deslocado suavemente para frente, distante do avião. Caso o motor, durante o seu afastamento, fique impedido de mover-se em algum ponto, ele é manobrado com a ajuda do guincho, até que tenha se deslocado livremente.

Os procedimentos anteriormente discutidos aplicam-se à remoção da maioria dos motores de aeronaves, tanto convencionais quanto turbinas. Quaisquer variações nos detalhes serão ressaltadas nas instruções do fabricante para a aeronave em foco.

Quando o motor tiver sido removido, pode ser cuidadosamente abaixado até um suporte. O motor deve ser fixado nesse suporte e preparado para a remoção de seus acessórios.

IÇANDO E AJUSTANDO O MOTOR PARA A INSTALAÇÃO

Quando o motor novo ou revisado estiver pronto para ser içado o suporte do motor é movido para a posição embaixo de sua nacele, e mais próximo de sua posição no avião em que será instalado.

Então o gancho é fixado no motor, o guincho engatado nele; inicia-se o içamento até que o guincho esteja suportando a maior parte do peso do motor. Em seguida, os parafusos que fixavam o motor ao suporte são removidos, e reinicia-se o içamento.

O suporte do motor pode ser removido, e a estrutura do guincho posicionado para que mais facilmente permita ao motor ser içado diretamente a sua nacele. A fim de prevenir ferimento aos operadores do guincho, ou aos mecânicos, ou danos à aeronave ou ao motor, deve-se ter certeza de que o motor está parado (ou seja, não esteja balançando), quando se deslocar a estrutura do guincho.

Raramente a nacele do motor é projetada de forma que o motor possa ser ajustado e aparafusado no lugar, como se estivesse sendo montado numa parede lisa.

O motor deve ser guiado ao seu lugar e alinhado com várias conexões, como os tubos de escapamento, bem como com os furos por onde entram os parafusos de fixação. Isto deve ser feito a despeito de obstáculos como a estrutura da nacele, dutos ou conexões da parede de fogo, e sem deixar um rastro de peças quebradas ou entortadas, arranhões na pintura ou dedos esmagados.

Quando o motor tiver sido alinhado corretamente com sua nacele, introduz-se os parafusos de montagem em seus furos e coloca-se as porcas respectivas (sem apertar de vez). Usa-se sempre os parafusos e porcas especificados pelo fabricante. Nunca um parafuso (ou porca) é substituído por outro que não aquele especificado.

As porcas fixadas nos parafusos de fixação do motor devem ser apertadas com o torque recomendado pelo fabricante do avião. Enquanto as porcas vão sendo apertadas, o guincho deve ser capaz de suportar o peso do motor, de sorte a permitir o seu alinhamento com os parafusos de montagem. Caso o motor fique fora de alinhamento (para cima ou para baixo), sendo apertadas as porcas, será necessário soltá-las, encaixando melhor o motor com os parafusos. Caso isso não seja feito, pode ser que as porcas tenham sido apertadas com o torque certo, sem entretanto haver a segura fixação do motor no avião.

A aplicação das instruções do fabricante define a seqüência de apertos para os parafusos de fixação, a fim de garantir que estão corretamente apertados. Após as porcas estarem seguras (frenadas), e de terem sido removidos o gancho do motor e o guincho, devem ser providenciados fios elétricos (malha metálica) ligando os motores à célula (aterramento).

A montagem do motor em sua nacele é somente o começo. Todos os dutos, cablagem elétrica, cabos e alavancas de controle, tubos de combustível e óleo, eletrodutos, etc., devem ser conectados antes que o motor possa ser operado.

Conexões e ajustes

Não há regra estabelecida, quanto à seqüência a ser seguida para ligação das unidades ou sistemas ao motor. A organização de cada manutenção normalmente estabelece através de uma rotina de trabalho, ou lista de cheque ("*checklist*"), sua seqüência de procedimentos particular.

Essa rotina (ou "*ckecklist*") é baseada em experiência passada na instalação de motores na aeronave específica. Se for cuidadosamente seguida, servirá como guia eficiente para sua instalação. O que virá a seguir não é uma seqüência de instruções propriamente dita, mas uma discussão sobre os métodos corretos para se realizar a instalação de um motor.

O sistema de dutos para conduzir ar para um motor (para refrigeração ou para aspiração com o combustível) varia, dependendo do tipo da aeronave.

Ao conectá-los, o objetivo é fixar os dutos, bem ajustados (sem vazamentos) nos seus pontos de emenda, e que o ar siga pela trajetória pretendida sem perdas (vazamentos).

O sistema de dutos de alguns aviões deve ser verificado, através de pressurização, quanto a vazamentos. Isto é feito bloqueando-se uma das saídas do sistema e pressurizando-se o sistema, através da outra saída, medindo-se a taxa de perda de pressurização.

Os filtros dos sistemas de ar que serão aspirados pelo motor devem ser eficientes para sempre proverem ar limpo. A limpeza dos filtros de ar deve ser feita conforme o manual do fabricante.

O sistema de exaustão deve também ter seus dutos cuidadosamente conectados, de sorte a impedir o vazamento de gases quentes para dentro da nacele do motor.

Quando se efetua a montagem dos dutos de exaustão, verifica-se todas as braçadeiras, porcas e parafusos, substituindo aqueles em condições suspeitas. Durante a montagem, as porcas devem ser gradual e progressivamente apertadas com o torque correto.

As braçadeiras devem ser assentadas com um martelo macio (de plástico, borracha, couro) para evitar deformações nos tubos durante o aperto. Em alguns sistemas, a extremidade do duto que vem do motor é ligeiramente arredondada, como se formasse uma bala, o duto que se conecta a essa extremidade se acopla a esta forma arredondada, o que permite um certo movimento, permitindo observar as naturais vibrações do motor. Esse tipo de conexão não pode ser muito apertado (além da sua tolerância), para não trancar assim que começar o aquecimento causado pelos gases de escapamento.

As mangueiras usadas nos sistemas de baixa pressão são geralmente fixadas aos dutos rígidos por braçadeiras. Antes de se usar uma braçadeira, inspeciona-se, quanto à soldagem (geralmente ponteamento elétrico) ou à rebitagem, e quanto à movimentação livre e suave do parafuso de aperto.

Braçadeiras em mau estado devem ser rejeitadas (metais quebradiços ou muito macios podem quebrar ou esticar, quando é dado o aperto na braçadeira). Após uma mangueira ter sido instalada num sistema, ela deve ser presa por braçadeiras de borracha em intervalos regulares. (As mangueiras longas não devem ficar soltas, batendo na passagem da mangueira por dentro das cavernas, os furos destas são revestidos com anéis de borracha.)

Antes de instalar tubos metálicos com conectores rosqueados, é preciso que, tanto a rosca do macho como da fêmea, estejam em bom estado. O composto de vedação é aplicado em ambas as roscas; segue-se sempre a especificação correta, antes da instalação definitiva. Ao se iniciar a fixação, toma-se cuidado para que o conector fêmea não acavale a rosca do conector macho (a entrada do rosqueamento de um deve coincidir com a do outro). Finalmente é dado o aperto correto, conforme a tabela de torques.

Quando conectando os cabos elétricos ao motor de partida, gerador ou a qualquer unidade elétrica dentro da nacele do motor, devemos ter certeza de que as conexões estão limpas e corretamente apertadas.

Quando cabos elétricos são ligados a terminais com parafuso e porca, uma arruela de frenagem é geralmente colocada sob a porca para evitar sua movimentação.

Caso necessário, os conectores podem ser fixos por arames de aço, que podem manter a porca na correta posição.

Os cabos elétricos dentro da nacele do motor são geralmente conduzidos através de eletrodutos rígidos ou flexíveis. Os eletrodutos devem ser fixados como necessário, de sorte a garantirem uma instalação segura, até mesmo colados quando exigido.

Todos os cabos e alavancas dos controles devem ser acuradamente ajustados, para garantir resposta imediata ao ajuste das manetes.

Como esses controles são feitos especialmente para as aeronaves em que estão instalados, os seus ajustes devem seguir exatamente, e passo-a-passo, os procedimentos estabelecidos nas instruções do fabricante, especificamente para cada modelo de aeronave.

A figura 8-12 é a ilustração de um desenho esquemático simplificado do sistema de controle das manetes de um motor convencional (alternativo).

Usando o desenho como guia, traçamos um procedimento genérico de ajustagens das manetes de controle. Primeiro, desconectamos o braço serrilhado da manete de controle fixada ao carburador, e trazemos a manete para trás até o batente, de sorte que a borboleta do carburador esteja na posição completamente fechada.

Após fixar a roldana do respectivo cabo com um pino de travamento, ajusta-se a haste de controle para o comprimento especificado.

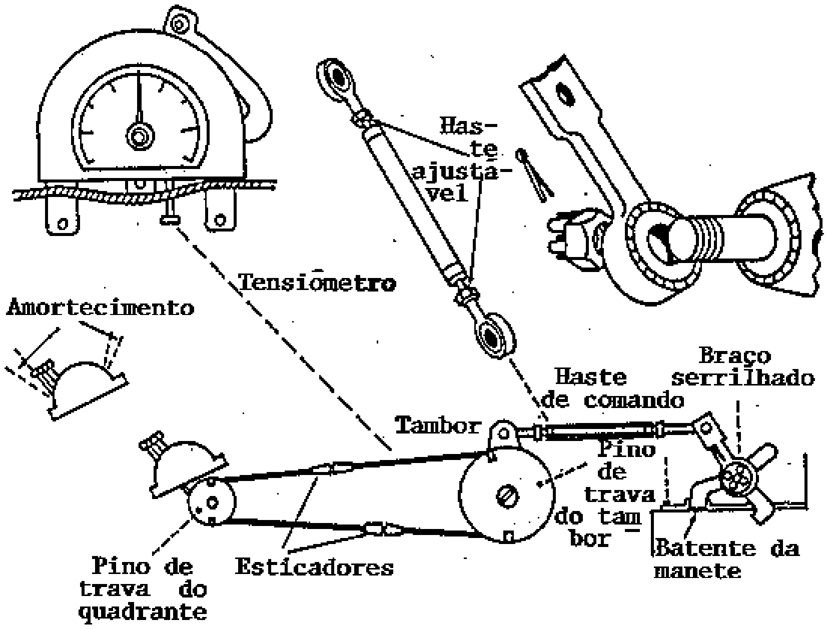


Figura 8-12 Desenho esquemático do sistema de controle das manetes.

Então, basta unir uma das extremidades da haste de controle à roldana (já travada) e reinstalar o braço de controle no serrilhado do carburador, que permitirá, à outra extremidade da haste de controle, ser unida a ele. Isto servirá para conectar corretamente o braço de controle (do carburador) à roldana do cabo.

Agora, desconecta-se os esticadores do cabo, até que o controle do carburador possa ser travado no quadrante das manetes por um pino de travamento. Então, com ambos os pinos de travamento nos lugares, ajusta-se os cabos para a tensão correta, medida por tensiômetro. Remove-se os pinos de travamento da roldana do cabo e do quadrante das manetes.

A seguir, ajusta-se o controle do carburador, de tal forma que ele venha a ter uma ligeira ação de amortecimento em duas posições no quadrante das manetes: uma, quando a borboleta do carburador estiver na posição completamente aberta, e outra, quando estiver fechada na posição marcha lenta (“*idle*”).

Ajusta-se o amortecimento, torcendo os esticadores do cabo igualmente, mas em direções opostas, até que o amortecimento (folga) esteja correto na posição todo aberto ("*full-open*") da borboleta do carburador. Então, quando o batente do braço do carburador é ajustado para a indicação correta de marcha lenta, a quantidade de amortecimento (folga) deve estar dentro da tolerância para a posição "marcha-lenta" da borboleta do carburador.

A existência desse amortecimento assegura que o deslocamento da borboleta não é limitado pelos batentes do quadrante das manetes de controle, mas que eles estão abrindo completamente, e fechando para a marcha-lenta como determinado pelo batente do braço de comando (alavanca) do carburador.

Os ajustes dos controles do motor são basicamente os mesmos para todas as aeronaves, na medida em que as conexões são ajustadas para um comprimento pré-determinado a um posicionamento específico da unidade a ser controlada. Então, se cabos forem usados no sistema de controle, eles serão ajustados para uma tensão específica com o sistema de controle bloqueado. Finalmente, o deslocamento completo da unidade a ser controlada é assumidaopelo estabelecimento do amortecimento (folga) correto dos controles.

Em geral, os mesmos procedimentos básicos são usados para conectar a ligação do controle manual de mistura. Este sistema é marcado no quadrante, bem como no carburador, para três posições: (1) corte; (2) pobre; e (3) rica.

As posições da alavanca no quadrante de controle devem estar sincronizadas com as posições da válvula de controle manual de mistura do carburador. Geralmente este ajuste é feito simultaneamente, com o ajuste do amortecimento (folga), pela colocação da alavanca de controle da mistura e da válvula de controle na posição “marcha lenta/corte”(toda reduzida), antes de ajustar a regulagem das conexões das alavancas e cabos.

Após se ajustar os controles do motor, frena-se os esticadores e porcas-castelo, certificando-se que todas as contra porcas de todos os controles estão apertadas.

Em aeronaves multimotoras, a quantidade de folga dos controles das borboletas e da mistura em cada quadrante deve ser o mesmo, de tal modo que todos estejam alinhados em qualquer posição específica selecionada. Isto elimina a necessidade de, individualmente, selecionar cada controle para sincronizar as operações do motor.

Após o motor ter sido instalado, é necessário ajustar os flapes de refrigeração, para que a passagem do ar de refrigeração possa ser regulada acuradamente. Quando a regulagem do flape de refrigeração ("*cowl flape*") tiver sido completada, faz-se o sistema funcionar, e verifica-se novamente se a abertura e o fechamento estão dentro dos limites especificados. Verifica-se, também, se os indicadores de posição dos flapes de refrigeração, caso existam, realmente indiquem a posição verdadeira dos mesmos.

As entradas reguláveis dos radiadores de óleo são ajustadas de modo similar aquele usado para ajustar os flapes de refrigeração. Em alguns casos, o procedimento é o inverso, tal que a entrada é regulada primeiramente para fechar até um determinado ponto, quando então é ajustado e microcontactor a fim de parar seu movimento para permitir que a entrada abra somente até uma abertura pré-determinada, e o microcontactor é ajustado para esse ponto.

Após o motor ter sido completamente instalado e feitas todas as ligações, a hélice é instalada. Antes, porém, a porca retentora do rolamento de encosto deve ser ajustada com o torque correto. Caso necessário, o eixo da hélice deve ser coberto com óleo fino (do motor) antes da instalação da hélice. O governador da hélice e o seu sistema antigelo devem ser conectados de acordo com o manual do fabricante.

PREPARAÇÃO DO MOTOR PARA TESTE NO SOLO E EM VÔO

Pré-lubrificação

Antes de um motor novo ser testado em vôo, deve ser submetido a um cuidadoso teste no solo. E antes desse teste ser levado a termo, no solo, geralmente várias operações são realizadas no motor.

Para evitar falha nos rolamentos (ou buchas) do motor, na primeira partida o motor deve ser pré-lubrificado.

Quando um motor tiver funcionado em marcha lenta por um longo período de tempo, as superfícies internas dos rolamentos (buchas ou casquilhos) começam a apresentar segmentos, onde a mistura anticorrosão secou ou foi drenada, sendo necessário prover óleo sob pressão através de todo o sistema de lubrificação do motor (o motor girando em marcha-lenta não proporciona rotação suficiente para que a bomba de óleo envie óleo sob pressão a todo sistema).

Caso os rolamentos (buchas ou casquilhos) estejam sem óleo quando da partida do motor, começará a haver desgaste até que o sistema de óleo venha a prover óleo lubrificante aos mesmos.

Há vários métodos de pré-lubrificação de um motor. O método selecionado deve prover um serviço de pré-lubrificação rápido e adequado. Antes de usar qualquer método de pré-lubrificação, uma vela de cada cilindro é removida para permitir que o motor possa ser girado mais facilmente pelo motor de arranque.

É ideal o uso de uma fonte externa de energia elétrica para prevenir a excessiva perda de carga da bateria. Se o motor estiver equipado com uma hélice de passo, acionado pelo óleo do motor, o reservatório do mecanismo específico de acionamento da hélice deve ser preenchido com óleo do motor, antes de sua operação.

Usando algum tipo de dispositivo de pré-lubrificação, como o ilustrado na figura 8-13, a linha de saída da bomba de óleo, acionada pelo motor, deve ser desconectada para permitir que o dispositivo de pré-lubrificação seja conectado a partir desse ponto. O sistema de óleo do motor deve ser aberto no seu extremo mais distante da linha de entrada da lubrificação, e deve ser acionado com o dispositivo de pré-lubrificação, até que comece a vazar óleo desse extremo aberto, indicando que flui óleo através do sistema de lubrificação do motor.

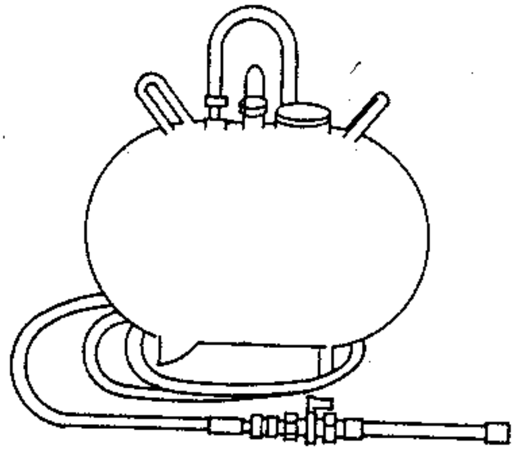


Figura 8-13 Tanque de pré-lubrificação.

A fim de se forçar o óleo do dispositivo de pré-lubrificação a penetrar pelo sistema do motor, aplica-se pressão de ar no tanque de óleo desse dispositivo, ao mesmo tempo em que o motor esteja sendo acionado pelo motor-de-arranque. Quando é percebido que já está vazando óleo pelo extremo mais distante da linha de entrada do sistema de lubrificação do motor, é só parar de acionar o motor e desconectar o dispositivo de pré-lubrificação.

Quando não estiver disponível nenhum meio de prover pré-lubrificação ao motor, a bomba de óleo do motor pode ser usada. O tanque (ou cárter) de óleo do motor é preenchido até o nível apropriado.

Então, com a mistura na posição "marcha lenta/corte" (reduzida); a válvula de corte de combustível e o interruptor da ignição, ambas desligadas ("off"); e as manetes completamente abertas, aciona-se o motor até que o manômetro de óleo montado na cabine de comando indique pressão de óleo aumentando.

Após o motor ter sido pré-lubrificado, recoloca-se as velas de ignição e conecta-se o sistema de lubrificação.

Geralmente o motor deve ser acionado e operado até quatro horas após ter sido pré-lubrificado, caso contrário, o procedimento de pré-lubrificação normalmente precisa ser repetido.

Sangria do sistema de combustível

Para purgar o sistema de combustível de bolhas de ar e para auxiliar na eliminação de quaisquer vestígios de óleo preservativo de um carburador de aspiração, remove-se o bujão do dreno da câmara de combustível do carburador, que é o ponto mais baixo em relação a entrada de combustível.

Em seu lugar, atarraxa-se um conector rosqueado e mais um pedaço de mangueira com saída para um recipiente qualquer (uma lata, por exemplo). Então, se abre a manete de aceleração, e colocando a manete de controle da mistura na posição pobre ou rica ("lean ou rich"), tal que o combustível possa fluir pelo sistema.

Após a confirmação de que a válvula de corte de combustível, e as válvulas do tanque principal estejam abertas, liga-se a bomba de reforço de combustível até que não haja mais traços de óleo preservativo no combustível que esteja sendo bombeado pelo sistema.

A passagem de ar será indicado por um ruido característico, saindo da extremidade da mangueira submersa no recipiente (lata) de coleta.

Este fenômeno não deve ser confundido com as numerosas bolhinhas de ar que podem aparecer, como resultado da velocidade do combustível sendo ejetado do carburador.

Geralmente, após aproximadamente um galão de combustível ter sido sangrado, o sistema pode ser considerado seguro para a operação.

Tendo completado a operação de sangramento, volta-se todos os interruptores e controles para a posição normal ou desligada, e recoloca-se e frena-se o bujão de drenagem do carburador.

INSPEÇÃO DA HÉLICE

A hélice instalada em um motor deve ser inspecionada antes, durante e após o motor ter sido girado no solo.

Uma hélice cujo mecanismo de mudança de passo seja eletricamente atuado, deve ser inspecionada antes do motor entrar em operação. Isto é feito após conectar-se a fonte externa de eletricidade ao sistema elétrico do avião, ajustando-se o seletor de posição da hélice para a posição que indique diminuição de rotação, simultaneamente verificando o aumento do ângulo de ataque das pás da hélice.

De modo inverso, o seletor deve ser posicionado para que indique aumento de rotação simultaneamente, verificando-se a diminuição do ângulo de ataque das pás da hélice.

A verificação do embandeiramento pode ser feita levando-se o seletor para a posição embandeirar ("feather"), observando-se se as pás da hélice tomam posição paralela ao deslocamento (ou ângulo de ataque em torno de 90º). Após, volta-se o seletor para a posição de operação normal, através da sua colocação na posição de aumento da rotação.

Se a hélice tem seu mecanismo de mudança de passo atuado pela pressão do óleo de lubrificação do motor, este deve ser inspecionado (verificando o seu funcionamento).

Essa verificação só pode ser realizada com o motor em funcionamento, e tendo a temperatura do óleo atingido o seu limite normal de operação. A inspeção é feita variando-se o passo para se atingir a maior e a menor rotação permitida, bem como o embandeiramento.

Quando um motor, equipado com hélice de passo acionado pelo óleo do motor, é parado com a hélice embandeirada, nunca se deve desembandeirar a hélice ligando o motor e fazendo atuar o mecanismo de embandeiramento.

Removem-se os bujões do reservatório do motor para drenar o óleo retornado do mecanismo de embandeiramento e faz-se com que as pás da hélice voltem às suas posições normais, ou usando-se a bomba de embandeiramento ou uma ferramenta especial, manualmente operada.

VERIFICAÇÕES E AJUSTES APÓS O MOTOR TER SIDO GIRADO E OPERADO

Após o motor ter sido girado no solo e após o vôo de teste, itens operacionais devem ser ajustados como necessário, e as instalações devem ser passadas por cuidadosa inspeção visual. Essas ajustagens frequentemente incluem a pressão do combustível e a pressão do óleo, assim como reajustados alguns itens como ângulo e abertura dos platinados, folga das válvulas, batentes da marcha-lenta e da mistura, –caso estes reajustes estejam afetando o desempenho do motor.

Após terem sido ambos realizados, os testes do motor no solo e em vôo, remove-se o bujão do reservatório e dos visores de óleo, inspecionando-os quanto à presença de partículas metálicas. Os visores, antes de reinstalados, devem estar limpos.

Verifica-se todas as linhas quanto a vazamentos e fixação das conexões. Particularmente dá-se atenção às braçadeiras das mangueiras quanto ao aperto correto, bem como em relação ao estado das extremidades dessas mangueiras, e o que pode ser evidenciado pelo vazamento de óleo. Inspeciona-se também as porcas que fixam os cilindros ao bloco do motor ou parafusos de cabeça quanto à segurança. Esta verificação deve ser também realizada após o vôo de teste.

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE UM MOTOR DE CILINDROS OPOSTOS

As informações gerais relativas à remoção, montagem, inspeção, conservação, armazenagem e instalação de motores radiais são, na maioria dos casos, aplicáveis a motores de cilindros opostos.

Embora muitos procedimentos específicos para motores radiais sejam aplicáveis a motores com cilindros opostos, alguns são desnecessários em aplicações práticas.

Por exemplo: caros e complicados equipamentos para guinchamento são dificilmente necessários para remoção ou instalação de motores de cilindros opostos, especialmente aqueles de baixa potência. Outro exemplo: pequenos motores de cilindros opostos podem ser estocados ou transportados sobre estrados de madeira, protegidos por pedaços de papelão.

O relativamente pequeno número de acessórios, bem como de controles do motor, de cabos elétricos, de linhas hidráulicas e de conexões, associados à facilidade de acesso as diversas áreas do motor plano, reduz o uso extensivo do QECA para esse tipo de motores.

Remoção do motor de cilindros opostos

As instruções do fabricante devem ser sempre consultadas como guia para remoção ou instalação de um motor.

Seguem-se instruções gerais para remoção e instalação de um motor de cilindros opostos de 250 HP:

(1) Remover a hélice.

(2) Afrouxar os "dzus" prendedores de 1/4 de volta de cada lado da carenagem superior do motor, removendo essa carenagem.

(3) Afrouxar os "dzus" que fixam a carenagem da tomada de ar do carburador, removendo essa carenagem.

(4) Remover os parafusos da parte traseira superior e inferior do suporte da carenagem, removendo esse suporte.

(5) Desconectar o duto de ar da entrada do carburador.

(6) Deconectar a linha do injetor (manual ou elétrico) de combustível.

(7) Desconectar a linha de entrada da bomba de combustível.

(8) Desconectar os cabos elétricos do gerador e do motor de partida.

(9) Caso já tenha sido instalado, remover o termopar sensor de temperatura da cabeça do cilindro.

(10) Desconectar as linhas de pressão de combustível e de óleo.

(11) Desconectar as linhas de retorno de óleo.

(12) Remover todas as ligações da parte traseira do motor com a parede de fogo.

(13) Desconectar o cabo de controle do governador da hélice.

(14) Desconectar o cabo do tacômetro da parte traseira do motor.

(15) Desconectar as mangueiras do radiador de óleo do motor.

(16) Desconectar o cabo do sensor de temperatura do óleo.

(17) Desconectar o tubo de respiro do motor.

(18) Remover as porcas da base do carburador, deixando que o carburador e sua tomada de ar fiquem presos somente pelos seus cabos de controle.

(19) Fixar o gancho do guincho no olhal (orelha) de suspensão do motor, levantando até que os cabos fiquem com tensão.

(20) Desconectar as cablagens dos magnetos.

(21) Remover os contrapinos, porcas, arruelas e o amortecedor de borracha do suporte dianteiro de cada parafuso com sua capa de proteção. Afastar de seus pontos de encaixe. Balançar o motor ligeiramente, com cuidado para não esbarrar em seus componentes, danificando-os. Repetir o procedimento para liberar os amortecedores de borracha (coxins) da parte traseira.

INSTALAÇÃO DO MOTOR

Os procedimentos seguintes são típicos daqueles usados para a instalação de motores de cilindros opostos, após seus acessórios terem sido montados no motor.

(1) Introduzir os parafusos de fixação do motor em seu berço, e deslizar os amortecedores de borracha (coxins) por dentro dos parafusos, até que sua face plana fique nivelada com o batente do suporte do motor. (veja figura 8-14).

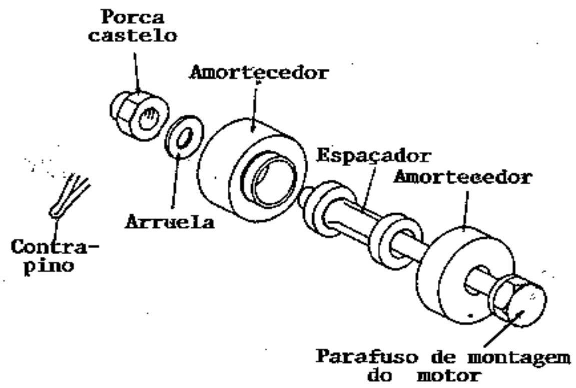


Figura 8-14 Vista explodida da montagem tipo *Lord.*

(2) Encaixar o espaçador entre o parafuso de fixação do motor e os coxins de borracha.

(3) Ajustar o gancho do pequeno guindaste no olhal (ou orelha) de sustentação do motor, erguendo-o. Pressionar para baixo a parte traseira do motor para permitir que os magnetos não toquem o berço do motor. Posicionar as orelhas de montagem do motor até que elas se alinhem com os respectivos pontos de fixação.

(4) Introduzir pelo ponto de fixação (berço com motor) superior um parafuso, até que a ponta rosqueada mostre um ou dois filetes para fora.

(5) Deslizar um amortecedor de borracha (coxim) entre o motor e seu suporte.

(6) Repetir o procedimento para os demais pontos de fixação.

(7) Colocar os coxins dianteiros nos parafusos, encaixando-os nas respectivas luvas. Verificar se ficaram bem encaixadas.

(8) Fixar o cabo do magneto no parafuso (esse cabo é o que mantém a continuidade elétrica entre o motor e a célula da aeronave).

(5) Instalar a arruela e a porca-castelo em cada parafuso de fixação. Apertar as porcas progressivamente, seguindo uma seqüência (no sentido horário ou anti-horário, tanto faz), até chegar ao valor de torque recomendado pelo fabricante.Após, aplicar os contrapinos (cupilhas) para frenagem.

(10) Instalar a vedação na entrada do carburador e sua caixa-de-ar.

(11) Conectar os dutos de admissão.

(12) Conectar os dutos de arrefecimento do radiador de óleo.

(13) Conectar o cabo do sensor de temperatura do óleo.

(14) Conectar as mangueiras do radiador de óleo.

(15) Conectar o cabo do tacômetro.

(16) Fixar o cabo de controle do governador da hélice.

(17) Conectar as cablagens fixadas ao berço do motor.

(5) Conectar a linha de pressão do óleo.

(19) Conectar os cabos do gerador e do motor de partida.

(20) Instalar o termopar da cabeça do cilindro.

(21) Conectar a linha da injeção ("*primer*") de combustível.

(22) Conectar as linhas de vácuo na bomba de vácuo.

(23) Conectar as linhas hidráulicas na bomba hidráulica.

(24) Ajustar o duto de ventilação do gerador.

(25) Acertar a montagem completa da carenagem na posição correta, e fixar as seções superior e inferior.

(26) Apertar os "dzus", prendendo a parte inferior da carenagem na traquéia da entrada de ar do carburador.

(27) Prender a cobertura da entrada de ar do carburador.

(28) Recolocar a carenagem, fixando-a por "dzus" em ambos os lados do motor.

(29) Instalar a hélice.

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE MOTORES A REAÇÃO

O motor de aeronave usado nesta discussão fornece um exemplo típico de remoção e instalação de motor a jato. O motor, com todos os seus acessórios acoplados, formam um QECA. O acesso ao motor é garantido por janelas de inspeção que podem ser levantadas, travadas e abertas. Referências de posição, como lado direito ou esquerdo, sentido horário ou anti-horário, são definidas considerando-se o motor visto por trás (pelo escapamento).

Remoção de motor turbojato tipo QECA

O motor pode ser removido da aeronave por dois métodos. Um método consiste em baixá-lo de sua nacele usando uma plataforma levadiça; o outro requer um guincho e uma estrutura (eslinga) para baixar o motor sobre um suporte móvel. Os seguintes passos preliminares são aplicáveis a ambos os métodos da remoção.

(1) Imobilizar adequadamente a aeronave com calços para rodas ou cabos de amarração.

(2) Abrir as janelas de inspeção. Confirmar se os interruptores elétricos (bateria, geradores, conversores, etc) estão desligados, e se não há alguma fonte externa conectada.

(3) Remover os painéis de acesso de ambos os lados da estrutura da nacele.

(4) Remover o painel de acesso ao duto de ar condicionado do motor (sangria do compressor), desconectando o duto do motor.

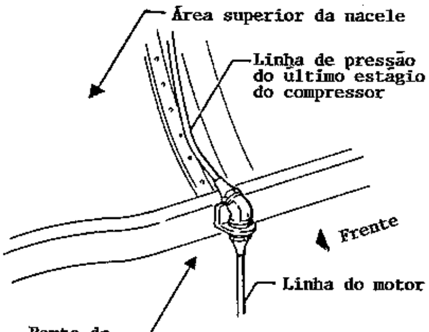

Área superior da nacele
Linha de pressão do último estágio do compressor
Frente
Linha do motor
Porta da nacele

Figura 8-15 Descarga de pressão de turbina (“pickup”).

(5) Desconectar a linha de pressão do último estágio do compressor ("*pickup*"). Ver a figura 8-15.

(6) Desconectar a fiação (cablagem) elétrica e os cabos dos termopares de seus conectores (figura 8-16).

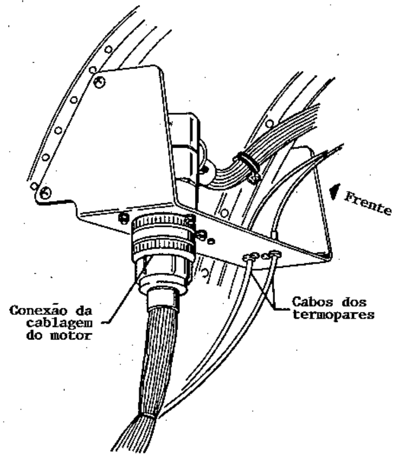

Frente
Conexão da cablagem do motor
Cabos dos termopares

Figura 8-16 Pontos de desconexão do sistema elétrico.

(7) Desconectar a linha de combustível, removendo os parafusos do flange da mangueira.

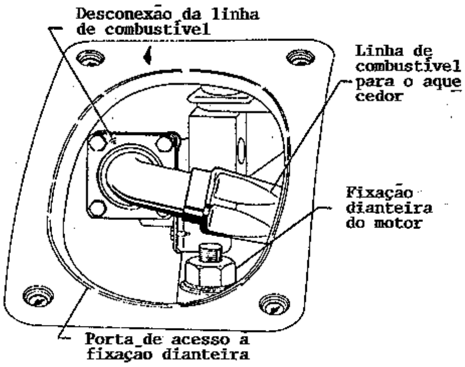

Desconexão da linha de combustível
Linha de combustível para o aquecedor
Fixação dianteira do motor
Porta de acesso à fixação dianteira

Figura 8-17 Desconexão da linha de combustível.

(5) Desconectar a haste da alavanca de controle (figura 8-18) da manete de controle de potência, mantendo-a presa (amarrada na estrutura da nacele).

Após o motor ter sido desconectado, restando apenas ser solto de seu berço, é preciso que uma plataforma levadiça seja usada para remoção do motor, sendo posicionada exatamente sob ele. Elevando-a, fazendo com que se encoste nos pontos de apoio do motor, até que o peso do motor seja aliviado das asas.

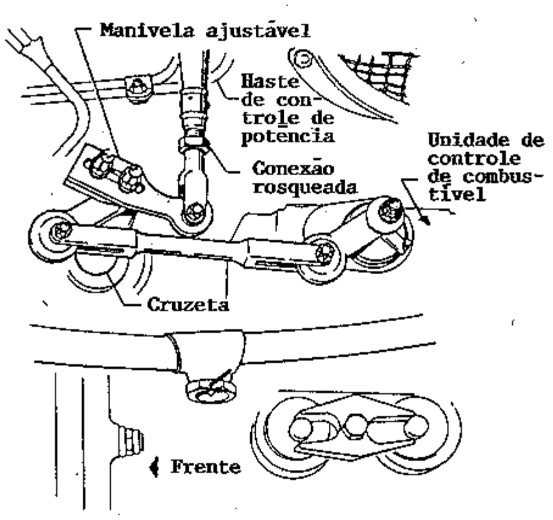

Manivela ajustável
Haste de controle de potência
Conexão rosqueada
Unidade de controle de combustível
Cruzeta
Frente

Figura 8-18 Pontos de desconexão do comando de potência.

No caso de ser usado um guincho, conecta-se o gancho prendendo os pontos de suporte do motor (através dos acessos que vão aos pilones). Quando baixando o motor com guinchos (duplos), a operação deve ser simultânea com ambos os guinchos para dividir a tensão nos cabos (evitando que, eventualmente, só um cabo resista a todo o peso). Posiciona-se um suporte móvel sob o motor antes que ele seja totalmente abaixado.

Usando um ou outro (a plataforma levadiça ou o guincho), e estando o suporte móvel desocupado e em posição, o motor está pronto para ser abaixado.

Remove-se, então, o parafuso e a bucha (espaçador) da parte traseira do berço do motor, e as porcas e arruelas da parte dianteira. Abaixa-se o motor, observando atentamente para que não fique prendendo nada nas naceles, evitando danos às naceles e ao próprio motor.

Fixa-se o motor na plataforma levadiça ou no suporte móvel. Usando o guincho, desconecta-se o gancho do motor, manobrando-o afastado da aeronave.

Cuidados especiais devem ser tomados quando se manobra o motor, evitando danos nos pontos de apoio, tanto no motor quanto no avião.

Tampa-se (proteja) as extremidades desconectadas das linhas e mangueiras. Com o motor removido, inspeciona-se a haste de controle de potência e seus componentes e pontos de conexão quanto à perda de rótulos e danos na nacele do motor.

Inspeciona-se a área onde o berço do motor se junta com a estrutura interna de sua nacele quanto a trincas.

Remoção dos acessórios - QECA

Quando um motor de avião está para ser substituído, os acessórios e equipamentos que equipam a aeronave podem ser removidos, tanto para a instalação no motor substituto, quanto para sua própria revisão, conforme exigido.

Observa-se cuidadosamente suas posições e ligações antes da remoção, para facilitar na montagem no motor substituto. Quando os acessórios estiverem para ser revisados ou estocados, eles são conservados de acordo com as instruções do fabricante. É necessário preencher as fichas de controle dos acessórios (no caso de serem componentes controlados), com todos os dados a eles pertinentes. Após a remoção destes acessórios e equipamentos, os eixos expostos, e as janelas onde estes componentes estavam encaixados, são cobertos (protegidos). Prepara-se o motor para despacho, estocagem ou desmontagem, conforme as instruções apropriadas do fabricante.

INSTALAÇÃO DE MOTORES TURBOJATO

Instalação com plataforma levadiça

Os procedimentos que se seguem são típicos da instalação de motores turbojato usando plataforma levadiça. Instruções específicas de sua operação são normalmente afixadas à própria plataforma levadiça.

(1) Operar a plataforma levadiça, elevando cuidadosamente o motor na direção dos pontos de fixação de seu berço.

(2) Alinhar os olhais (orelhas) traseiros do motor com os pontos de fixação do berço.

(3) Instalar os parafusos de montagem e apertá-los com o torque recomendado.

Instalação com guincho

Os procedimentos que se seguem são típicos da instalação de motores turbojato usando um guincho.

(1) Colocar o motor por baixo da nacele.

(2) Fixar a eslinga no motor propriamente dito.

(3) Cuidadosamente elevar o motor, utilizando-se de todos os guinchos (caso haja mais de um), simultaneamente. Ir guiando o motor em direção a seu berço, até chegar bem próximo.

Instalação com guincho de cabo duplo

A figura 8-19 mostra um motor sendo instalado, usando para isso um cabo duplo. Guinchos desse tipo são comumente usados para a instalação de pequenos e médios motores.

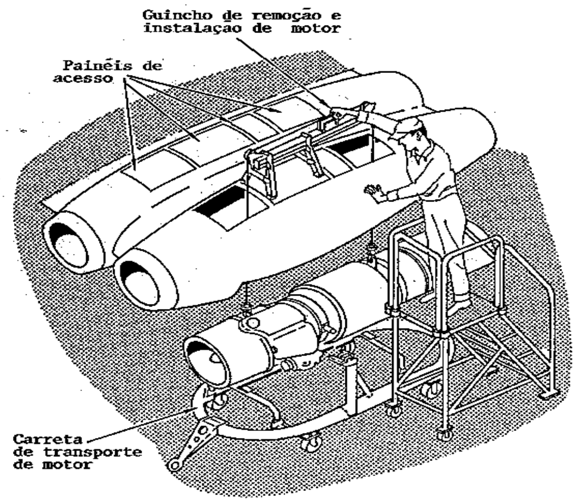

Guincho de remoção e instalação de motor
Painéis de acesso
Carreta de transporte de motor

Figura 8-19 Instalação com guincho de duplo cabo.

Completando a instalação

Os procedimentos que se seguem englobam as instruções para a complementação de uma instalação típica.

(1) Instalar a bucha (espaçador) pela parte de trás do olhal (ou orelha) da fixação do motor, passando o parafuso através da bucha; ajustar sua porca, mantendo o conjunto unido, inclusive com contrapino. Nessa particular instalação, a olhal (orelha) traseiro do motor deve ser livre para girar em torno do ponto de fixação. Não apertar demais o parafuso de montagem.

(2) Através dos acessos do ponto de fixação dianteiro, colocar a arruela serrilhada (ou chanfrada), a arruela plana e uma porca, em cada parafuso dos pontos de fixação dianteiros do motor. Apertar a porca com o torque estabelecido. Frenar a porca com arame de freno.

(3) Conectar o duto de ar-condicionado da aeronave no duto de sangria do compressor do motor. Apertar a conexão com o torque apropriado.

(4) Remover a plataforma levadiça ou eslinga (estrutura pendurada no gancho do guincho).

(5) Conectar a mangueira de combustível na conexão das linhas que provêem da aeronave. Substituir a junta (gaxeta) entre os flanges da mangueira e das linhas de combustível por outra nova.

(6) Instalar o suporte do duto de ar comprimido do motor de partida.

(7) Aplicar composto antiaderente (decapante) nos filetes dos parafusos da cablagem elétrica e termopares. Conectar os cabos, e fixar o conector da cablagem elétrica com arame de freno.

(8) Conectar o sensor de pressão ("pickup") da turbina, na linha do transdutor de razão de pressão.

(9) Conectar a alavanca de controle de potência (do motor) com a manete de controle de potência (na cabine de comando), através das ligações necessárias.

(10) Inspecionar o motor, de um modo geral, para ver se não ficou faltando nada.

(11) Instalar os painéis e carenagens aerodinâmicas.

(12) Ajustar as ligações das manetes e cabos de controle do motor. Fechar e travar as portas de acesso.

ALINHAMENTOS, INSPEÇÕES E AJUSTAGENS

As instruções que se seguem cobrem alguns procedimentos básicos, além de inspeções para alinhamento e ajustagem de controladores de combustível, seletoras de combustível e válvulas de corte de combustível.

(1) Inspecionar todas as hastes quanto a folgas excessivas, trincas ou corrosão.

(2) Inspecionar as extremidades das hastes quanto ao estado dos filetes das partes rosqueadas, como também quanto ao número de filetes que sobrepassam as partes de conexão após o ajuste final.

(3) Inspecionar a caixa das manetes, bem como as diversas roldanas quanto ao desgaste, assim como as guias dos cabos com relação a tensão e a posição apropriada (correta).

Enquanto se alinha as ligações do seletor de combustível, do controlador de potência e das válvulas de corte, segue-se os procedimentos do fabricante passo a passo, para o modelo de avião em que está sendo feito o serviço.

Os cabos devem ser instalados com a tensão apropriada, e com os pinos de alinhamento instalados. Os pinos devem ser livres para serem removidos sem qualquer tipo de amarração, se for difícil removê-los, é porque os cabos não estão propriamente alinhados, e devem ser inspecionados outra vez.

A alavanca de potência deve ter batentes apropriados nas posições de marcha lenta e de potência máxima. Os ponteiros ou indicadores devem estar dentro desses limites.

Os seletores de combustível devem ser alinhados de modo que tenham um deslocamento apropriado, e não restrinjam o fluxo de combustível aos motores.

Alinhando controles de potência

Aeronaves turbojato modernas usam sistemas de manetes de controle de potência. Um dos tipos comuns é o sistema de hastes e cabos. Este sistema utiliza-se de balancins, hastes de dupla ação, carretéis, "*teleflex*", cabos flexíveis e polias.

Todos esses componentes constituem o sistema de controle e devem ser alinhados e ajustados periodicamente.

Em aeronaves monomotoras, o alinhamento das manetes de controle de potência não é difícil.

O requisito básico é ter o desejado deslocamento da manete de potência, e o correto deslocamento no controle de combustível. No entanto, em aeronaves turbojato multimotoras, as manetes de potência devem ser instaladas de tal modo que estejam alinhadas, umas com as outras, para todos os regimes de potência.

Os cabos de controle da manete de potência, e as hastes de dupla ação, tanto na célula da aeronave quanto na nacele do motor, não são usualmente afetados quando se troca um motor, e, geralmente, nenhuma instalação é exigida, exceto quando algum componente tenha sido substituído.

O sistema de controle do pilone (berço do motor) para o motor deve ser ajustado em cada troca –de motor ou de controlador de combustível. A figura 8-20 mostra o sistema de controle do balancim, na parte superior do pilone, para o controlador de combustível.

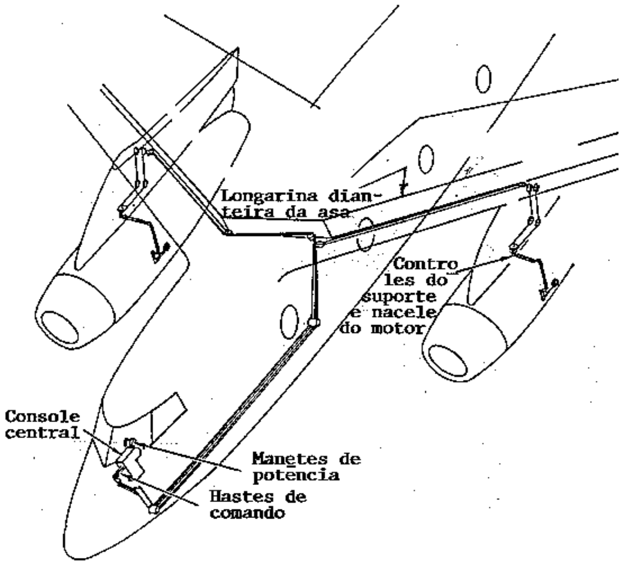

Longarina dianteira da asa
Controles do suporte e nacele do motor
Console central
Manetes de potência
Hastes de comando

Figura 8-20 Sistema de controle das manetes de potência.

À+.

Antes de se ajustar os controles de potência no motor, é preciso que a alavanca de potência esteja livre de amarração (não esteja presa), e que os controles tenham livre deslocamento no console.

Caso eles não tenham deslocamento total ou estejam presos, a célula da aeronave, ou seja, os elementos (cabos, hastes, articulações, etc.) componentes desse sistema, devem ser inspecionados e reparados, se for o caso.

Após todos os ajustes terem sido feitos, as manetes de potência são movimentadas por todos os seus cursos, observando cuidadosamente o movimento das hastes, balancins, tubos, etc. Trava-se todas as porcas (menos as autofrenantes) com contrapinos (cupilhas), conforme o exigido.

Ajustando o controlador de combustível

A unidade de Controle de Combustível (FCU - *Fuel Control Unit*) de um típico motor turbojato é um aparelho hidromecânico, que programa a quantidade de combustível, que flui para o motor, de tal modo, que o empuxo desejado possa ser obtido. A quantidade de empuxo é ditado pela posição da alavanca de potência na cabine de comando, pela particular operação do motor e a consequente rotação da turbina, estabelecida pelo fluxo de combustível.

A unidade de Controle de Combustível do motor é ajustada para compensá-lo, assim o máximo empuxo produzido pelo motor pode ser obtido quando desejado. O motor deve ser compensado novamente quando a Unidade de Controle de Combustível for substituída, ou quando o motor não desenvolver o empenho máximo.

Após a regulagem do desempenho do motor, a marcha lenta pode ser ajustada apertando-se o parafuso "*INC-IDLE*" um oitavo de volta, aguardando-se por alguns instantes a estabilização da rotação.

A manete de potência é reduzida para a posição marcha lenta, e a rotação é verificada. Esse ajuste deve ser feito preferencialmente em condições de ausência de vento e de umidade no ar; a precisão do ajuste diminui com o aumento da velocidade do vento e da umidade do ar.

De modo análogo, não deve ser feito ajuste com vento de cauda (por trás, em relação ao motor), posto que os gases quentes podem ser novamente ingeridos pelo motor.

Também não deve ser feito o ajuste em condições de formação de gelo. Para se obter os resultados mais precisos, o avião deve sempre estar aproando o vento, quando da ajustagem.

Com a aeronave aproando o vento, verifica-se se a área de escapamento dos gases está livre. Instala-se um calibre para a regulagem do motor no suporte "T", na linha de pressão de descarga da turbina. A partida no motor é dada, e cinco minutos são aguardados até a sua estabilização, antes de se tentar ajustar o controlador de combustível.

Caso a regulagem (de acordo com as instruções do fabricante) esteja fora dos limites, o parafuso *INC.MAX* (figura 8-21) é girado cerca de um oitavo de volta na direção apropriada. Repete-se, se necessário, até o valor desejado ser atingido. Se a aeronave estiver equipada com calibre de razão entre pressões (na entrada e na saída do compressor), faz-se o ajuste considerando esse valor.

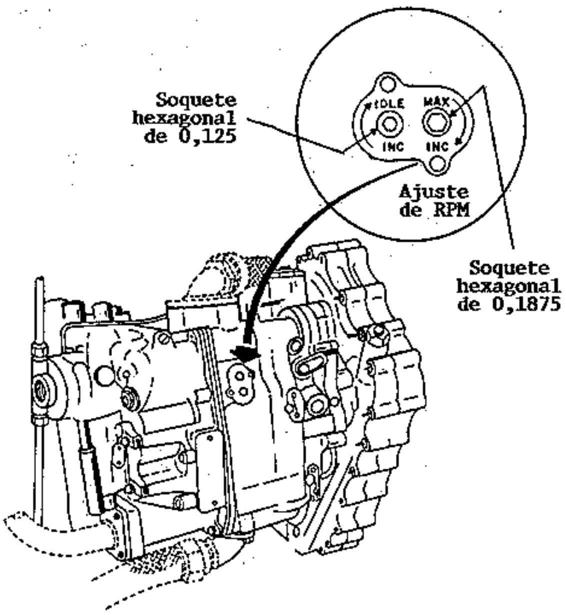


Figura 8-21 Ajustes típicos do controle de combustível.

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE UM MOTOR TURBOÉLICE

As informações que se seguem dão uma visão geral da remoção e instalação de um motor turboélice típico.

Desde que a maior parte das instruções, para remoção e instalação de motores turboélice, foi desenvolvida para instalações tipo 'QECA", os procedimentos que se seguem são típicos desse tipo de instalação.

Os procedimentos para remoção e instalação de motores turboélice são bastante similares àqueles seguidos com motores turbojato, exceto daqueles sistemas relacionados às hélices.

Os painéis laterais do motor são abertos, e os painéis de acesso às naceles, removidos. Desconectam-se os cabos dos termopares do painel elétrico.

Antes de se desconectar quaisquer linhas, as válvulas de combustível, óleo e fluído hidráulico devem estar fechadas.

Todas as linhas, assim que são desconectadas, são fechadas para prevenir a entrada de material estranho.

Removem-se as braçadeiras, que fixam os dutos de sangria de ar do compressor (ar condicionado) na parede de fogo. Só, então, desconecta-se o seguinte: (1) conectores elétricos; (2)

respiros do motor; e (3) linhas de combustível, óleo e fluido hidráulico.

Desconecta-se a manete de controle do motor e as hastes e cabos de controle da hélice.

Remove-se o invólucro dos pontos de sua fixação ao motor, fixando o QECA à sua eslinga (estrutura de suporte) e, usando um guincho conveniente, inicia-se o seu levantamento. A eslinga deve ser ajustada considerando-se o centro de gravidade do QECA. O levantamento deve ser feito com cuidado, evitando danos ao motor.

Remove-se os parafusos que fixam o motor a seu berço. O QECA, então, está pronto para ser removido.

Verifica-se mais uma vez todas as ligações que foram desconectadas, para ter certeza de que realmente o motor está livre para ser movimentado.

Desloca-se o motor para a frente, para longe da estrutura da nacele, até que ele fique livre da aeronave. O QECA é abaixado para o seu suporte, e fixado antes de liberar a eslinga.

Os procedimentos para a instalação de um motor tipo QECA são basicamente o inverso daqueles da sua remoção. Coloca-se o QECA na nacele do motor, alinhado e entrando de ré, e o alinhe com os furos dos parafusos do berço e da parede de fogo.

Aponta-se (introduza e trespasse) todos os parafusos antes de aplicar-lhes o devido torque. Estando todos os parafusos instalados, aplica-se sobre eles o torque recomendado. Remove-se a eslinga, instalando os painéis de carenagem nos devidos pontos de fixação. De modo inverso ao processo de remoção, liga-se todas as linhas e conectores.

Os "*O-RINGS*" e juntas de vedação devem ser substituídos por novos. Devem ser consultadas as instruções do fabricante para a aplicação dos torques corretos nos diversos parafusos, braçadeiras, etc.

Após a instalação do motor, este deve ser girado.

Em geral este procedimento consiste em verificar o funcionamento, através dos instrumentos da aeronave, do motor e dos sistemas a ele relacionados.

Vários testes funcionais são levados a cabo para avaliar cada fase da operação do motor.

Os testes e procedimentos estabelecidos pelos fabricantes do motor ou da célula devem ser seguidos.

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE UM MOTOR DE HELICÓPTERO

Um motor radial de nove cilindros, refrigerado a ar, como o R1820 (Pratt & Whitney), embora antigo, será tomado como modelo para os procedimentos de remoção e instalação de um motor típico de helicóptero. Esse motor é normalmente instalado à frente do helicóptero, com o eixo fazendo 39º com o horizonte (inclinado).

O motor é fixado no seu berço (ver afigura 8-22), o qual é preso por parafusos à estrutura da fuselagem. Esse tipo de instalação de motor é usado para facilitar a manutenção, permitindo fácil acesso a todos os acessórios e componentes, quando as portas de acesso ao motor são abertas.

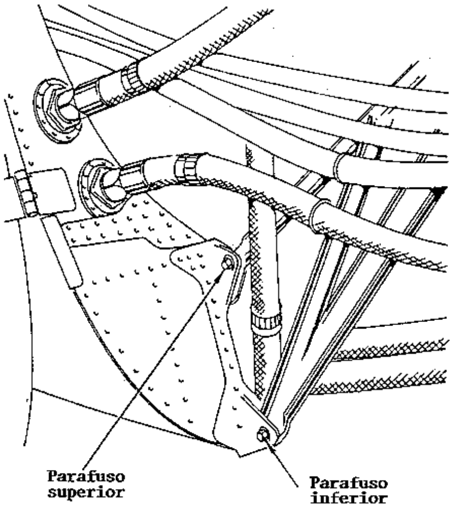


Figura 8-22 Pontos de fixação do berço do motor.

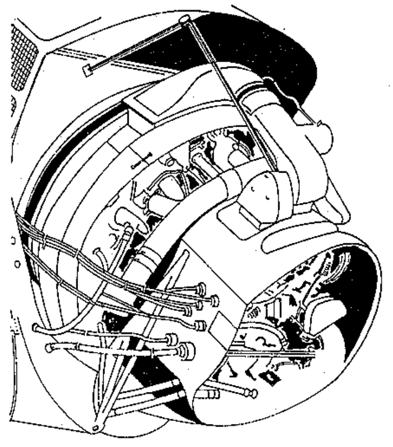


Figura 8-23 Típico QECA de helicóptero.

O QECA (figura 8-23) contém o motor, o berço do motor, seus acessórios, seus controles, o sistema de combustível, o de lubrificação, o de ignição, e o sistema de refrigeração, o acoplamento hidromecânico e o suporte do ventilador de arrefecimento.

Remoção de um QECA de helicóptero

Antes de remover o QECA de helicóptero, o motor deve ser preparado para ficar parado (estocado) por bom tempo, caso seja possível.

Assim sendo, é desligado o suprimento de combustível para o motor, e drenado o óleo. As necessárias desconexões, para a remoção, são feitas segundo os seguintes passos.

(1) Prender a eslinga de sustentação do motor (figura 8-24). Neste exemplo, prender dois cabos certos de sustentação, da eslinga para a superfície dianteira da caixa dos balancins (das válvulas) dos cilindros 2 e 9 e os dois longos de sustentação, da eslinga para a superfície dianteira da caixa dos balancins (das válvulas) dos cilindros 4 e 7. Prender a eslinga a um guincho de pelo menos duas toneladas de capacidade.

(2) Iniciar o içamento do guincho até começar um ligeiro deslocamento vertical no QECA. Liberar as porcas dos parafusos inferiores do berço do motor antes de liberar as porcas dos parafusos superiores.

(3) Remover os parafusos das juntas oscilantes, e remover todos os parafusos superiores de fixação do motor. Então, remover todos os parafusos inferiores de fixação do motor, e soltar o QECA do helicóptero. Coloca-se o grupo motopropulsor em um suporte conveniente, removendo a eslinga.

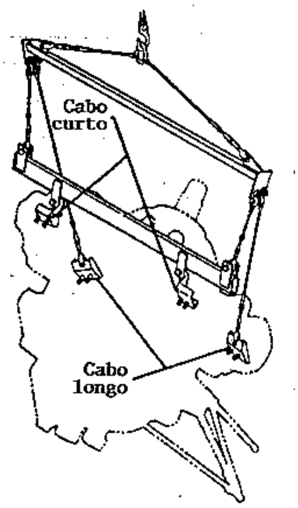


Figura 8-24 Estropo (eslinga) especial para QECA de helicóptero.

Instalação de um QECA de helicóptero

A instalação de um motor novo ou revisado é um procedimento inverso a uma remoção.

As instruções do fabricante do motor, para o tipo de helicóptero, devem ser consultadas para se confirmar a correta troca de componentes de um motor usado para um motor novo.

As instruções de manutenção aplicáveis devem ser seguidas.

ALINHAMENTO E AJUSTE DE UM QECA DE HELICÓPTERO

Manete (comando da borboleta do carburador)

O Ajuste do controle das manetes consiste no seguinte:

(1) Fazer o ajuste no QECA, incluindo a montagem de controle acima do carburador e no próprio carburador.

(2) Fazer o ajuste na célula do helicóptero, especificamente no punho de aceleração e no coletivo.

(3) Fazer o ajuste no sensor do batente da manete do carburador. A parte do QECA do sistema de manete de controle da borboleta geralmente pode ser ajustada com o grupo motopropulsor removido ou instalado no helicóptero.

Controle da mistura do carburador

Coloca-se a manete da mistura (no quadrante das manetes) na posição normal e, simultaneamente, movimenta-se o braço da mistura (no carburador) para a posição normal.

O tensor cilíndrico é ajustado dentro do console de manetes na cabine de comando, para produzir uma quantidade igual de tensão em cada cabo.

Para verificar a operação da manete de controle da mistura é só colocá-la na posição "marcha lenta/corte", e então para a posição "mistura rica", para deslocar efetivamente o controle da mistura.

Controle de temperatura do ar do carburador

A manete de aquecimento do carburador é colocada em posição intermediária. Ajusta-se o tensor cilíndrico (no console das manetes) para produzir uma quantidade de tensão igual em cada cabo e, então, frena-se (com arame de freno). A alavanca é movimentada no duto da entrada de ar para a posição intermediária, e a haste de atuação é ajustada para encontrar a alavanca na polia. Prende-se, então, a haste à alavanca.

Testando a instalação do motor

Os procedimentos normais a serem seguidos devem ser os que estão de acordo com as instruções do fabricante. Um teste em vôo é geralmente levado a termo, após o motor ter sido instalado, e os controles do motor terem sido ajustados.

BERÇO DOS MOTORES

Berços para motores radiais

Todos os aviões, da última geração, a usarem motores radiais tinham esses motores fixos em berços construídos de tubos de aço soldados. O berço é construído em uma ou mais seções que incorporam o anel de montagem do motor, suportes em "V", e fixadores para prender o berço na nacele das asas.

Os berços dos motores são geralmente fixos à aeronave por parafusos especiais de aço com tratamento térmico. A importância de se usarem somente os parafusos especiais pode ser avaliada rapidamente, posto que eles sozinhos aguentam o peso completo do motor, além de participarem das tensões impostas pelo QECA.

Os parafusos superiores suportam o peso do motor quando o avião está parado no solo, mas quando está voando, outros esforços são adicionados. Esses reforços são torsionais e afetam não somente os parafusos superiores, mas todos os parafusos.

Uma vista rápida num anel de berço de motor, mostrado na figura 8-25, apresentará suportes e pontos de apoio (ou fixação) localizados em várias posições ao redor da estrutura do berço. Cada suporte ou ponto de apoio tem uma função específica.

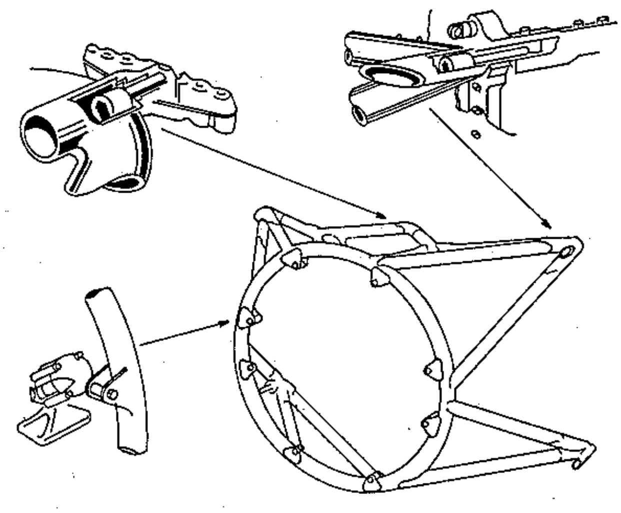


Figura 8-25 Montagem típica de berço de motor.

A parte do berço, onde o motor é fixado, é conhecida como anel de fixação ou anel do berço do motor. É geralmente construído de tubo de aço, tendo o diâmetro maior que as demais partes da estrutura. Tem a forma circular, envolvendo o compressor e a seção de acessórios, fixando o motor aproximadamente na altura do centro de gravidade do conjunto (motor, acessórios, etc.).

O motor é geralmente fixado ao berço através de suportes tipo "*dynafocal*", fixado ao motor no centro de gravidade, a frente do anel do berço. Outros tipos de equipamentos, ou suportes, são também usados para fixar diferentes motores em seus berços.

Ao mesmo tempo em que os motores aeronáuticos se tornam maiores e produzem mais potência, alguns métodos são necessários para absorver a vibração deles advinda. Esta necessidade conduz ao desenvolvimento de unidades de amortecimento, compostas de aço e borracha, chamadas de amortecedores de vibrações ("*shock mounts*") ou coxins. Como esse conjunto permite pouco movimento em todas as direções, estes isoladores de vibrações são comumente conhecidos como amortecedores elásticos de vibrações.

Uma característica interessante, comum à maioria dos amortecedores de vibrações, é que as partes de metal e de borracha são construídas de tal forma que, em condições normais, a parte de borracha suporta todo o motor.

Obviamente, se o motor for submetido a cargas ou impactos anormais, os batentes de metal limitarão o movimento excessivo do motor. As fixações dos berços para motores radiais podem ser divididas em dois grupos principais: (1) o tipo fixação tangencial; e (2) o tipo "*dynafocal*".

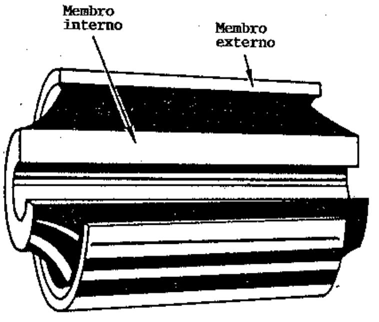


Figura 8-26 Bucha de borracha, no formato de tubo, para fixação de motor.

A fixação tangencial (bucha de borracha) é amplamente usada como suporte de todos os tipos de motores.

Uma vista em corte desse tipo de fixação é mostrada na figura 8-26. Este tipo de montagem é o mais flexível em relação ao eixo que o atravessa.

Vários tipos de fixações são empregados em diferentes instalações, usando buchas de borracha.

Fixações tipo "*dynafocal*", ou isoladores de vibrações, são unidades que dão suporte direcional para motores radiais.

Dois dos mais comuns tipos de fixação "*dynafocal*"são do tipo ligação ou pedestal, mostrados na figura 8-27.

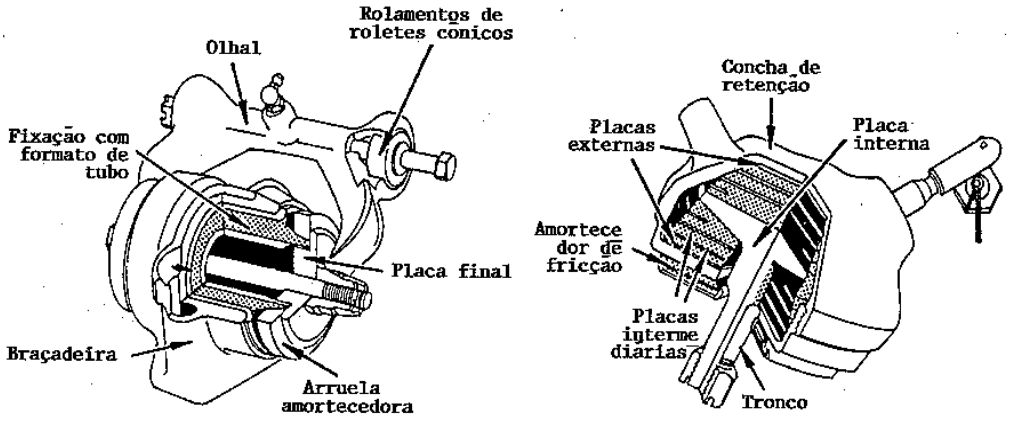


Figura 8-27 Dois tipos de fixação "*Dynafocal*".

A fixação "*dynafocal*", tipo ligação, usa uma bucha de borracha como elemento flexível. A parte externa dessa fixação é presa em uma braçadeira de liga de alumínio ou aço, e rigidamente aparafusada à orelha (ou olhal), ou ponto de fixação do berço do motor. A ligação é ajustada com rolamentos de roletes cônicos aos pontos de fixação do anel do berço do motor.

Arruelas especiais são usadas como batentes (limitantes) das extremidades das buchas de borracha (no tubo metálico interno). Essas arruelas limitam os movimentos axiais das buchas de borracha, impedindo o contato, metal com metal, entre as demais peças da submontagem.

A fixação "*dynafocal*", tipo pedestal, tem um revestimento externo composto de duas partes de aço forjado, mantidas juntas e aparafusadas no anel de berço do motor. Uma pequena folga é permitida antes que a borracha seja mantida presa entre a haste do "*dynafocal*" e o revestimento de retenção. Amortecedores de fricção são fornecidos para limitar o movimento excessivo.

Berços para motores turbojato

Os berços para motor, em se tratando de turbojatos, são relativamente simples quando comparados com as estruturas de fixação dos motores alternativos.

Entretanto, eles desempenham as mesmas funções básicas de segurar o motor, e transmitir as cargas impostas pelo motor à estrutura da aeronave.

A maioria dos berços de motores a turbina são fabricados de aço inoxidável e são localizados, em relação ao motor, conforme mostrado na figura 8-28.

Alguns sistemas de fixação de motor usam dois fixadores para suportar a parte traseira do motor, e um fixador simples para a parte dianteira.

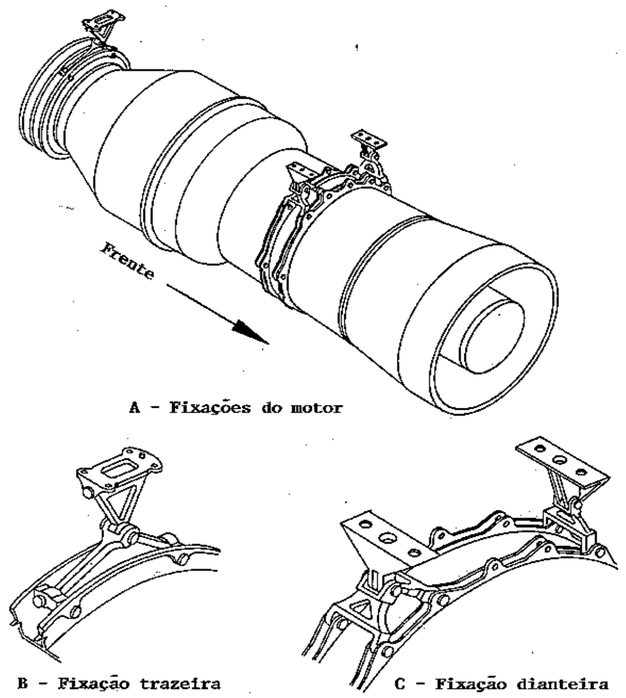


Figura 8-28 Fixações típicas de um motor a turbina.

PRESERVAÇÃO E ESTOCAGEM DE MOTORES

A um motor que esteja aguardando para ser revisado, ou para retornar ao serviço após a revisão deve ser dada atenção especial. Como não lhe será dada atenção ou cuidados diários que permitam detectar e corrigir os estágios iniciais da corrosão, então, algumas ações definitivas devem ser tomadas para prevenir a corrosão para esse motor.

Materiais de proteção preventiva contra a corrosão

Um motor que está funcionando, pode-se dizer que está livre de umidade, posto que o calor da combustão aquece todo o motor evaporando a umidade em todas as partes, além do mais, o óleo circulando por toda a parte interna do motor forma uma camada protetora que inibe o contato da umidade com as partes metálicas.

Se a operação de um motor é reduzida ou suspensa por um espaço longo de tempo, o estado de preservação do motor varia, dependendo de quanto tempo ficou inoperante.

O objetivo primário dessa discussão é dirigida à preservação de motores que tenham sido removidos de uma aeronave. Entretanto, os materiais de preservação discutidos são aplicáveis a todos os tipos de estocagem de motor.

Compostos de proteção preventiva contra a corrosão

São produtos à base de petróleo os quais formam um filme ou película, tipo graxa, sobre o metal no qual é aplicado.

Vários tipos de compostos de proteção preventiva são fabricados conforme diferentes especificações, para atender a variadas necessidades da aviação. O tipo que se mistura com óleo do motor para formar uma mistura de proteção preventiva contra a corrosão é um composto relativamente leve, que rapidamente se mistura com o óleo do motor quando a mistura é aquecida à temperatura apropriada.

Essa mistura leve é disponível em três formas: MIL-C-6529 Tipo I, Tipo II ou Tipo III. O Tipo I é um concentrado e deve ser misturado na base de uma parte desse concentrado com três partes de óleo MIL-L-22851 ou MIL-L-6082, grau 1100. O Tipo II é uma mistura já pronta com óleo MIL-L-22851, grau 1100, e não necessita de diluição. O Tipo III também é uma mistura já pronta, sendo usada quando a pretensão é a de manter o motor inativo por menos de trinta dias. É também indicado para ser pulverizado nos cilindros e em outras áreas.

A mistura desejada de óleo lubrificante, tanto com composto de proteção preventiva, leve ou pesada, não deve ser feita sobre a superfície do motor, mas deve ser feita à parte, antes de sua aplicação no motor, ou antes de ser colocada em seu cárter (ou tanque de óleo).

O composto pesado é usado para tratamento de imersão das peças e superfícies metálicas. Deve ser aquecido para diminuir sua viscosidade e, efetivamente, cobrir os objetos a serem preservados.

Um solvente comercial específico, ou jato de pulverização com querosene, é usado na remoção do composto de proteção preventiva, tanto do motor quanto das peças, assim que estes esiverem sendo preparados para o retorno ao serviço.

Embora o composto de proteção preventiva contra corrosão atue como um isolador da umidade; na presença de umidade excessiva, pode haver uma ruptura da camada isolante, permitindo o início do processo corrosivo.

Da mesma forma, o composto pode eventualmente secar por causa da evaporação gradual do seu óleo base. Este fato permitirá que a umidade entre em contato com o metal do motor, iniciando a corrosão.

Entretanto, quando um motor é guardado numa embalagem para transporte ou "container", algum agente desidratante (removedor de umidade) deve ser usado para remover a umidade do ar no ambiente do motor.

Agentes desidratantes

Há um número de substâncias (chamadas dessecantes) que podem absorver umidade da atmosfera em certa quantidade que possa ser útil como desidratante. Uma dessas substâncias é a "sílica gel". Esse gel é um agente desidratante ideal, desde que não se dissolve quando saturado.

Como um preventivo da corrosão, sacos de "sílica gel" são colocados dentro e em torno das peças, e das partes acessíveis de um motor estocado. É também usada em tampos de plástico transparentes, que podem ser encaixadas em orifícios, como o das velas de ignição. Cloreto de cobalto é usado junto com a "sílica gel" nos tampões desidratantes. Esse aditivo permite ao tampão indicar o conteúdo de umidade ou umidade relativa do ar no ambiente do motor.

A "sílica", tratada com cloreto de cobalto, apresenta uma cor azul brilhante com umidade relativamente baixa; porém, quando a umidade relativa aumenta, a tonalidade azul esmaece, tornando-se bem claro a 30% de umidade relativa, passando por vários matizes de rosa até 60% de umidade relativa quando fica branco (sua cor natural).

Quando a umidade relativa é menor que 30%, a corrosão normalmente não aparece. Por outro lado, caso os tampões de desidratação apresentem uma cor azul brilhante, isto significa que há pouca umidade interna, e a corrosão foi reduzida a um mínimo.

Esta mesma "sílica gel", tratada com cloreto de cobalto, é usada em outros tipos de indicadores de umidade. Alguns são fixados ao motor estocado, para que possam ser inspecionados através de uma pequena janela na embalagem de transporte ou "container" de metal do motor.

Todos os dessecantes são selados em embalagens lacradas para prevenir que fiquem saturados pela umidade antes de serem usados. Deve-se ter cuidado para impedir que qualquer embalagem ou "*container*"que contenha "sílica gel" fique aberta, ou impropriamente fechada.

TRATAMENTO DE PREVENÇÃO DE CORROSÃO

Antes de um motor ser removido ele pode ser operado, se possível, com mistura de proteção preventiva contra corrosão, adicionada ao sistema de óleo para retardar a corrosão através do recobrimento das partes internas do motor.

Se for impossível operar o motor antes de sua remoção da aeronave, ele deve ser manuseado, tão rápido quanto possível, da mesma forma que um motor em operação.

Qualquer motor, sendo preparado para estocagem, deve receber criterioso tratamento em torno dos dutos de exaustão. Considerando serem os resíduos dos gases de exaustão, potencialmente muito corrosivos, uma mistura de proteção contra a corrosão, deve ser borrifada em cada ponto de saída dos gases de exaustão, inclusive nas válvulas de exaustão.

Após os pontos de saída dos gases de exaustão terem sido cuidadosamente revestidos, uma tampa metálica ou de madeira, com uma junta de material à prova de água e de óleo, deve ser utilizada para isolar esses pontos de saída dos gases de exaustão, sendo fixados juntamente nos parafusos ou encaixes, onde normalmente são fixados os flanges dos dutos de emenda para o escapamento ou turbina do compressor (figura 8-29). Tais coberturas formam um selo para prevenir que a umidade entre no motor nos pontos de saída dos gases de exaustão. Os motores estocados em invólucros ("*containers*") de metal geralmente têm coberturas especiais de ventilação.

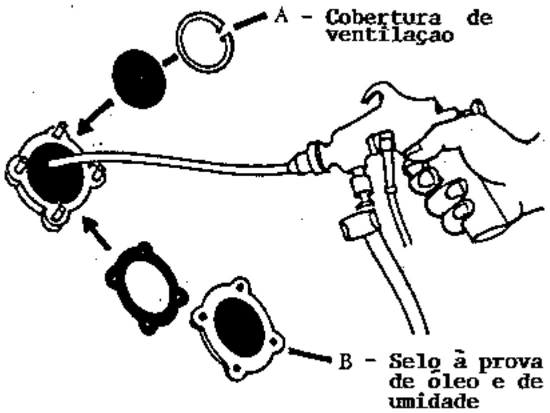

A - Cobertura de ventilaçao
B - Selo à prova de óleo e de umidade

Figura 8-29 Tratamento de vedação das aberturas de escapamento.

Para prevenir a corrosão, pulveriza-se o interior de cada cilindro com mistura de proteção contra a corrosão, para impedir que a umidade e o oxigênio entrem em contato com os depósitos deixados pela combustão.

Pulveriza-se os cilindros introduzindo o bico do pulverizador no orifício da vela de ignição, e movimentando-o, de sorte a cobrir a maior superfície interna possível. Antes de pulverizar cada cilindro, ele é colocado no seu ponto morto inferior (posição mais recuada do seu pistão). Esse procedimento permitirá que a superfície interna maior do cilindro seja pulverizada.

Após a pulverização de cada cilindro com seu pistão no ponto mais afastado, aproveita-se para, mais uma vez, pulverizar todos os cilindros com o eixo de manivelas do motor parado.

O eixo de manivelas não deve ser movido após o término da pulverização, pois a camada de mistura de proteção preventiva contra a corrosão poderá ser afastada no contato do pistão com as paredes do cilindro. Além do mais, fatalmente entrará ar nos cilindros durante o movimento dos pistões.

Também, o revestimento da mistura de proteção preventiva contra a corrosão, nas paredes dos cilindros, será raspada, expondo o metal a uma possível corrosão. Até que seja seguramente estocado na embalagem de transporte, o motor deve ter uma tarjeta (ou etiqueta) fixada com os seguintes dizeres: "Não movimente o eixo de manivelas".

Quando se prepara o motor para estocagem, os tampões com agente desidratante são colocados nos furos das velas de ignição de cada cilindro. Se o motor vai ser estocado em uma embalagem de transporte de madeira, as cablagens do sistema de ignição são presas a esses tampões, como mostrado na figura 8-30. Tampões com sistemas especiais de ventilação são instalados nos orifícios das velas de ignição nos motores, estocados na posição horizontal em embalagens de metal ("*containers*").

Caso o motor seja estocado na posição vertical, os tampões especiais são instalados somente nos furos superiores das velas de ignição de cada cilindro e, tampões comuns, não-ventilados, são instalados nos furos inferiores. Tampões cujo agente desidratante tenha sido removido, podem, nesse caso, ser usados. Outro ponto do motor a ser tampado é o duto de entrada de ar.

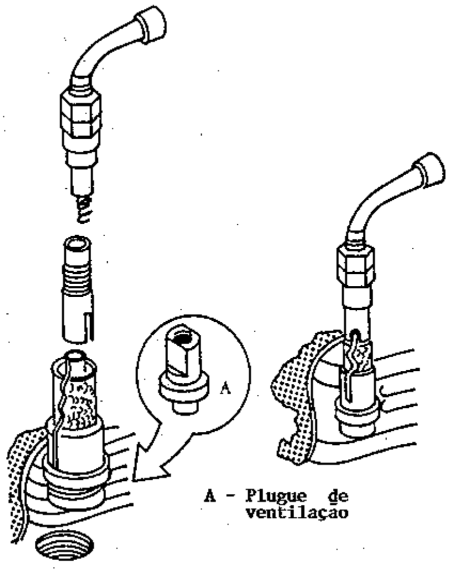


Figura 8-30 Instalação do suporte da cablagem de ignição.

Caso o carburador permaneça no motor durante a estocagem, a borboleta do carburador deve ser travada, com arame, na posição aberta, e uma tampa instalada na entrada de ar.

Se o carburador for estocado à parte (separado), o tampão é colocado no duto de entrada da mistura, e fixado nos parafusos que normalmente prendem o carburador. A junta que fica entre o tampão (de madeira, metal ou plástico) e o duto pode ser a prova dágua ou óleo.

"*Sílica gel*" pode ser colocada nos dutos de entrada de ar para o carburador, para absorverem a umidade.

Os sacos de "*sílica gel*" são geralmente presos ao próprio tampão. Isto elimina a possibilidade de esquecimento na remoção dos sacos de "sílica gel" quando os motores forem retirados do estoque.

Caso o motor fique estocado em invólucros metálicos herméticos ("*containers*") podem ser usados tampões com ventilação, sem a necessidade de utilização de sacos de "sílica gel".

Após os detalhes abaixo listados terem sido atendidos, o motor está pronto para ser colocado em sua embalagem.

Caso o motor não tenha sido pulverizado com mistura de proteção preventiva contra a corrosão, o eixo da hélice, bem como o respectivo rolamento de encosto, devem ser cobertos com o composto.

Então, uma luva de plástico ou papel à prova dágua (ou plástico) é encaixado em torno do eixo da hélice, e uma capa de proteção (luva) é atarraxada no lugar da porca de retenção da hélice.

Todas as aberturas ou orifícios dentro dos quais tampões com desidratante (ou tampões com ventilação, caso o motor esteja estocado em invólucro metálico) não tenham sido afixados, devem ser selados.

Nos pontos onde a mistura de proteção preventiva contra a corrosão possa se infiltrar para dentro do motor, como a tampa de reabastecimento e o bujão de drenagem do óleo, juntas à prova dágua e de óleo devem ser usadas entre a tampa de vedação.

Em outros pontos, fita isolante à prova dágua pode ser usada caso seja cuidadosamente instalada.

Antes de ser instalado em uma embalagem de transporte ("*container*"), o motor deve ser cuidadosamente inspecionado para confirmar se os seguintes acessórios, os quais não são partes básicas do motor, tenham sido removidos: velas de ignição e termopares das velas de ignição, adaptadores remotos de bombas de combustível (se aplicável), porcas de fixação do cubo da hélice (se aplicável), motores de partida, geradores, bombas de vácuo, bombas hidráulicas, governadores de hélice, e bombas de combustível acionadas mecanicamente pelo motor.

EMBALAGENS PARA TRANSPORTE DE MOTORES

Para proteção, os motores são selados em invólucros de plástico, ou folha fina de metal laminado (em geral, alumínio plastificado), e embalados em caixas especiais de madeira para o transporte. Em anos recentes, o emprego de "*containers*" metálicos pressurizados para a selagem de motores aeronáuticos tem sido largamente adotado.

Quando um motor radial é colocado numa caixa de madeira para o transporte, ela deve ser guinchada verticalmente, com a ponta do eixo do lado da hélice para cima, como mostrado na figura 8-31.

Enquanto o motor é suspenso sobre a base da embalagem de transporte, a placa de montagem (figura 8-32) é removida da embalagem, e as alças do invólucro protetor, no qual o motor fica selado, são presas aos parafusos de fixação da placa de montagem.

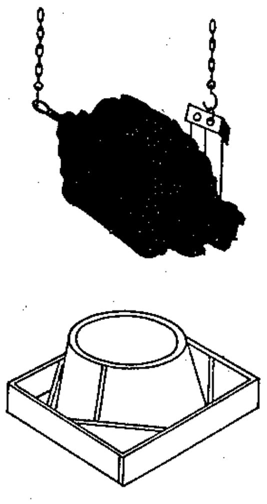


Figura 8-31 Levantamento de motor de embalagem vertical.

A placa de montagem é então aparafusada ao motor, e o invólucro é cuidadosamente levantado em torno do motor.

O motor é, então, abaixado sobre a base da embalagem de transporte, de tal modo que a placa de montagem possa ser aparafusada nela, em sua posição definitiva.

Uma vez que o anel de montagem no berço do motor é usado somente para motores radiais, o invólucro protetor é fixado diretamente na base da embalagem de transporte para outros tipos de motores.

Então, o motor é abaixado verticalmente sobre a base e aparafusado diretamente nela.

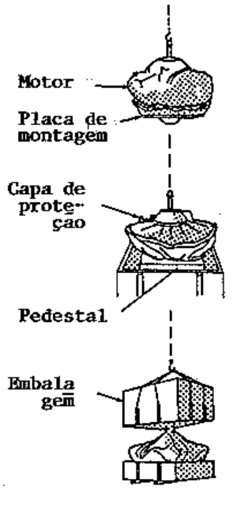


Figura 8-32 Preparando o motor para transporte.

Caso o carburador não esteja fixado ao motor, ou não haja previsão para selá-lo em um pequeno "*container*", a ser colocado dentro da embalagem de transporte, ele pode, em alguns casos, ser preso numa plataforma especialmente construída e aparafusado no motor.

Antes do invólucro protetor ser selado, "sílica gel" deve ser colocada em torno do motor, para desidratar o ar preso dentro desse invólucro. A quantidade de "*sílica gel*" a ser usada é determinada pelo tamanho do motor.

O invólucro de proteção é então cuidadosamente dobrado em torno do motor e, parcialmente selado, deixando uma abertura em uma das pontas, pela qual, assim que possível, o ar é retirado.

Um aspirador de pó, tipo comercial, é muito útil para esse própósito e, também, um meio para se deletar qualquer vazamento no invólucro. O invólucro é então completamente selado, geralmente juntando-se as bordas e colando-as com calor.

Antes de se abaixar a cobertura da embalagem de transporte sobre o motor, uma conferência rápida deve ser feita. O cartão (tarjeta ou etiqueta) indicador de umidade deve ser colocado, de sorte que possa ser visto através da janela de inspeção.

Enquanto se abaixa a cobertura da embalagem de madeira para o transporte na posição correta, deve-se ter cuidado para que não torça ou rasgue o invólucro de proteção. Fixa-se a cobertura, marcando ou carimbando a data de preservação na embalagem.

Há vários tipos de embalagens metálicas de transporte em uso. Um modelo, mostrado na figura 8-33, é parecido com a embalagem de transporte de madeira, onde é necessário que o motor seja instalado na posição vertical.

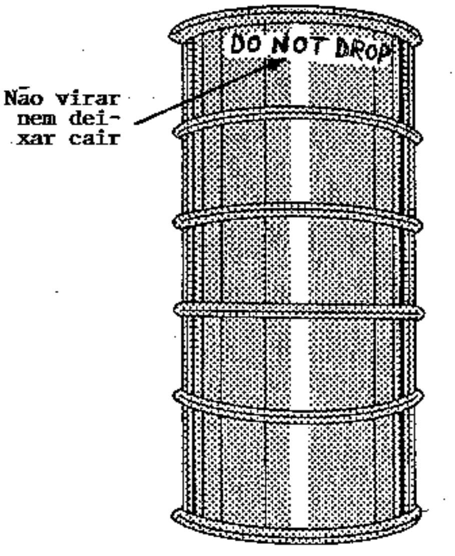


Figura 8-33 Embalagem metálica para instalação de motor na vertical.

Um outro tipo permite instalação horizontal do motor, eliminando a necessidade de um guincho adicional.

O motor é simplesmente abaixado na parte mais baixa (base) do "*container*"e fixado. Os sacos de "*sílica gel*" são colocados dentro do "*container*", geralmente em local especial.

A quantidade de "*sílica gel*" necessária para uma embalagem metálica ("*container*") é geralmente maior que a utilizada em uma embalagem de madeira de transporte, posto que o volume de ar em uma embalagem metálica é maior que aquele que circunda o invólucro de proteção, instalado em torno do motor, numa embalagem de madeira para transporte.

Considera-se, também, que em uma embalagem metálica ("*container*") os sacos de "*sílica gel*" devem desidratar o interior do motor, posto que, em vez de tampões com desidratante, são utilizados tampões de ventilação.

Todos os registros do motor devem ser colocados dentro da embalagem de transporte (no lado de fora, só para facilitar o acesso).

Um indicador de umidade deve ser fixado dentro do "*container*", caso haja uma janela de inspeção para consulta. Em seguida, o selo de borracha (junta) entre a base e a cobertura do "*container*"deve ser inspecionado cuidadosamente, uma vez que esse selo é usado muitas vezes.

Após a cobertura do "*container*" ser colocada sobre a base, e estar devidamente presa, ar seco, com pressão de 5 libras/polegadas quadradas, é injetado em seu interior. Nessa oportunidade é feita uma verificação quanto a estanqueidade (ausência de vazamentos), através do acompanhamento da queda dessa pressão.

INSPEÇÃO EM MOTORES ESTOCADOS

Muitas oficinas de manutenção fornecem um sistema programado de inspeções para motores estocados. Normalmente os indicadores de umidade de um motor estocado em embalagens de transporte são inspecionados a cada 30 dias.

Quando, porém, o invólucro de proteção for aberto para inspeção dos indicadores de umidade, o período de inspeção pode ser estendido para cada 90 dias, caso as condições locais o permitam. Para embalagens metálicas ("*container*"), em condições normais, o período de inspeção é de 180 dias.

Em embalagens de madeira, se houver um aumento de 30% da umidade (o que pode ser observado pela mudança de cor do indicador de umidade) no ar em torno do motor, todos os dessecantes (sacos e tampões) devem ser substituídos.

Caso mais da metade dos tampões, com desidratante instalados nos furos das velas de ignição, indiquem a presença de umidade excessiva, o interior dos cilindros deve ser novamente pulverizado.

Caso o indicador de umidade em uma ("*container*") embalagem metálica apresente uma cor azul, segura; mas a pressão interna tenha caído para 1 libra/polegada quadrada acima da pressão ambiente, precisa ser completada até a pressão apropriada, usando-se ar desidratado.

Entretanto, se os indicadores de umidade apresentarem uma condição insegura (cor rosada), o motor deve ser novamente preparado para estocagem.

PRESERVAÇÃO E PREPARAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE UM MOTOR A TURBINA

Os procedimentos para preservação e preparação para utilização de motores a turbina variam, dependendo do tempo de inatividade, do tipo de preservação usada, ou se o motor vai ser girado durante esse período de inatividade.

A maior parte das informações básicas sobre controle de corrosão, apresentadas na seção sobre motores alternativos, são aplicáveis a motores a turbina. Entretanto, os requisitos sobre o tipo e usos dos agentes de preservação são normalmente diferentes.

O sistema de lubrificação é geralmente drenado, e pode (ou não) ser lavado com óleo de preservaçào. Alguns fabricantes recomendam a pulverização de óleo no compressor, quando for rodado o motor. Outros vêem essa prática com cautela, ou são contra. Seguem-se sempre as instruções do fabricante quando se estiver preparando para preservar ou utilizar um motor a turbina.

CAPÍTULO 9

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA FOGO NO MOTOR

INTRODUÇÃO

Em virturde do fogo ser uma das mais perigosas ameaças a uma aeronave, as zonas de fogo em potencial de todas as multimotoras, atualmente produzidas, têm um sistema fixo de proteção de fogo.

Uma "zona de fogo" é uma área ou região da aeronave, designada pelo fabricante, que requer detecção e/ou equipamento de extinção, e um alto grau de resistência ao fogo.

O termo "fixo" significa um sistema permanentemente instalado, em contraste com qualquer tipo de equipamento extintor de fogo portátil.

SISTEMA DE PROTEÇÃO DE FOGO DE MOTORES CONVENCIONAIS

Um sistema completo de proteção contra fogo, inclui tanto um sistema de detecção como de extinção de fogo.

Para detectar fogo ou condições de superaquecimento, detectores são colocados nas várias zonas a serem monitoradas. O fogo é detectado nas aeronaves com motores convencionais, usando um ou mais dos seguintes ítens:

1- Detectores de superaquecimento;
2- Detectores de aumento da razão de temperatura;
3- Detectores de chama; e
4- Observação pela tripulação.

Somando-se a estes métodos, outros tipos de detectores são usados nos sistemas de proteção contra fogo em aeronaves, mas raras vezes são usados para detectar fogo nos motores.

Por exemplo, detectores de fumaça são mais apropriados para monitorar áreas como as que comportam bagagens, onde os materiais queimam vagarosamente ou sem chama. Outros tipos de detectores, nesta categoria, incluem os de monóxido de carbono.

Os sistemas de proteção de fogo das aeronaves, produzidas atualmente, não confiam na observação pela tripulação como um método primário de detecção de fogo. Um sistema ideal de detecção de fogo deve incluir, tanto quanto possível, as seguintes características:

1- Um sistema que não cause falsos alarmes sob qualquer condição de vôo ou no solo.
2- Rápida indicação de fogo e sua exata localização.
3- Acurada indicação de que o fogo está extinto.
4- Indicação de que o fogo foi reativado.
5- Indicação contínua da duração do fogo.
6- Possibilidade de testar eletricamente o sistema detector, desde a cabine da aeronave.
7- Detectores resistentes a danos causados pela exposição ao óleo, água, vibração, temperaturas extremas e ao manuseio.
8- Detectores que tenham pouco peso e sejam facilmente adaptáveis, em qualquer posição de montagem.
9- Detectores instalados em circuitos, operados diretamente do sistema de força da aeronave, sem inversores.
10-Exigências mínimas de corrente elétrica, quando não houver indicação de fogo.
11-Cada sistema detector deverá acender uma lâmpada na cabine, indicando a localização do fogo, e deverá ter um sistema de alarme sonoro.
12-Um sistema detector separado para cada motor.

Sistema de interruptor térmico

Um grande número de detectores, ou mecanismos sensíveis, são encontrados. A maioria das aeronaves antigas, ainda em operação, tem algum tipo de sistema de interruptores térmicos, ou sistema de pares térmicos.

Um sistema de interruptor térmico tem uma ou mais lâmpadas, energizadas pelo sistema de força da aeronave; e por interruptores térmicos que controlam a operação da lâmpada (ou lâmpadas). Esses interruptores térmicos são unidades sensíveis ao calor, que completam os circuitos elétricos a uma determinada temperatura.

Eles são concectados em paralelo um com o outro, mas em série com as luzes indicadoras (figura 9-1).

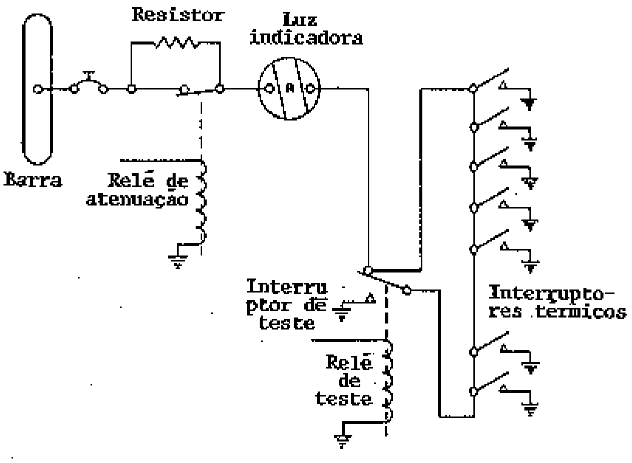

Resistor
Luz indicadora
R
Barra
Relé de atenuação
Interru ptor de teste
Relé de teste
Interruptores térmicos

Figura 9-1 Circuito de interruptores térmicos.

Se um aumento de temperatura ultrapassar um determinado valor, em qualquer seção do circuito, o interruptor térmico fechará, completando o circuito da lâmpada indicadora de fogo, ou a condição de superaquecimento.

Não existe um número certo de interruptores térmicos em cada circuito; o número exato será determinado pelo fabricante.

Em algumas instalações todos os detectores térmicos são conectados a uma única lâmpada; em outras, pode ser encontrado um interruptor térmico para cada lâmpada indicadora.

Algumas luzes de alarme são do tipo "pressione-para-testar".

O circuito apresentado na figura 9-1 inclui um relé de teste.

Com o contato do relé na posição mostrada, dois caminhos são possíveis para o fluxo da corrente dos interruptores até a lâmpada.

Este é um dispositivo adicional de segurança.

Energizando o relé de teste, um circuito em série é completado, checando toda a fiação e o filamento de todas as lâmpadas.

Também incluído no circuito mostrado na figura 9-1, há um relé de controle de brilho. Este, ao ser energizado, altera o circuito, para incluir uma resistência em série com a lâmpada.

Em algumas instalações vários circuitos são ligados através de relés de controle de brilho, e todas as luzes de advertência podem ser ofuscadas ao mesmo tempo.

Sistemas de par térmico

O sistema de aviso de fogo, em par térmico, opera por um princípio completamente diferente do sistema de interruptores térmicos.

Um par térmico depende da razão de aumento da temperatura, e não dá o alarme quando um motor superaquece lentamente, ou quando ocorre um curto-circuito. O sistema consiste em uma caixa de relés, luzes de aviso e pares térmicos.

A fiação do sistema dessas unidades pode ser dividida entre os seguintes circuitos: (1) circuito detector; (2) circuito de alarme; e (3) circuito de teste. Esses circuitos são mostrados na figura 9-2.

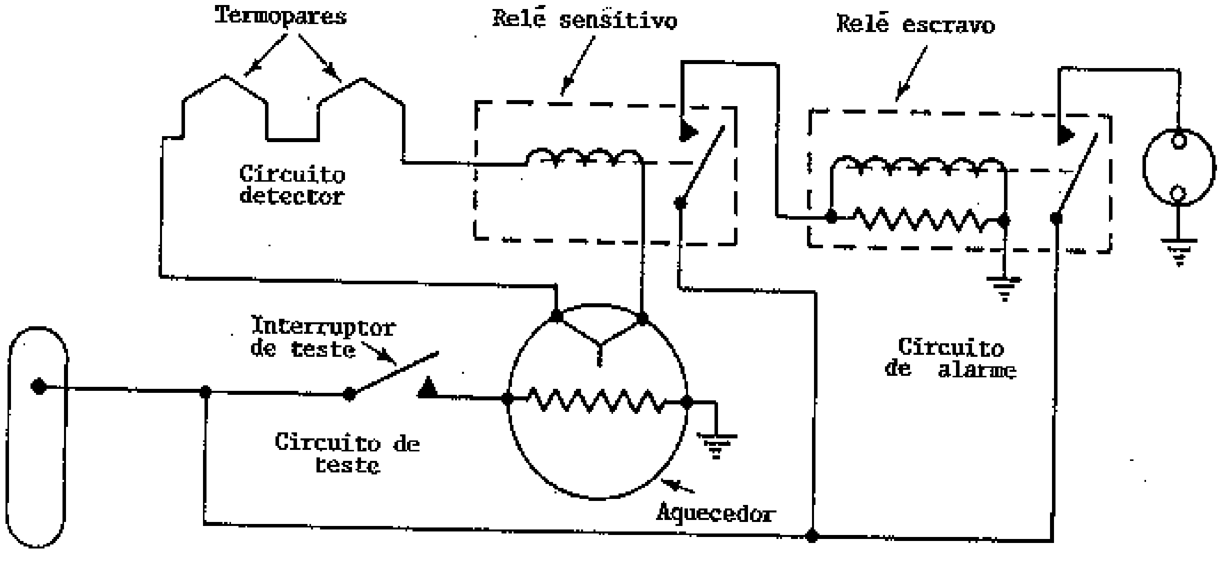

Termopares
Relé sensitivo
Relé escravo
Circuito detector
Interruptor de teste
Circuito de teste
Aquecedor
Circuito de alarme

Figura 9-2 Circuito de aviso de fogo tipo "termopar".

A caixa de relés contém dois relés, o sensível e o escravo; e ainda a unidade de teste térmico. Essa caixa pode conter de um a oito circuitos idênticos, dependendo do número de zonas potenciais de fogo.

Os relés controlam as luzes de alarme. Por sua vez, os pares térmicos controlam a operação dos relés. O circuito consiste de vários pares térmicos, em série uns com os outros, e com o relé sensível.

O par térmico é construído com dois metais diferentes, que são o cromel e o constantan. O ponto de junção dos dois metais, que será exposto ao calor, é chamado de junção quente. Há também, uma junção de referência, incluída no espaço entre os dois blocos isolantes.

Um invólucro de metal protege mecanicamente o par térmico, sem interferir no movimento livre do ar na junção quente.

Se a temperatura subir rapidamente, o par térmico produzirá uma voltagem, – por causa da diferença de temperatura entre a junções de referência e a junção quente.

Se ambas as junções forem aquecidas ao mesmo tempo, nenhuma voltagem será produzida.

Na nacele do motor, há um normal e gradual aumento de temperatura, causado pela operação do motor. Ambas as junções são aquecidas na mesma proporção, não havendo por isso, sinal de alarme.

Porém, se houver fogo, a junção quente aquecerá mais rapidamente que a junção de referência. A voltagem resultante causará um fluxo de corrente no circuito detector.

Quando a corrente for maior do que quatro miliampères (0.004 ampères) o relé sensível fechará. Isto completará o circuito do sistema de força da aeronave para a bobina do relé escravo; este fechará, completando o circuito para a lâmpada de alarme, dando uma indicação visual de fogo.

O número total de pares térmicos usados em um circuito detector, depende das dimensões das zonas de fogo e da resistência total do circuito, que geralmente não excede a 5 ohms, como mostra a figura 9-2.

O resistor conectado através dos terminais do relé escravo, absorve a voltagem auto-induzida da bobina, para evitar a formação de arco entre os pontos do relé sensível. Os contatos do relé sensível são tão frágeis, que se queimariam ou soldariam, se fosse permitida a formação de um arco.

Quando o relé sensível abre, o circuito para o relé escravo é interrompido, e o campo magnético em torno da sua bobina é encerrado. Quando isto acontece, a bobina recebe uma voltagem através da auto-indução, entretanto, com o resistor através dos terminais da bobina, é aberto um caminho para algum fluxo de corrente como resultado desta voltagem. Então, o arco nos contatos do relé sensível é eliminado.

Sistema detector de circuito contínuo

Um sistema detector contínuo, ou um sistema sensor, permite a cobertura mais eficiente de uma área de perigo de fogo do que qualquer um dos detectores de temperatura do tipo "spot".

Os sistemas contínuos são uma versão do sistema de interruptores térmicos; são os de superaquecimento, unidades sensíveis ao calor, que completam o circuito elétrico a uma determinada temperatura. Um sistema contínuo não possui sensibilidade ao aumento da razão de temperatura. Os dois tipos de detectores, usados nos sistemas de sensores contínuos, são os sistemas Kidde e o Fenwal.

No sistema contínuo kidde (figura 9-3), dois fios são envolvidos com uma camada de cerâmica especial, formando o núcleo de um tubo de Inconel.

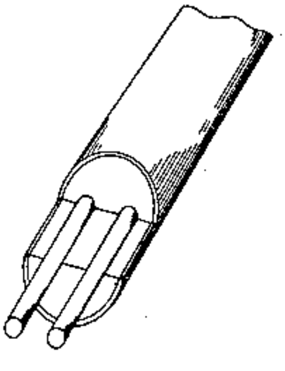


Figura 9-3 Elemento sensor “Kidde”.

Um dos dois fios no sistema sensor Kidde é soldado nos terminais do tubo envolvente, atuando como "massa" interna.O segundo fio é um condutor (acima do potencial terrestre) que permite um sinal de corrente, quando a cobertura de cerâmica dos fios altera a sua resistência com a mudança da temperatura.

O outro sistema contínuo, o Fenwall (figura 9-4), usa um fio simples envolvido em uma camada de cerâmica, dentro de um tubo de Inconel.

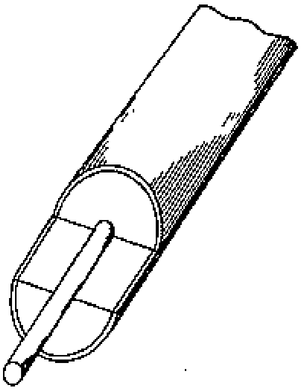


Figura 9-4 Elemento sensor "Fenwal".

A camada de cerâmica do detector Fenwal está embebida com um sal eutético, que possui características de reduzir rapidamente sua resistência elétrica, quando o elemento sensor atingir a sua temperatura de alarme.

Em ambos os sistemas, no Kidde e no Fenwall, a resistência da cerâmica ou do sal eutético evita o fluxo da corrente elétrica enquanto for normal a temperatura.

No caso de uma condição de fogo ou superaquecimento, a resistência do núcleo diminui e o fluxo de corrente flui entre o fio condutor de sinal e a "massa", energizando o sistema de alarme.

Os elementos sensores do sistema Kidde são conectados a um relé da unidade de controle.

Essa unidade constantemente mede a resistência total de todo o sensor.

O sistema sente a temperatura média, tão bem como qualquer simples ponto isolado.

O sistema Fenwal usa um amplificador magnético como unidade de controle. Esse sistema não é proporcional, mas soará um alarme quando qualquer porção do seu elemento sensor atingir a temperatura.

Ambos os sistemas continuamente monitoram as temperaturas nos compartimentos dos motores e, automaticamente, são rearmados após um alarme de fogo ou de superaquecimento.

Sistema detector do tipo "spot"

O sistema detector spot opera por um princípio diferente do sistema contínuo. Cada unidade detectora (figura 9-5) consiste de um interruptor térmico bimetálico. A maioria dos detectores spot são interruptores térmicos de terminal duplo, eletricamente acima do potencial terrestre.

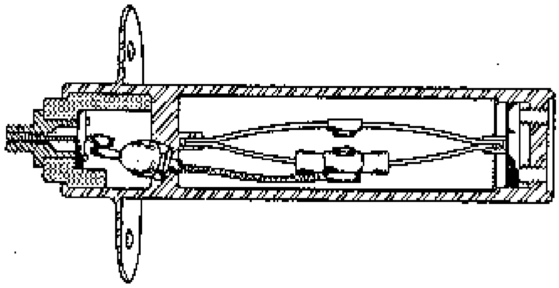


Figura 9-5 Detector "Fenwal" tipo "Spot".

Os detectores Fenwal spot são ligados em paralelo entre dois circuitos completos da fiação, como é mostrado na figura 9-6. Assim, o sistema pode resistir a uma falha, que pode ser uma abertura no circuito elétrico ou um curto para a massa, sem indicar um falso alarme de fogo.

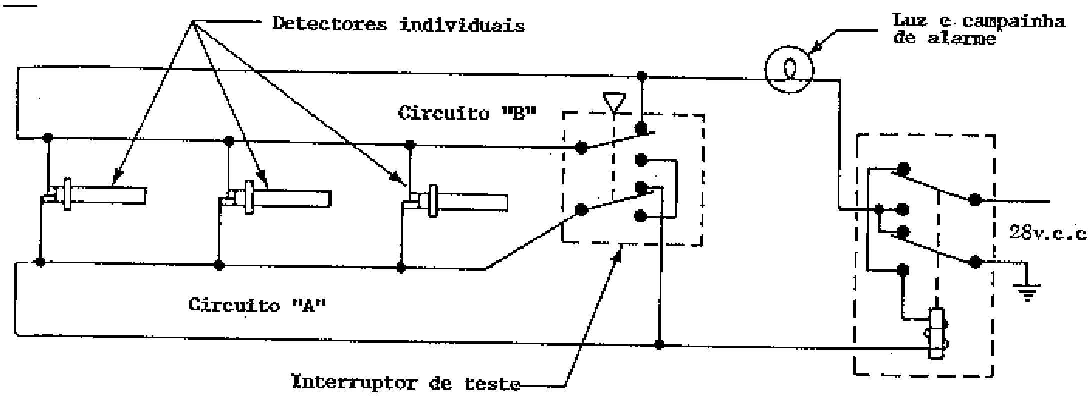


Figura 9-6 Circuito detector "Fenwal".

Uma dupla falha pode existir antes que um falso alarme de fogo possa ocorrer. No caso de uma condição de fogo ou de superaquecimento, o interruptor do detector spot fecha, completando o circuito para soar um alarme.

O sistema detector Fenwal spot opera sem uma unidade de controle.

Quando uma condição de superaquecimento ou de fogo causar o fechamento de um interruptor do detector, o alarme soará, e uma lâmpada de aviso indicando a área afetada será acesa

ZONAS DE FOGO

Os detectores de fogo do motor são localizados de acordo com as zonas de fogo. Cada motor e área da nacele normalmente é dividida em três zonas semelhantes às apresentadas na figura 9-7.

A zona I identifica a área da seção de força do motor à frente do bordo de fuga dos flapes de refrigeração até a entrada dos anéis deflectores. A zona “II” identifica a área da seção de acessórios do motor entre a entrada dos anéis deflectores e a parede de fogo, e a zona “III” identifica a área da nacele atrás da parede de fogo.

Além das zonas das áreas do motor e da nacele, outras áreas nas aeronaves multimotoras estão equipadas com sistemas de proteção e de detecção de fogo.Estas áreas incluem os compartimentos de bagagem, instalações de fonte de força auxiliar, instalações de aquecimento do combustível e outras áreas perigosas. A apresentação da proteção contra fogo para estas áreas não está incluída nesta seção, estando limitada à proteção de fogo do motor.

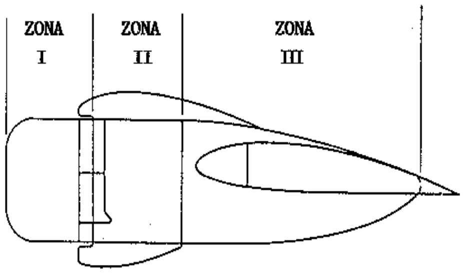


Figura 9-7 Zonas de fogo.

AGENTES DE EXTINÇÃO DE FOGO

Os sistemas fixos de extinção de fogo, usados na maioria dos sistemas de proteção contra fogo dos motores convencionais, são destinados a diluir a atmosfera com um agente inerte que não sustentará a combustão.

A maioria dos sistemas usam tubos perfurados ou bicos de descarga para a distribuição do agente extintor.

O sistema HRD (alta razão de descarga), recentemente desenvolvido, usa tubos sem restrição na saída, para liberar uma quantidade do agente extintor em 1 ou 2 segundos.

Dióxido de carbono (CO_2)

Classificação de toxicidade UL de 5a, é especialmente recomendado para o uso em fogo das classes B e C. Extingue a chama pela dissipação imediata do oxigênio da área.

Do ponto de vista de toxicidade e perigo de corrosão, o dióxido de carbono é o agente mais seguro para o uso.

Ele foi por muitos anos o agente mais amplamente utilizado. Se manipulado impropriamente, pode causar confusão mental e sufocação.

Devido a sua variação em pressão de vapor com a temperatura, torna-se necessário estocar o CO_2 em vasilhames mais resistentes do que a maioria dos requeridos para outros agentes.

Hidrocarbonetos Halogenados (normalmente chamados de Freon)

Brometo de metila (Halon 1001) - Fórmula química - CH_3 Br - um gás liquefeito, com uma classificação de toxicidade UL de 2.

O brometo de metila é um agente extintor mais eficiente do que o CO_2 ,do ponto de vista de peso. Ele é também mais tóxico do que o CO_2 e não pode ser usado em áreas onde uma concentração prejudicial possa penetrar no compartimento de pessoal.

Um agente de alarme, como uma fumaça colorida, é misturado com o brometo de metila, que poderá corroer seriamente as ligas de alumínio, magnésio ou zinco.

Clorobromometano (Halon 1011) - fórmula química - CH_2 Cl Br - é um gás liquefeito, com uma classificação de toxicidade UL de 3. Normalmente conhecido como "CB", o clorobromometano é mais tóxico do que o CO_2.

Ele é corrosivo para alumínio, magnésio, aço e latão; enão é recomendável para o uso em aeronaves.

- Classificação do comparativo perigo de vida dos agentes extintores de fogo pelo *UNDERWRITERS' LABORATORIES' (UL).*

GRUPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
6 (menos tóxico)	Gases ou vapores, os quais em concentrações acima de no mínimo 20% por volume, por duração de exposição da ordem de 2 horas, não chega a produzir danos	Bromotrifluorometano (Halon 1301)
5a	Gases ou vapores bem menos tóxicos do que o grupo 4, porém mais tóxicos do que o grupo 6	Dióxido de carbono
4	Gases ou vapores, os quais em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2 % para duração de exposição da ordem de 2 horas, são letais ou produzem sérios danos.	Dibromodifluorometano (Halon 1202).
3	Gases ou vapores, os quais em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% para duração de exposição da ordem de 1 hora, são letais ou produzem sérios danos.	Bromoclorometano (Halon 1011) Tetracloreto de carbono (Halon 104).
2	Gases ou vapores, os quais em concentrações da ordem de 1/2 a 1% para duração de exposição da ordem de 1/2 horas, são letais ou produzem sérios danos.	Metil bromide (Halon 1001)

Tabela 9-1 Tabela de toxicidade.

Tetracloreto de carbono (Halon 104) - Fórmula química - $C\ Cl_4$ - é um líquido com uma classificação de toxicidade UL de 3. Ele é venenoso e tóxico.Sempre que o tetracloreto de carbono ("carbon tet") é usado em fogo comum, são produzidos vapor de ácido clorídrico, gás de cloro e gás fosgênio.

A quantidade de gás fosgênio é aumentada sempre que o tetracloreto de carbono for posto em contato direto com metal quente, certos produtos químicos, ou arcos elétricos contínuos. Ele não é mais aprovado para uso em qualquer tipo de extintor de fogo.

Dibromodifluorometano (Halon 1201) - Fórmula química - $CBr_2\ F_2$ - é um gás liquefeito com uma classificação de toxicidade UL de 4.

Este agente não é corrosivo para o alumínio, latão e aço, e é mais tóxico do que o CO_2. Ele é um dos mais eficientes agentes extintores encontrados, mas não é recomentadado para o uso em aeronaves.

Bromoclorodifluorometano (Halon 1211) - fórmula química - $CBr\ ClF_2$ - é um gás liquefeito com uma classificação de toxicidade UL de 5.

Ele é incolor, não corrosivo, evapora rapidamente não deixando resíduo algum; não congela nem causa queimaduras, não danifica tecidos, metais ou outros materiais os quais tenha entrado em contato.

O Halon 1211 atua rapidamente contra o fogo produzindo uma camada expessa de névoa que elimina o ar da fonte do fogo, – o mais importante é que interfere químicamente com o processo de combustão. Ele possui notáveis propriedades de evitar o reacendimento após o fogo ter sido extinto.

Bromotrifluorometano (Halon 1301) - fórmula química - $C\ F_3\ Br$ - é um gás liquefeito com uma classificação de toxicidade UL de 6.

Ele tem todas as características do Halon 1211. A diferença significativa entre os dois é que o Halon 1211 expele um jato semelhante ao CO_2, enquanto o Halon 1301 tem um jato de vapor que se torna mais difícil de direcionar.

O Halon 1211 e o Halon 1301 são amplamente usados em sistemas de extinção de incêndios de alta razão de descarga (HRD), instalados em aeronaves equipadas com motor a reação ou turboélice.

Sistemas extintores de fogo de CO_2 dos motores convencionais.

O CO_2 é um dos mais antigos tipos de sistemas extintores de fogo dos motores convencionais das aeronaves de transporte, sendo ainda usado em muitas aeronaves antigas.

O sistema extintor de fogo é projetado em torno de uma garrafa de CO_2 (figura 9-8) e uma válvula de controle remoto operada da cabine.

A garrafa armazena o dióxido de carbono abafador de chama, sob a pressão requerida para distribuir o agente extintor para o motor.

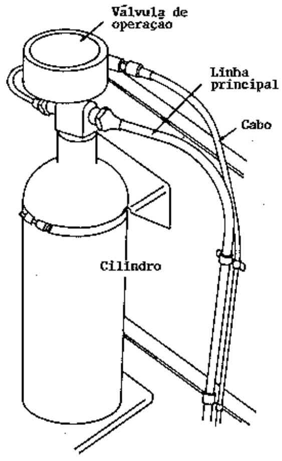


Figura 9-8 Instalação de garrafa de dióxido de carbono (CO_2).

O gás é distribuído através de tubulações da válvula da garrafa de CO_2 para o conjunto de controle da válvula na cabine, e então para os motores por tubulações, instaladas na fuselagem e tunéis da asa. A tubulação terminal, em forma de círculo, é toda perfurada envolvendo os motores (figura 9-9).

Para operar o sistema de extinção de fogo de CO_2 , a válvula seletora deve ser comandada para o motor que contenha fogo. Um puxão no punho em "T" de controle, localizado próximo a válvula seletora do motor, atua a haste de alívio da válvula da garrafa de CO_2. O líquido comprimido na garrafa de CO_2 flui em uma rápida descarga para as saídas da linha de distribuição (figura 9-9) do motor afetado. O contato com o ar converte o líquido em gás e "neve", o qual abafa a chama.

Um dos mais sofisticados tipos de sistema de proteção contra fogo de CO_2 é usado em muitas aeronaves de quatro motores. Este sistema é capaz de liberar CO_2 duas vezes para cada um dos quatro motores.

Sistemas de aviso de fogo são instalados em todas as localizações perigosas da aeronave, para fornecer um alarme em caso de fogo.

Os vários sistemas de alarme operam luzes de aviso no painel de controle de fogo na cabine, energizando, também, um alarme sonoro na cabine.

Um sistema típico de CO_2 consiste de seis garrafas, montadas três de cada lado do alojamento da roda do nariz. Válvulas de enchimento são instaladas em cada garrafa de CO_2. As garrafas de cada fileira são interconectadas.

As válvulas de duas garrafas traseiras, de cada conjunto de três, são projetadas para serem abertas mecanicamente por um cabo, conectado ao punho de controle de descarga no painel principal de controle de fogo na cabine.

Em caso de descarga pelos meios mecânicos, a válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo é operada pela pressão de CO_2, aliviada das duas garrafas traseiras através da linha de interconexão. A válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo contém um solenóide. A válvula é projetada para ser operada eletricamente, quando o solenóide for energizado pela atuação de um botão no painel de controle.

No caso de uma descarga pelos meios elétricos, as válvulas das duas garrafas traseiras de cada grupo são operadas pela pressão de CO_2, aliviada da garrafa dianteira através da linha de interconexão. Cada grupo de garrafas de CO_2 tem um disco vermelho, indicador de descarga térmica de segurança, que será rompido quando a pressão atingir ou ultrapassar 2.650 p.s.i. A descarga ocorrerá também em temperaturas acima de 74º C. Cada conjunto de garrafas também tem um disco amarelo indicador da descarga do sistema.

Montado ao lado do disco vermelho, o disco amarelo indica qual grupo de garrafas foi esvaziado por uma descarga normal.

Este tipo de sistema de proteção contra fogo de CO_2 inclui um sistema de alarme de fogo. ele é um sensor contínuo, de baixa impedância, e do tipo de religação automática para o motor e áreas da nacele do motor. Um único circuito detector de fogo é previsto para cada motor e área da nacele.

Cada circuito completo consiste de uma unidade de controle, elementos sensores, um relé de teste, uma luz de aviso de fogo e um relé do circuito de aviso de fogo.

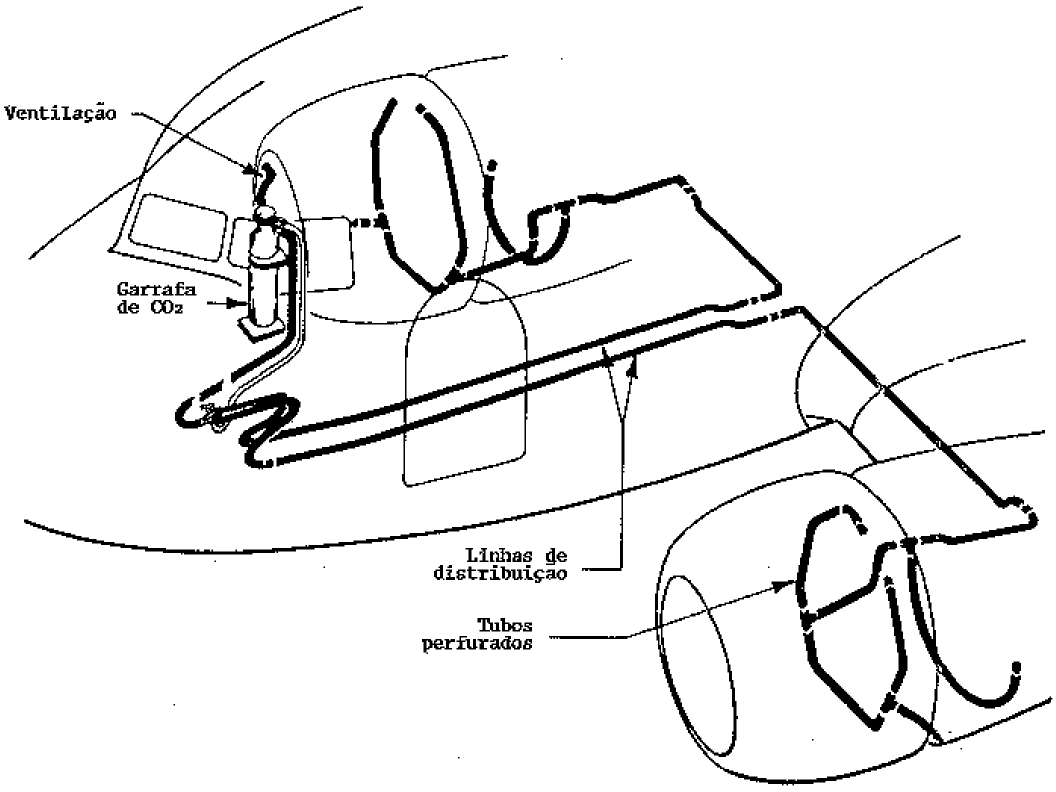


Figura 9-9 Sistema extintor de fogo de CO_2 em uma aeronave bimotora de transporte.

Equipamentos associados, como conjunto de conectores flexíveis, fios passadores de borracha, braçadeiras e presilhas de montagem, são usados em várias quantidades, dependendo das necessidades individuais da instalação.

Por exemplo, em uma aeronave de quatro motores, quatro conjuntos de luzes de alarme, sendo uma para cada motor e área da nacele, darão a correspondente indicação de aviso quando um alarme for iniciado pelo respectivo circuito de aviso de fogo do motor.

Conjunto de luzes de alarme nos punhos de comando manual de CO_2 são conectados para todos os quatro circuitos detectores de fogo do motor, em conjunto com um alarme sonoro de fogo com os seus interruptores de corte protegidos e luzes de indicação.

O fio isolado do circuito detector é encaminhado da unidade de controle no compartimento de rádio para o relé de teste.

O fio é então dirigido através da nacele e seções do motor, retornando para o relé de teste, onde ele será unido a sua outra extremidade formando um circuito contínuo.

Cada unidade de controle contém transistores, transformadores, resistores, capacitores e um potenciômetro.Ele também contém um circuito integrado, o qual introduz um retardo, que dessensibiliza o sistema de aviso para um sinal transitório de curta duração, – que de outra forma causaria falsos alarmes momentâneos.

Quando uma condição de fogo ou superaquecimento existir em um motor ou área da nacele, a resistência do sensor diminuirá, abaixo de um valor determinado pelo petenciômetro da unidade de controle, o qual está em um circuito de referência do circuito detector e amplificador da unidade de controle. A saída deste circuito energiza o alarme sonoro de aviso de fogo e a luz de aviso de fogo.

SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE FOGO DE MOTORES A TURBINA.

Diversas falhas ou danos em geral podem resultar em condições de superaquecimento ou de fogo, peculiares às aeronaves com motor a turbina por causa de suas características de operação.

Os dois principais tipos de falhas de turbina podem ser classificados como termodinâmicos ou como mecânicos. As causas termodinâmicas são aquelas que alteram a proporção do ar de refrigeração da temperatura da combustão, para os níveis em que os metais da turbina podem tolerar.

Quando o ciclo de refrigeração é alterado, as palhetas da turbina podem ser derretidas, causando uma súbita perda de empuxo. A rápida formação de gelo na tela da entrada de ar ou na entrada das aletas guias pode resultar em severo superaquecimento, causando o derretimento das palhetas da turbina, sendo arrancadas e arremessadas para fora do motor.

Falhas semelhantes podem causar a separação do cone traseiro; e possível penetração de estilhaços na estrutura da aeronave, tanques ou equipamentos próximos a roda da turbina. Em geral, a maioria das falhas termodinâmicas são causadas pelo gelo, excesso de sangria de ar ou vazamento, ou falha dos controles que permitam o estol do compressor ou excesso de combustível.

Falhas mecânicas, como quebra da palheta da turbina ou palheta arrancada, podem também levar a uma condição de superaquecimento ou fogo.

Estilhaços das palhetas podem perfurar o cone traseiro, criando uma condição de superaquecimento.

A falha dos estágios dianteiros de uma turbina de muitos estágios normalmente é muito mais severa.

A penetração no alojamento da turbina pelos estilhaços de uma palheta danificada é um possível perigo de fogo, do mesmo modo que a penetraçào nas linhas e nos componentes que contenham fluidos inflamáveis.

Um alto fluxo de combustível, através de um bico injetor mal calibrado, pode causar a queima através do cone de escapamento em alguns motores. O fogo no motor pode também ser causado pela queima de fluido que, ocasionalmente, escorra através do tubo de escapamento.

Zona de fogo dos motores a turbina

Em virtude das instalações de um motor a turbina terem diferenças marcantes das instalações de um motor convencional, os sistemas de zonas de fogo usados para a maioria dos motores convencionais, não poderão ser usados.

Uma possível zona de fogo em uma instalação de motor a turbina é qualquer área, na qual possa existir uma fonte de ignição, junto com combustíveis, vazamentos de linhas de fluido combustível, ou vapores de combustível. Os seguintes compartimentos do motor usualmente são protegidos:

1 - Seção de força do motor, incluindo os queimadores, turbina e escapamento.
2- Compressor do motor e seção de acessórios, estando incluídos o compressor e todos os acessórios do motor.
3- O compartimento do motor por inteiro, quando não existir isolamento entre a seção de força do motor e a seção de acessórios.

Agentes de extinção de fogo dos motores a turbina

Os agentes de extinção de fogo usados nos motores convencionais são, também, usados nos sistemas de proteção de fogo dos motores a turbina.

A eficiência dos vários agentes é influenciada pelo tipo de sistema de proteção de fogo no motor a ser utilizado, se ele for um sistema HRD (alta razão de descarga) melhor do que um sistema convencional, ou se for o método de distribuição por bico pulverizador, anel de esguicho ou tubo com extremidade aberta.

A escolha do agente é também influenciada pelas condições do fluxo de ar através do motor.

Tipos de detectores de fogo ou superaquecimento

A seguinte relação de métodos de detecção inclui aqueles mais usados em sistemas de proteção de fogo em motores a turbina.

O sistema completo de proteção contra fogo de uma aeronave, com os maiores motores a turbina, terá alguns destes diferentes métodos de detecção incorporados:

1- Detectores de razão de aumento da temperatura.
2- Detectores sensíveis a radiação.
3- Detectores de fumaça.
4- Detectores de superaquecimento.
5- Detectores de monóxido de carbono.
6- Detectores de vapores de combustível.
7- Detectores de fibra ótica.
8- Observação da tripulação ou passageiros.

Os três tipos de detectores mais usados para uma rápida detecção de fogo são o razão de aumento da temperatura, sensor de radiação e os detectores de superaquecimento.

Proteção de fogo no solo dos motores a turbina

O problema de fogo no solo tornou-se mais grave com o aumento do tamanho das aeronaves de motor a turbina. Por esta razão, uma conexão central de solo, para o sistema de extinção de fogo, tem sido instalada em algumas aeronaves. Estes sistemas fornecem um meio mais eficiente de extinção de fogo no solo, e eliminam a necessidade de remoção e de reabastecimento das garrafas de extinção de fogo instaladas na aeronave.

Estes sistemas usualmente incluem meios de operação do sistema inteiro, de um local como a cabine, ou da localização do suprimento do agente extintor, no solo.

Nas aeronaves não equipadas com a conexão central de solo para o sistema de extinção de fogo, normalmente são previstos meios de um rápido acesso ao compressor, escapamento ou compartimento dos queimadores. Por isso, a maioria dos sistemas da aeronave estão equipadas com portas de acesso de abertura rápida, na superfície externa de vários compartimentos.

O fogo na parte interna do escapamento dos motores, durante o corte ou falsa partida, pode ser eliminado pelos giros do motor com o motor de partida.

Se o motor já estiver funcionando, ele pode ser acelerado para atingir o mesmo resultado. Se o fogo persistir, um agente extintor pode ser dirigido ao interior do tubo de escapamento. O que deve ser levado em conta, é que o uso excessivo de CO_2, ou outro agente que tenha o efeito de resfriamento, pode contrair o alojamento da turbina ou a própria turbina, causando a desintegração do motor.

SISTEMA TÍPICO DE PROTEÇÃO DE FOGO DE MULTIMOTORES

Um sistema de proteção de fogo de motores a turbina para uma aeronave multimotora é descrito em detalhes nos parágrafos seguintes.

Este sistema é típico da maioria das aeronaves de transporte com motores a reação, e inclui componentes e sistemas semelhantes encontrados em todas aquelas aeronaves. Deve ser enfatizado que os procedimentos de manutenção e detalhes de instalação, de cada tipo de aeronave em particular, são uma função da configuração específica da aeronave.

O sistema de proteção contra fogo da maioria das grandes aeronaves com motor a turbina consiste de dois subsistemas: um sistema detector de fogo e um sistema de extinção de fogo. Estes dois subsistemas proporcionam proteção contra fogo, não somente no motor e áreas da nacele, mas também em áreas como os compartimentos de bagagem e alojamento das rodas. Aqui, serão discutidos apenas os sistemas de proteção contra fogo do motor.

Cada motor a turbina instalado em uma nacele suspensa contém um circuito de detecção de fogo, que é automático e sensível ao calor. Este circuito consiste de uma unidade sensível ao calor, uma unidade de controle, um relé e dispositivos de alarme. Normalmente os dispositivos de alarme incluem uma luz de aviso na cabine para cada circuito, e um alarme sonoro para todos os circuito em conjunto.

A unidade sensora de calor de cada circuito possui um detector contínuo em torno das áreas a serem protegidas.

Essas áreas são os queimadores e a área do escapamento. Também incluídas, na maioria dos sistemas de extinção de fogo das aeronaves, estão a área do compressor e a área dos acessórios, as quais em algumas instalações podem ser protegidas por um circuito separado de proteção de fogo. A figura 9-10 ilustra a rota típica de um detector contínuo de fogo em um motor instalado em nacele suspensa.

Um detector contínuo típico é formado por uma série de elementos unidos por conectores a prova de umidade, os quais são fixados à estrutura da aeronave. Na maioria das instalações, o detector contínuo é preso por dispositivos ou presilhas a cada 10 ou 12 polegadas de distância. Um espaço maior entre os suportes pode permitir vibração ou atrito da seção livre, e tornar-se uma fonte de falsos alarmes.

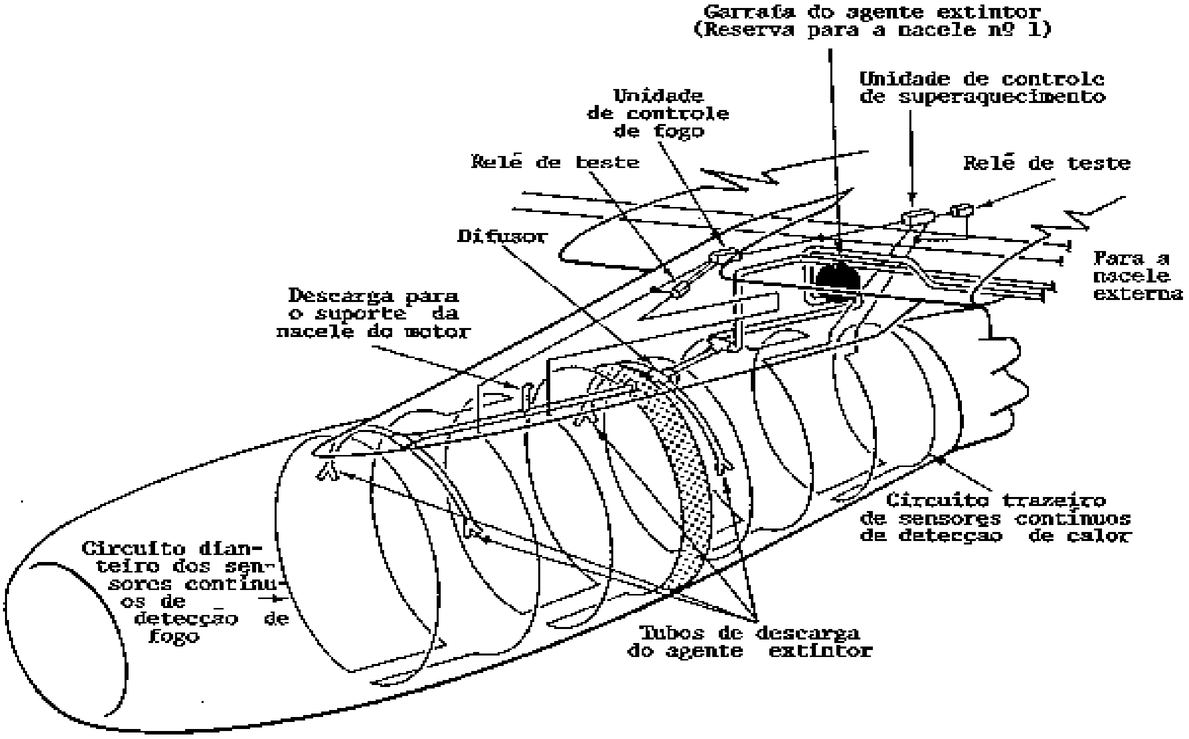

Garrafa do agente extintor (Reserva para a nacele nº 1)
Unidade de controle de fogo
Unidade de controle de superaquecimento
Relé de teste
Relé de teste
Difusor
Para a nacele externa
Descarga para o suporte da nacele do motor
Circuito traseiro de sensores contínuos de detecção de calor
Circuito dianteiro dos sensores contínuos de detecção de fogo
Tubos de descarga do agente extintor

Figura 9-10 Instalação típica de proteção da nacele do motor e seu suporte (“Pylon”).

Em um típico sistema detector de fogo de um motor a turbina, uma unidade de controle individual é prevista para cada circuito sensor. A unidade de controle contém um amplificador transistorizado ou magnético, o qual produz uma saída, quando um fluxo de corrente predeterminado de entrada for detectado pelo sensor contínuo.

Cada unidade de controle também contém um relé de teste, que é usado para simular uma condição de fogo ou de superaquecimento para o circuito de teste.

A saída do amplificador, da unidade de controle, é usada para energizar um relé de aviso, muitas vezes chamado de "relé de fogo". Normalmente localizado próximo às unidades de controle, estes relés de fogo, quando energizados, completam o circuito para o apropriado dispositivo de aviso.

Os dispositivos de aviso para as condições de fogo e superaquecimento do motor e nacele estão localizados na cabine. Uma luz de aviso de fogo para cada motor, normalmente é localizada em um interruptor especial de fogo na forma de um punho, localizado no painel de instrumentos ou no painel de controle de fogo. Estes interruptores de fogo são, algumas vezes, chamados de "punhos de fogo".

Conforme está ilustrado na figura 9-11, o punho de fogo contém a luz de aviso de detecção de fogo.

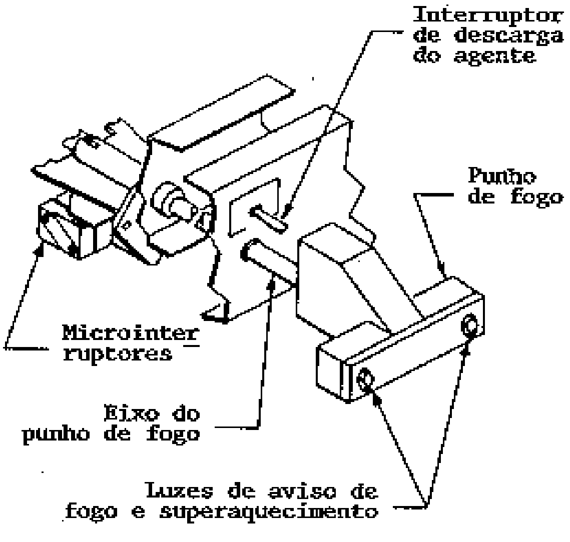

Interruptor de descarga do agente
Punho de fogo
Microinterruptores
Eixo do punho de fogo
Luzes de aviso de fogo e superaquecimento

Figura 9-11 Interruptor e punho de fogo.

Em alguns modelos deste punho interruptor de fogo, ao ser puxado, deixa exposto um interruptor, que anteriormente era inacessível, o qual comanda o agente extintor e também atua microinterruptores que energizam as válvulas de corte de emergência e outras válvulas pertinentes.

Sistema de extinção de fogo de motores a turbina

A parte de extinção de fogo de um típico sistema de proteção de fogo completo, inclui uma garrafa ou reservatório de um agente extintor para cada motor ou área da nacele. Um tipo de instalação provê uma garrafa de agente para cada uma das naceles suspensas de uma aeronave multimotora.

Este sistema usa uma garrafa ou reservatório de agente extintor semelhante ao tipo mostrado na figura 9-12.

Este tipo de garrafa é equipado com duas válvulas de descarga que são operadas por cartuchos disparados eletricamente. Estas duas válvulas são o controle principal e o reserva, que liberam e dirigem o agente para a nacele suspensa, na qual a garrafa está localizada, ou para o outro motor da mesma asa.

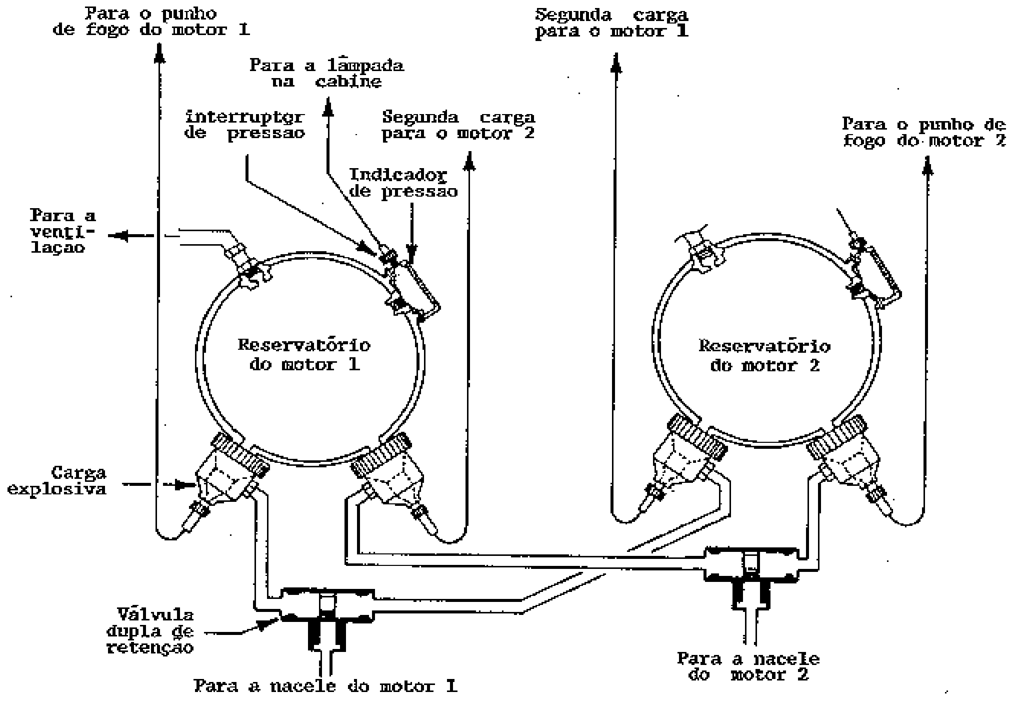

Para o punho de fogo do motor 1
Para a lâmpada na cabine
Interruptor de pressao
Segunda carga para o motor 2
Indicador de pressao
Para a ventilaçao
Reservatório do motor 1
Carga explosiva
Válvula dupla de retençao
Para a nacele do motor 1
Segunda carga para o motor 1
Para o punho de fogo do motor 2
Reservatório do motor 2
Para a nacele do motor 2

Figura 9-12 Sistema de extinção de fogo para uma aeronave multimotora.

Este tipo de tiro duplo, configuração de alimentação cruzada, permite a liberação de uma segunda carga de agente extintor de fogo para o mesmo motor, se um outro foco de fogo ocorrer, sem a condição de duas garrafas para cada área do motor.Um outro tipo de instalação para quadrimotores, usa dois sistemas independentes de extinção de fogo.

Os dois motores do mesmo lado da aeronave são equipados com dois reservatórios de agente extintor (figura 9-13), mas eles estão localizados juntos na nacele suspensa interna. Um indicador da pressão, um plugue de descarga, e uma conexão de segurança são previstos para cada reservatório. plugue de descarga é selado com um disco quebrável, combinado com uma carga explosiva que é eletricamente detonada para descarregar o conteúdo da garrafa. A conexão de segurança é fixada na parte interna da estrutura com um indicativo disco vermelho. Se a temperatura ultrapassar um predeterminado valor de segurança, o disco será rompido, extravazando o agente.

A conexão de alimentação dos dois reservatórios de uma instalação dupla (figura 9-13) inclui uma válvula de retenção dupla e uma conexão em "T", da qual as tubulações são ligadas ao indicador de descarga.Este indicador é fixado na parte interna da estrutura com um indicativo disco amarelo, que é rompido quando a linha de alimentação for pressurizada por qualquer uma das garrafas.

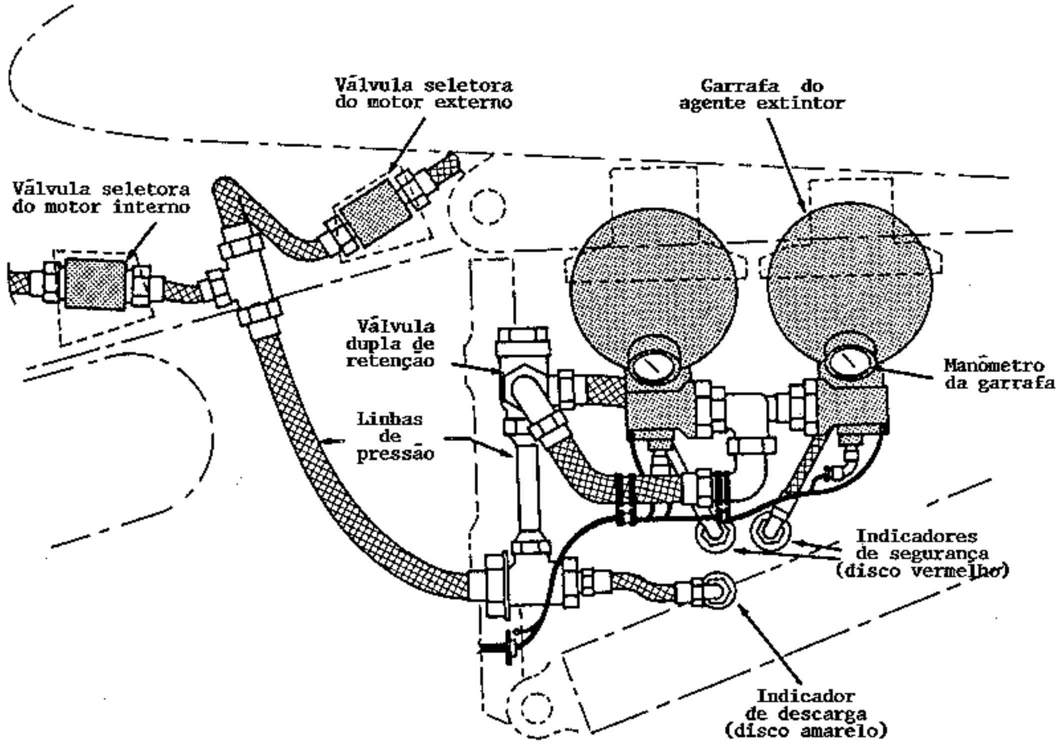

Válvula seletora do motor externo
Garrafa do agente extintor
Válvula seletora do motor interno
Válvula dupla de retenção
Linhas de pressão
Manômetro da garrafa
Indicadores de segurança (disco vermelho)
Indicador de descarga (disco amarelo)

Figura 9-13 Instalação de garrafas e conexões.

A linha de descarga tem dois ramais (figura 9-13), uma linha pequena para o motor interno e uma mais comprida estendendo-se pelo bordo de ataque da asa para o motor externo. Ambos os ramais terminam em uma conexão em "T", próxima a fixação dianteira do motor.

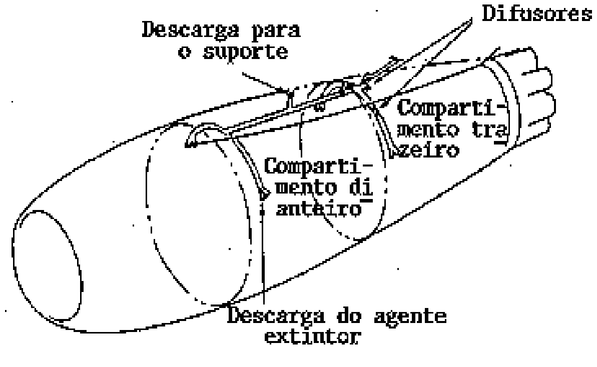

Difusores
Descarga para o suporte
Compartimento trazeiro
Compartimento dianteiro
Descarga do agente extintor

Figura 9-14 Tubos de descarga do agente extintor.

Um outro tipo de instalação da descarga do agente extintor de fogo é mostrado na figura 9-15. A linha de descarga termina em um bico injetor em "T" próximo ao suporte dianteiro do motor. A conexão "T" contém orifícios difusores, que permitem que o agente extintor seja lançado ao longo da parte superior e de ambos os lados do motor.

Quando qualquer seção do sensor contínuo estiver exposta a uma condição de fogo ou superaquecimento, a luz de aviso na cabine acenderá e o alarme sonoro soará. A luz de aviso pode estar localizada no punho de fogo; em algumas instalações o interruptor de fogo pode incorporar uma luz de aviso a um motor em particular, sob uma cobertura de plástico translúcido, como é mostrado na figura 9-16. Neste sistema, um interruptor de transferência é instalado para o sistema de extinção de fogo esquerdo e direto. Cada interruptor de transferência tem duas posições: "TRANS" e "NORMAL".

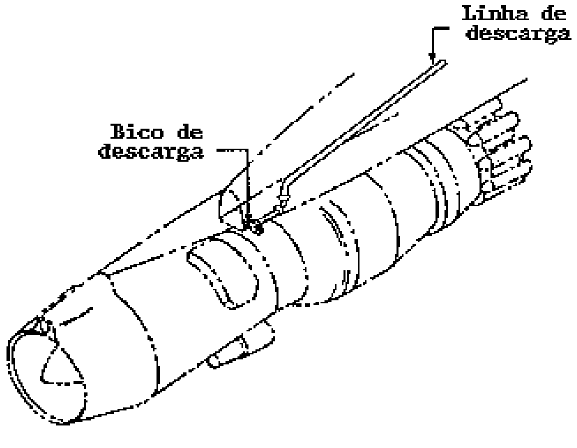

Linha de descarga
Bico de descarga

Figura 9-15 Localização dos bicos de descarga do agente extintor.

Se ocorrer uma condição de fogo no motor número 4, a luz de aviso no interruptor de fogo número 4 acenderá com o interruptor de transferência na posição "NORMAL"; o interruptor de fogo número 4 é puxado; e o interruptor de descarga número 4, localizado diretamente sob o punho de fogo, ficará acessível. Ativando o interruptor de descarga, o agente extintor será enviado da garrafa para a área do motor número 4. Se for necessário mais do que uma descarga do agente extintor, o interruptor de transferência deverá ser colocado na posição “TRANS” para que a segunda garrafa possa ser descarregada naquele mesmo motor.

Um controle do alarme sonoro permite que qualquer um dos circuitos de detecção de fogo dos motores, energize o alarme sonoro comum. Após o alarme ter soado, ele poderá ser silenciado pelo acionamento do interruptor de corte do alarme (figura 9-16).

O alarme sonoro pode também reagir a um sinal de fogo, vindo de qualquer um dos outros circuitos.

A maior parte dos sistemas de proteção contra fogo para as aeronaves com motor a turbina, inclui também um interruptor de teste e um circuito, que permite que o sistema de detecção seja testado inteiramente, a qualquer tempo. O interruptor de teste está localizado no centro do painel, mostrado na figura 9-16.

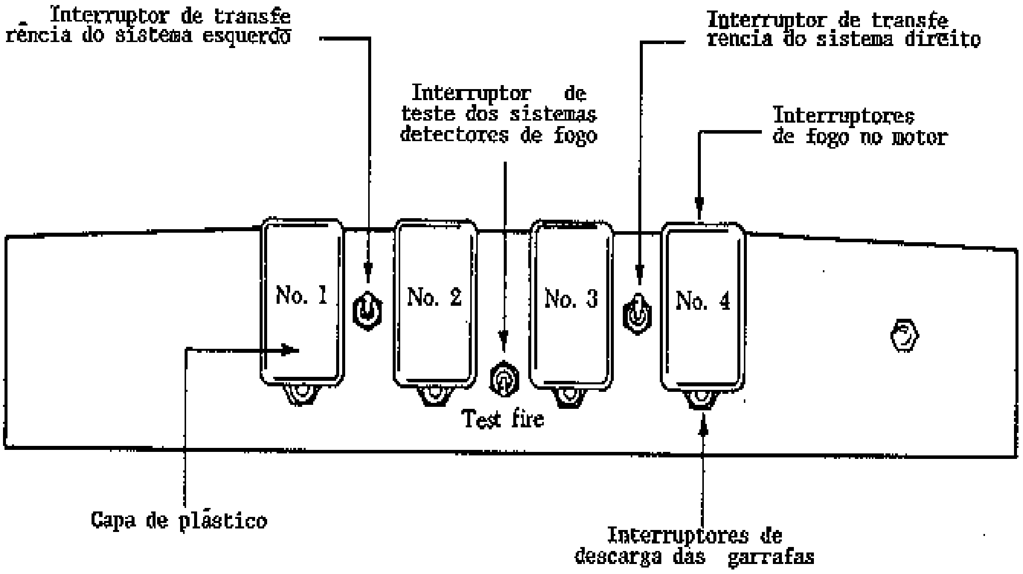

Interruptor de transferência do sistema esquerdo
Interruptor de teste dos sistemas detectores de fogo
Interruptor de transferência do sistema direito
Interruptores de fogo no motor
No. 1
No. 2
No. 3
No. 4
Test fire
Capa de plástico
Interruptores de descarga das garrafas

Figura 9-16 Interruptor do sistema de detecção e extinção de fogo.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO

Os elementos sensores de detecção de fogo estão localizados em muitas áreas de grande atividade em torno dos motores das aeronaves. Sua localização, junto com sua pequena dimensão, aumenta a chance de danos aos elementos sensores durante a manutenção. A instalação dos elementos sensores, dentro dos painéis das naceles nas aeronaves, proporciona algumas medidas de proteção não fornecidas aos elementos fixados diretamente no motor.

Por outro lado, a remoção e a instalação dos painéis das naceles podem facilmente causar atritos ou defeitos estruturais aos elementos sensores.

Um programa de inspeção e manutenção, para todos os tipos de sistemas de sensores contínuos, deverá incluir os seguintes cheques visuais.

Estes procedimentos são apenas exemplos, e não deverão ser usados em substituição às aplicáveis instruções do fabricante.

Os elementos sensores de um sistema contínuo deverão ser inspecionados nos seguintes ítens:

1. Seções rachadas ou quebradas, causadas por choque ou aperto entre janelas de inspeção, painéis das naceles ou componentes do motor.

2. Desgaste causado pelo atrito do elemento com o revestimento, acessórios ou membros estruturais.
3. Peças de arame de freno, ou outras partículas de metal, que possam formar um curto-circuito nos terminais do detector.

4. Condições das juntas de borracha nas braçadeiras de montagem, que podem ter sofrido amolecimento pela exposição a óleo, ou endurecimento pelo calor excessivo.

5. Mossas ou dobras nas seções dos elementos sensores. Os limites do diâmetro dos elementos, as mossas e as dobras aceitáveis e o grau de suavidade dos contornos dos tubos são especificados pelo fabricante. Nenhum esforço deve ser feito para endireitar qualquer mossa ou dobra aceitável, porque o esforço poderá causar uma falha na tubulação (veja na figura 9-17 um exemplo de falha na tubulação).

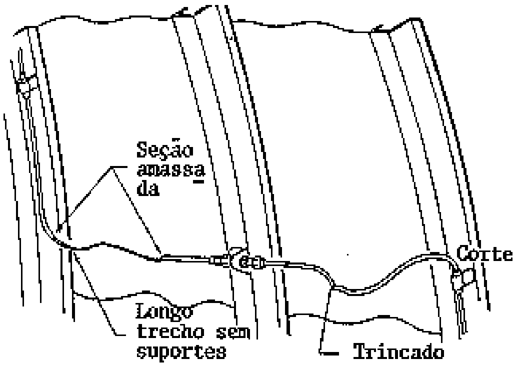


Figura 9-17 Defeitos do elemento sensor.

6. As porcas nos terminais dos elementos sensores (figura 9-18) deverão ser inspecionadas quanto ao aperto e frenagem. As porcas frouxas deverão ser apertadas para o valor de torque especificado pelas instruções do fabricante.

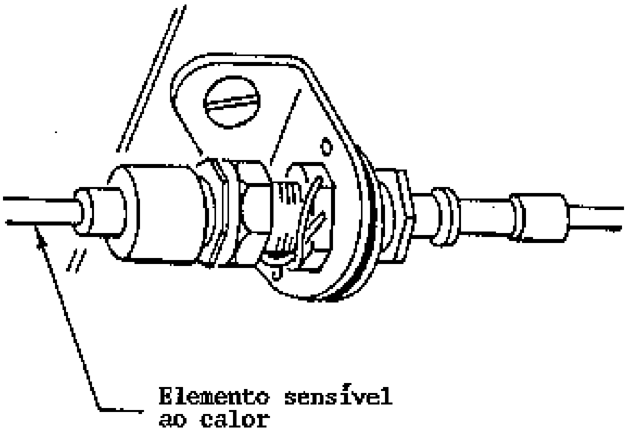


Figura 9-18 Junta conectora fixada à estrutura..

Alguns tipos de juntas de conexão de elementos sensores requerem o uso de juntas de atrito de cobre. Essas juntas deverão ser substituídas todas as vezes que a conexão for desfeita.

7. Se forem usados cabos flexíveis blindados, eles deverão ser inspecionados quanto ao desgaste da malha externa. A blindagem é feita de uma malha de finos fios de metal trançados dentro de uma cobertura, que envolve um fio isolado. Contínuas dobras do cabo ou um tratamento grosseiro poderão partir esses fios finos, especialmente aqueles próximos das conexões.

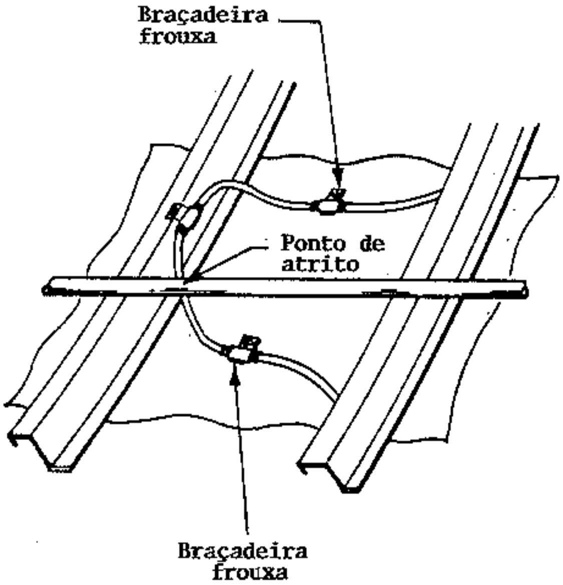


Figura 9-19 Interferência por atrito.

8 A rota dos elementos sensores e a fixação devem ser inspecionados cuidadosamente (figura 9-19). Seções muito longas entre suportes podem permitir excessiva vibração e causar a quebra. A distância entre as braçadeiras de fixação nos espaços retos, deve ser normalmente de 8 a 10 polegadas, conforme a especificação de cada fabricante. O primeiro suporte de fixação após uma conexão, normalmente é colocado entre 4 e 6 polegadas da conexão de junção. Na maioria dos casos, uma reta de 1 polegada é mantida antes e após um conector, para então ser feita uma curva. Um raio de curva de 3 polegadas, normalmente é usado também.

9. A interferência entre o elemento sensor e um tirante da nacele pode causar atrito (figura 9-19). Esta interferência pode causar desgaste e curto-circuito no elemento sensor.

10.Os anéis isolantes deverão estar instalados no elemento sensor, centralizados com a braçadeira de fixação. O final cortado do isolante deverá estar voltado para a parte curva da braçadeira. As braçadeiras e os anéis isolantes deverão fixar o elemento sem danificá-lo (ver a figura 9-20).

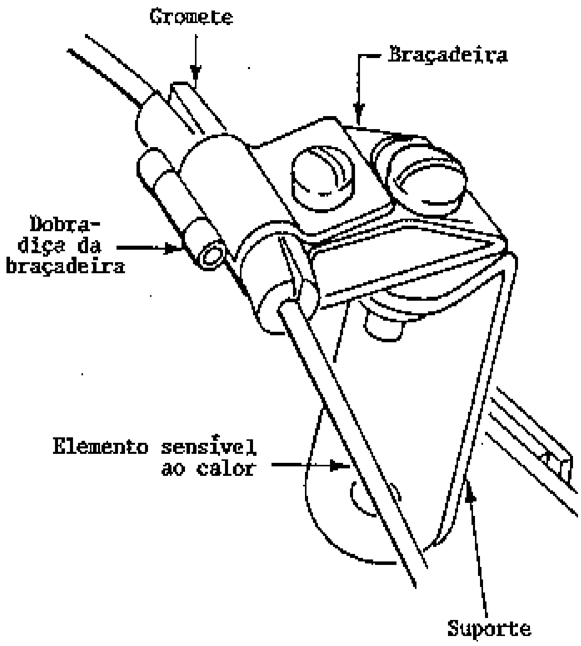


Figura 9-20 Braçadeira típica de fixação do elemento sensor.

Pesquisa de panes do sistema de detecção de fogo

Os seguintes procedimentos de pesquisa de panes representam a maior parte das dificuldades comuns encontradas nos sistemas de detecção de fogo do motor:

1. Alarmes intermitentes são, na maioria das vezes, causados por um curto-circuito intermitente na fiação do sistema detector. Tais curtos podem ser causados por um fio solto ou frouxo que, ocasionalmente, toca em um terminal; um fio desgastado atritando em um membro da estrutura; ou ainda o elemento sensor atritando na estrutura o suficiente para desgastar o isolante. As falhas intermitentes muitas vezes podem ser localizadas pelo movimento dos fios para recriar o curto-circuito.

2. Alarmes de fogo e luzes de aviso acesas podem ocorrer mesmo quando não houver fogo no motor ou condição de superaquecimento. Estes falsos alarmes podem ser mais facilmente localizados pela desconexão do sensor contínuo do motor na unidade de controle. Se o falso alarme cessar quando o sensor for desconectado, a falha é no sensor contínuo que deverá ser examinado nas áreas que tenham a possibilidade de entrar em contato com as partes quentes do motor. Se nenhuma destas áreas for encontrada, a seção em curto pode ser localizada isolando as conexões dos elementos, consecutivamente, até o final do sensor contínuo.

3. Torções ou dobras acentuadas no elemento sensor podem causar um curto-circuito intermitente entre o fio interno e a tubulação externa. A falha pode ser localizada checando o elemento sensor com um ohmímetro, enquanto aplicar leves batidas nas áreas suspeitas do elemento sensor para produzir o curto.

4. Umidade no sistema de detecção raramente causa um falso alarme de fogo. Se, no entanto a umidade causar um alarme, o aviso persistirá até que a contaminação seja removida ou desapareça com o calor, e a resistência do sensor retorne ao seu valor normal.

5. Falha em obter um sinal de alarme, quando o interruptor de teste é atuado, pode ser causada por um defeito no interruptor de teste ou na unidade de controle, deficiência de energia elétrica, lâmpada indicadora inoperante, uma interrupção no elemento sensor ou na conexão da fiação. Quando o interruptor de teste falha em proporcionar uma condição de alarme, a atuação de um sensor contínuo de dupla fiação pode ser determinada pela abertura do sensor e medição da resistência. Em um sensor contínuo de fiação simples, o condutor central deverá ser ligado à massa.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA EXTINTOR DE FOGO

A manutenção regular dos sistemas típicos de extinção de fogo inclui itens, como a inspeção e o recarregamento das garrafas (reservatórios), remoção e reinstalação dos cartuchos e válvulas de descarga, teste das tubulações de descarga quanto a vazamentos, e testes de continuidade da fiação elétrica.

Os parágrafos seguintes contêm detalhes de alguns dos mais típicos procedimentos de manutenção.

Os reservatórios do agente extintor são checados periodicamente, para determinar se a pressão está entre os limites máximo e nínimo previstos. Mudanças de pressão com a temperatura ambiente, também devem estar dentro dos limites previstos. O gráfico da figura 9-21 é típico da curva pressão-temperatura, que fornece a máxima e a mínima leitura do instrumento. Se a pressão não cair dentro dos limites do gráfico, o reservatório deve ser substituído.

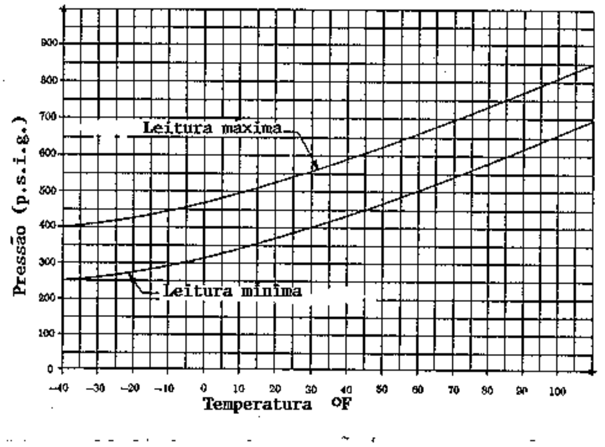


Figura 9-21 Curva de pressão/temperatura dos reservatórios de agente extintor de fogo.

O tempo de vida do cartucho de descarga do extintor de fogo é fornecido por um carimbo estampado pelo fabricante, que é, normalmente, colocado na face do cartucho. O tempo de vida recomendado pelo fabricante é freqüentemente em termos de horas antes de uma predeterminada temperatura limite.

Os cartuchos são fornecidos com um tempo de vida de aproximadamente 5.000 horas. Para determinar o tempo de validade não utilizado de um cartucho de descarga, normalmente será necessário remover o cabo condutor de eletricidade e a linha de descarga do corpo do plugue, o qual pode então ser removido do reservatório do extintor.

Em um tipo de reservatório de extintor de fogo, a data pode ser vista sem remover o corpo do plugue.

Ver na figura 9-22 a localização dos componentes de um reservatório típico de extintor de fogo.

Muito cuidado deve ser tomado na substituição do cartucho e das válvulas de descarga. A maioria dos novos reservatórios de extintores são supridos com os seus cartuchos e válvulas de descarga desmontadas.

Antes da instalação na aeronave, o cartucho deve ser montado de maneira correta na válvula de descarga, e a válvula conectada ao reservatório por meio de uma porca serrilhada (tipo conexão elétrica), que aperta de encontro a um anel de vedação, como ilustrado na figura 9-22.

Se um cartucho for removido de uma válvula de descarga por qualquer razão, ela não deverá ser usada em outra válvula de descarga, porque a distância do ponto de contato pode variar de uma unidade para outra.

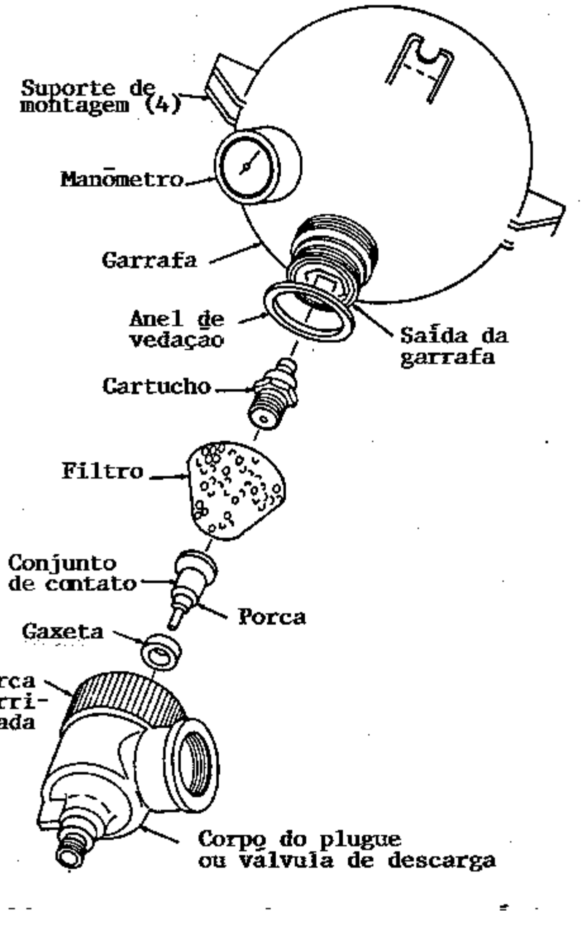


Figura 9-22 Componente de um reservatório típico de agente extintor de fogo.

Dessa forma poderá não existir continuidade, se um plugue que foi usado com um longo ponto de contato, for instalado em uma válvula de descarga com um menor ponto de contato.

Todos os assuntos apresentados, até aqui neste capítulo, foram relativos aos procedimentos de natureza geral com os princípios envolvidos e os procedimentos gerais a serem seguidos.

Quando executando realmente os procedimentos de manutenção, consulta-se sempre os aplicáveis manuais de manutenção e outras publicações relativas àquela aeronave em particular.

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA FOGO DE AERONAVE TURBOJATO (SABERLINER)

Esta descrição do sistema de proteção contra fogo, instalado no Saberliner, é incluída com o propósito de familiarização.

Um sistema fixo de extinção de fogo de alta razão de descarga está disponível para cada nacele de motor.

Os elementos detectores de fogo estão localizados em pontos estratégicos dentro de cada nacele, como ilustrado na figura 9-23.

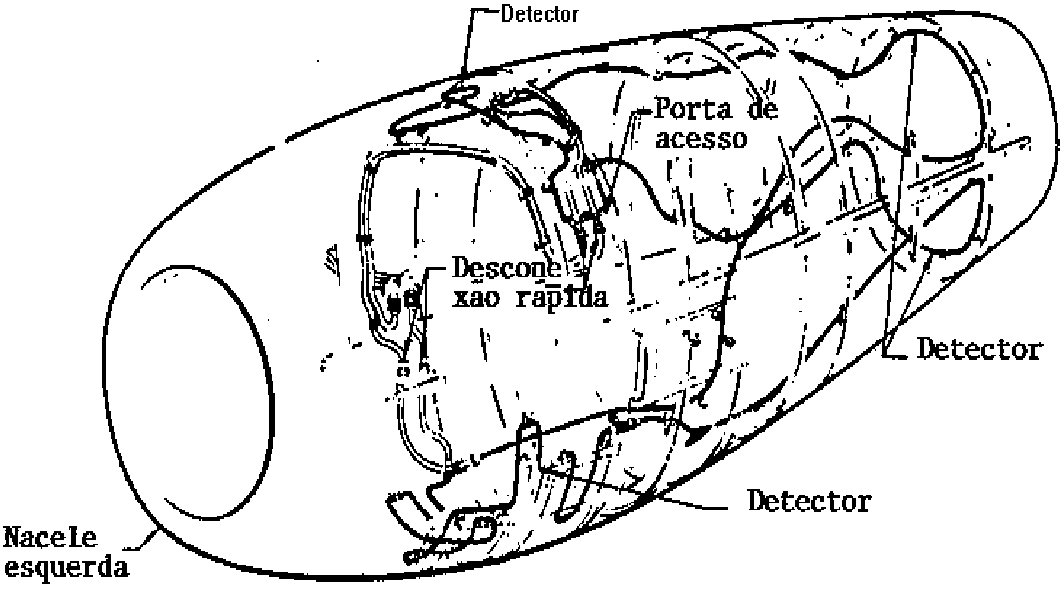


Figura 9-23 Sistema de detecção de fogo.

Dois reservatórios pressurizados contêm o agente extintor bromotrifluorometano.
Este agente pode ser dirigido de cada um dos reservatórios, para cada uma das naceles dos motores, como necessário.

As linhas de descarga de cada reservatório se juntam em uma válvula de retenção dupla, em "T", para seguirem daí em uma linha única de descarga.

A válvula unidirecional evita que um reservatório descarregue o seu conteúdo dentro da linha do outro reservatório.

O sistema é controlado da cabine pelo uso de um punho manual e mais um interruptor seletor elétrico. Dois discos indicadores de descarga, montados externamente na fuselagem, indicam tanto a descarga manual do reservatório, como a descarga automática ocasionada por condições externas.

Um indicador de pressão é montado em cada reservatório. O cartucho na válvula de descarga do extintor número 1 ou do extintor número 2 (figura 9-24) é acionado por 28 volts de corrente DC, quando um punho "FIRE PULL" é puxado e o seletor extintor de fogo é atuado para EXT nº 1 ou EXT nº 2.

Uma válvula direcional então dirige o agente extintor para o devido motor, de acordo com o punho "FIRE PULL" que foi puxado. Quando o cartucho é detonado, o conteúdo de um reservatório é descarregado pela pressão do nitrogênio, e forçado através de linhas de entrega e bicos de descarga, dentro do compartimento dianteiro da nacele do motor selecionado.

Operação do sistema

Punhos "FIRE PULL" mecanicamente interconectados, um para cada motor, estão no painel de controle de extinção de fogo.

Durante uma condição de fogo ou de superaquecimento, indicado por uma luz de aviso no respectivo punho de fogo ("*FIRE PULL*"), imediatamente puxa-se o punho de fogo para trás.

Quando o punho de fogo da direita é puxado, a válvula de corte em emergência da sangria do ar é cortada e a válvula direcional do sistema extintor é energizada, para permitir que o agente extintor seja direcionado para o motor do lado direito. Ao mesmo tempo, o gerador é retirado da linha.

Quando o punho de fogo ("*FIRE PULL*") for recolocado na sua posição original, aqueles ítens anteriormente desligados, com exceção do gerador, serão restabelecidos, a menos que o interruptor mestre do motor seja desligado. Se o segundo punho de fogo ("*FIRE PULL*") for puxado, o primeiro punho será automaticamente retraído para a sua posição original.

Interruptor de seleção

O interruptor seletor do extintor de fogo está instalado no centro do painel de controle do extintor e energizado pela barra essencial, tendo três posições: EXT Nº 1, EXT Nº 2 e uma posição central com a marcação "OFF".

Quando o interruptor for momentaneamente posicionado para EXT Nº 1 ou para EXT Nº 2, e tiver sido armado pelo acionamento do punho de fogo, o agente extintor de um reservatório será descarregado para a nacele do motor selecionado pelo punho.

Após o primeiro reservatório ter sido esvaziado, o interruptor de seleção do extintor de fogo poderá ser, se necessário, momentaneamente posicionado para o outro extintor, para descarregar o segundo reservatório.

Válvula direcional

Partindo da válvula de retenção dupla em "T", a linha é conectada a uma válvula direcional (figura 9-24).

A válvula tem dois canais de saída: um deles, normalmente aberto, está conectado na linha de descarga do extintor de fogo da nacele do motor esquerdo, e o outro, normalmente fechado, conectado com a linha da nacele do motor direito.

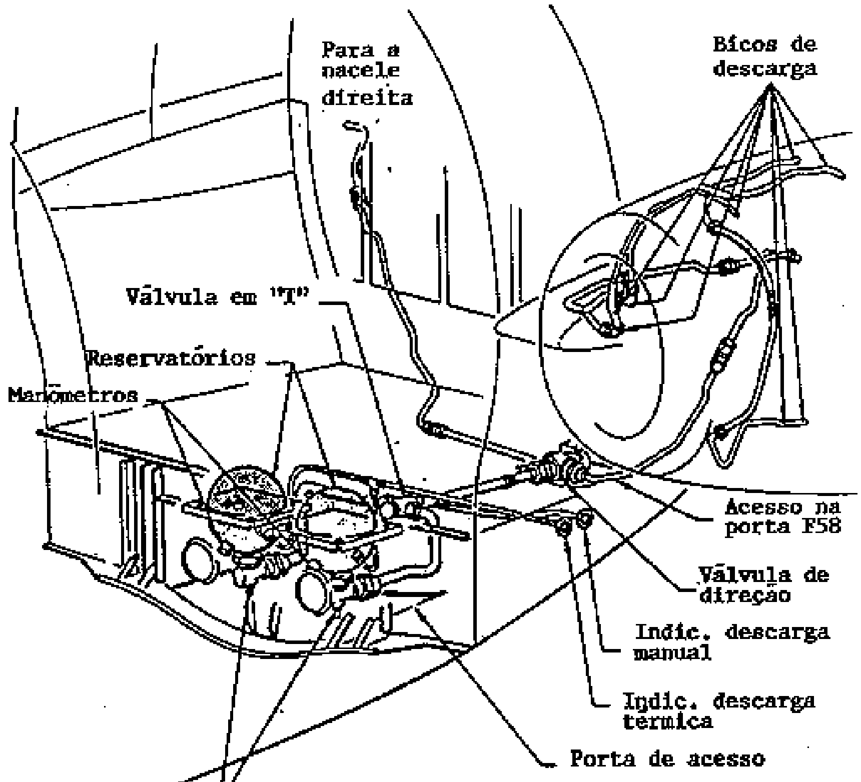


Figura 9-24 Sistema de extinção de fogo.

Quando o punho de fogo do motor direito for puxado, um circuito elétrico é completado para a válvula direcional, energizando o solenóide. A descarga do agente extintor de fogo é então dirigida para a nacele do motor direito

Reservatórios do agente extintor

Dois reservatórios para o sistema extintor de fogo estão instalados na área traseira do alojamento da roda principal, entre as estações da fuselagem 298 e 307. Cada reservatório tem um instrumento que indica a pressão no reservatório. Uma válvula de descarga, contendo um cartucho, está instalada na parte inferior de cada reservatório.

O cartucho, quando deflagrado, descarrega o conteúdo do reservatório em tubulações direcionadas às naceles dos motores. Uma conexão está fixada em cada reservatório para ligar tubulações a indicadores de descarga por variações térmicas, instalados na parte externa da fuselagem.

Indicadores

Dois discos indicadores de descarga, do sistema de extinção de fogo, estão montados no lado esquerdo da fuselagem após a asa. O disco amarelo, do indicador de descarga traseiro, está conectado por uma linha de 1/4 de polegada com a linha de descarga do extintor de fogo, entre a válvula de retenção dupla em "T" e a válvula direcional.

Quando um dos reservatórios for descarregado, um fluxo limitado será dirigido para o disco amarelo, removendo-o.

Uma checagem no indicador de pressão mostrará qual o reservatório que foi descarregado.

O disco vermelho, no indicador de descarga dianteiro, está conectado por uma linha de 1/4 de polegada a ambos os reservatórios. Quando os reservatórios tiverem sido aquecidos excessivamente, a pressão interna causará a descarga do agente pelo bujão fusível de segurança. O fluxo do agente extintor será dirigido ao disco vermelho, removendo-o.

Uma checagem nos indicadores de pressão mostrará se um, ou ambos os reservatórios foram descarregados.

CONTEÚDO

PREFÁCIO III
CONTEÚDO VII

CAPITULO 1 TEORIA E CONSTRUÇÃO DE MOTORES DE AERONAVES

Introdução 1-1
Comparação dos motores de aeronaves 1-2
Tipos de motores alternativos 1-4
Eixos de manivelas 1-11
Bielas 1-12
Pistões 1-14
Anéis de segmento 1-15
Cilindros 1-16
Numeração dos cilindros 1-18
Ordem de fogo 1-19
Válvulas 1-19
Mecanismo de operação da válvula 1-21
Engrenagens de redução da hélice 1-26
Eixo da hélice 1-28
Motores alternativos - Princípios de funcionamento 1-28
Ciclos de operação 1-29
Ciclos de quatro tempos 1-29
Potência e eficiência dos motores alternativos 1-31
Rendimentos 1-38
Construção do motor a turbina 1-41
Entrada de ar 1-42
Seção de acessórios 1-43
Seção do compressor 1-45
Tipos de compressor 1-45
Seção de combustão 1-50
Seção da turbina 1-55
Seção de escapamento 1-59
Subconjuntos maiores 1-62
Motor turboélice 1-63
Motores a turbina 1-64
Motores turbofan 1-64
Princípios de operação do motor a turbina 1-65
Empuxo 1-66
Desempenho do motor de turbina a gás 1-67

CAPITULO 2 SISTEMAS DE ADMISSÃO E DE ESCAPAMENTO

Sistema de admissão dos motores convencionais (alternativos) 2-1
Formação de gelo no sistema de admissão 2-3
Inspeção e manutenção do sistema de admissão 2-4
Turboalimentadores acionados internamente 2-6
Superalimentadores acionados externamente 2-11
Sistema de turbo-superalimentador para grandes motores convencionais 2-11
Turboalimentadores 2-13
Sistema turboalimentador, reforçado, ao nível do mar 2-15
Sistemas compostos com turbo para motores convencionais 2-18

Sistemas de admissão do motor turbojato 2-19
Entradas de ar do compressor em motores turboélice 2-23
Sistemas de escapamento de motores convencionais 2-24
Práticas de manutenção do sistema de escapamento do motor convencional 2-27
Dutos de escapamento do motor a turbina 2-30
Sistema de escapamento de turboélice 2-32
Reversores de empuxo 2-32
Supressores de ruído do motor 2-33
Dissipador de “vortex” da entrada de ar do motor 2-36

CAPÍTULO 3 SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL DO MOTOR E MEDIÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Introdução 3-1
Sistema básico de combustível 3-2
Dispositivos de medição de combustível para motores alternativos 3-3
Princípios da carburação 3-6
Sistemas do carburador 3-8
Tipos de carburador 3-9
Congelamento do carburador 3-10
Carburadores tipo bóia 3-11
Carburadores de injeção de pressão 3-16
Carburadores série PS “Stromberg” 3-27
Sistemas de injeção direta de combustível 3-29
Manutenção de carburadores 3-34
Manutenção e inspeção do sistema de combustível 3-38
Sistema de combustível para motores a turbina - Requisitos gerais 3-40
Controle de combustível dos jatos 3-41
Coordenador 3-45
Controlador de combustível 3-45
Controle sensitivo de velocidade 3-46
Válvula dreno da linha de combustível principal (Drip) 3-47
Operação do sistema 3-47
Controle hidromecânico de combustível 3-48
Descrição do controle de combustível 3-50
Sistema de programação de combustível 3-53
Sistema de rearme com injeção de água 3-57
Manutenção do controle do combustível dos jatos 3-58
Componentes do sistema de combustível do motor 3-59
Unidade indicadora de quantidade de combustível 3-64
Injeção de água 3-65

CAPÍTULO 4 SISTEMAS DE IGNIÇÃO E ELÉTRICO DO MOTOR

Introdução 4-1
Sistemas de ignição do motor alternativo 4-1
Sistema de ignição por bateria 4-1
Princípios de operação do sistema de ignição por magneto 4-1
Unidades auxiliares de ignição 4-14
Velas de ignição 4-20
Manutenção e inspeção do sistema de ignição de motores alternativos 4-21
Dispositivos de regulagem do magneto de ignição 4-22
Checando a sincronização interna do magneto 4-26

Sincronizando o magneto de alta tensão com o motor 4-28
Manutenção e inspeção da vela 4-39
Analizador de motores... 4-54
Sistemas de ignição em motores a turbina.. 4-56
Inspeção e manutenção do sistema de ignição de motores a turbina................................ 4-60
Remoção, manutenção e instalação dos componentes do sistema de ignição................... 4-60
Sistemas elétricos do motor 4-61
Amarração e laçagem dos chicotes.. 4-71
Corte de fios e cabos.. 4-73
Desencapamento de fios e cabos 4-73
Emendas de emergência... 4-77
Conexão de terminais a blocos terminais 4-78
Ligação à massa.. 4-78
Conectores 4-80
Conduite... 4-82
Instalação de equipamento elétrico.. 4-83

CAPÍTULO 5 SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES

Introdução 5-1
Sistemas de partida de motores convencionais... 5-1
Sistema de partida usando motor de partida de inércia combinado.................................. 5-3
Sistema de partida elétrico, de engrazamento direto, para grandes motores convencionais5-4
Sistema de partida elétrico, de engrazamento direto, para pequenas aeronaves 5-6
Partidas dos motores de turbina a gás.. 5-8
Sistema de partida arranque-gerador 5-10
Motor de partida de turbina a ar.. 5-14
Motor de partida pneumático / cartucho para motor a turbina 5-19
Motor de partida a combustão de mistura combustível / ar... 5-21

CAPÍTULO 6 SISTEMAS DE LUBRIFICAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

Introdução 6-1
Requisitos e características dos lubrificantes para motores a explosão (convencionais).. 6-1
Sistema de lubrificação de motores a explosão (convencionais)....................................... 6-3
Lubrificação interna dos motores a explosão (convencionais).. 6-10
Práticas de manutenção em sistemas de lubrificação 6-11
Exigências para os lubrificantes de motores a reação 6-17
Sistema de lubrificação dos motores a reação 6-17
Sistema típico de lubrificação por cárter seco 6-24
Sistema de refrigeração do motor 6-29
Manutenção do sistema de refrigeração de motores convencionais................................. 6-31
Inspeção das aletas de refrigeração do motor.. 6-33
Refrigeração de motores a turbina... 6-36

CAPÍTULO 7 HÉLICES

Introdução 7-1
Princípios básicos das hélices.. 7-1
Operação da hélice... 7-3
Tipos de hélices 7-5
Classificação das hélices.. 7-7
Hélices usadas em aeronaves leves.. 7-7

Hélices de velocidade constante 7-10
Embandeiramento 7-13
Desembandeiramento 7-13
Hélices Hartzell Compacta 7-14
Hélice hidromática Hamilton Standard 7-15
Governadores hidráulicos 7-21
Sincronização das hélices 7-22
Sistema de controle do gelo na hélice 7-23
Inspeção e manutenção da hélice 7-25
Vibração da hélice 7-26
Centralização das pás 7-26
Checando e ajustando os ângulos das pás 7-26
Balanceamento da hélice 7-28
Serviços nas hélices 7-29
Turboélice 7-30
Bainha das pás 7-35

CAPÍTULO 8 REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DE MOTOR

Introdução 8-1
Razões para remoção de motores alternativos 8-1
Partículas metálicas no óleo 8-2
Preparação dos motores alternativos para instalação 8-3
Método QECA de montagem de motores radiais 8-3
Inspeção e substituição das unidades e sistemas externos ao motor 8-7
Preparação do motor para remoção 8-8
Removendo o motor 8-12
Içando e ajustando o motor para a instalação 8-13
Preparação do motor para teste no solo e em vôo 8-16
Inspeção da hélice 8-18
Verificações e ajustes após o motor ter sido girado e operado 8-18
Remoção e instalação de um motor de cilindros opostos 8-18
Instalação do motor 8-19
Remoção e instalação de motores a reação 8-21
Instalação de motores turbojato 8-22
Alinhamentos, inspeções e ajustagens 8-23
Remoção e instalação de um motor turboélice 8-25
Remoção e instalação de um motor de helicóptero 8-26
Alinhamento e ajuste de um QECA de helicóptero 8-27
Berço dos motores 8-28
Preservação e estocagem de motores 8-30
Tratamento de prevenção de corrosão 8-31
Embalagens para transporte de motores 8-33
Inspeção em motores estocados 8-34
Preservação e preparação para utilização de um motor a turbina 8-35

CAPÍTULO 9 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA FOGO NO MOTOR

Introdução 9-1
Sistema de proteção de fogo de motores convencionais 9-1

Zonas de fogo........ 9-5
Agentes de extinção de fogo........ 9-5
Sistemas de proteção de fogo de motores a turbina........ 9-9
Sistema típico de proteção de fogo de multimotores........ 9-10
Procedimentos de manutenção dos sistemas de detecção de fogo........ 9-14
Práticas de manutenção do sistema extintor de fogo........ 9-16
Sistema de proteção contra fogo de aeronave turbojato (*Saberliner*)........ 9-17

CAPÍTULO 10 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO MOTOR

Introdução........ 10-1
Revisão dos motores alternativos (convencionais)........ 10-1
Revisão maior........ 10-1
Recondicionamento do conjunto do cilindro........ 10-6
Inspeção do eixo de manivelas........ 10-18
Bielas........ 10-18
Banco de testes para motores alternativos........ 10-19
Equipamento móvel de teste de motor convencional........ 10-20
Operação do motor convencional........ 10-27
Princípios básicos de operação do motor........ 10-35
Fatores que afetam a operação do motor........ 10-39
Superposição das fases da operação de um motor........ 10-47
Pesquisa de panes em motores........ 10-48
Manutenção do cilindro........ 10-53
Testes de compressão no cilindro........ 10-55
Remoção do cilindro........ 10-59
Instalação do cilindro........ 10-60
Válvula e mecanismo da válvula........ 10-62
Teste de cilindro frio........ 10-68
Manutenção de motores a turbina........ 10-70
Seção de combustão........ 10-73
Inspeção e reparo do disco da turbina........ 10-77
Classificações comerciais........ 10-81
Instrumentação de motores........ 10-82
Operação do motor a reação........ 10-85
Operação no solo........ 10-85
Desligamento do motor........ 10-87
Pesquisando panes em motores a reação........ 10-88
Operação de turboélice........ 10-90
Procedimento para pesquisa de panes para motores turboélice........ 10-90
Unidade de testes de calibração de jatos (JETCAL)........ 10-92
Pesquisa de panes no sistema do tacômetro da aeronave........ 10-96
Programa de análise do óleo do motor com espectrômetro........ 10-98

Mecânico de Manutenção Aeronáutica

GRUPO MOTOPROPULSOR

Edição Revisada
23 de Outubro de 2002

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL

DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Edição revisada

Este volume, Grupo Motopropulsor, foi revisado, tendo sido feitas correções em todos os capítulos, bem como algumas alterações consideradas necessárias.

Este volume, Grupo Motopropulsor, é uma tradução do AC 65-12A do FAA (*Airframe & Powerplant Mechanics-Powerplant Handbook*) e tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume contém as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente a especialidade Grupo Motopropulsor (GMP), tendo como complemento obrigatório, o conteúdo do volume Matérias Básicas.

Os assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

Contribuíram para a tradução do AC 65-12A, as companhias aéreas Varig, Vasp, Tam, Lider e os componentes civis e militares da TE-1. A revisão gramatical da Primeira Edição foi efetuada por Helena Aquino de Araujo e a revisão técnica por Jorge Nunes das Neves.

O DAC obteve autorização da editora (FAA) para traduzir o conteúdo desse volume (AC 65-15A Célula de Aeronaves) e sua distribuição mediante indenização do valor material, sendo proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do DAC (TE-1).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

O prefácio original, traduzido, está reproduzido nas páginas seguintes.

A correspondência relativa a esse manual deverá ser endereçada ao

Instituto de Aviação Civil – DIP

Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, Edifício anexo, CEP 20021-010 Rio de Janeiro - RJ – Brasil, ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

PREFÁCIO DO MANUAL AC 65-12A

Esta circular consultiva é impressa para pessoas que se preparam para obter um certificado de mecânico de Grupo Motopropulsor. Propõe-se apresentar informação básica sobre princípios, fundamentos e procedimentos técnicos nas áreas relacionadas a grupos motopropulsores. Designa-se a servir como guia para estudantes matriculados em um curso formal de instrução bem como aqueles que estudam por conta própria.

Este volume é devotado a uma explanação das unidades que perfazem cada um dos sistemas que unem combustível, ar e ignição em um motor de combustão de aviação e também contém informação sobre as características de construção de motores, sistemas de lubrificação, sistemas de escapamento, sistemas de refrigeração, remoção e substituição de cilindros, verificações de compressão e ajustes de válvulas.

Pelo fato de existirem muitos tipos diferentes de motores de aeronaves em uso atualmente, pode-se esperar pequenas diferenças em componentes similares. Para evitar repetição desnecessária, a prática do uso de unidades e sistemas representativos é adotada ao longo da circular consultiva. Assunto sujeito a análise ao longo do texto é abordado de um ponto de vista geral e seu uso deve ser suplementado por consultas aos manuais dos fabricantes e outros impressos se maior detalhe for desejado.

Essa circular consultiva não pretende substituir ou suplantar regulamentos oficiais ou instruções do fabricante de motores, os quais devem ser consultados como fonte autorizada final.

Agradecemos aos fabricantes de motores, hélices e acessórios de grupos motopropulsores pela cooperação ao colocarem a disposição informações para inclusão nesse manual.

Este manual contém material para o qual direitos autorais foram emitidos. Material "COPYRIGHT" é usado com permissão especial da "United Aircraft Corporation", "Pratt and Whitney Aircraft Division" e não pode ser extraído ou reproduzido sem permissão do proprietário do direito autoral.

Os avanços na tecnologia aeronáutica pedem que essa circular consultiva seja periodicamente atualizada. Ela foi atualizada, erros foram corrigidos, novo material foi acrescentado e alguns dados foram reagrupados para aumentar a utilidade do manual.

Apreciaríamos, entretanto, que possíveis erros sejam levados ao nosso conhecimento bem como sugestões para melhorar sua utilidade. Seus comentários e sugestões serão retidos em nossos arquivo até que a próxima revisão seja completada.

O endereço para correspondência referente a esse manual é o seguinte:

U.S. Departament of Transportation

Federal Aviation Administration

Flight Standards National Field Office

P.O. Box 25082, Oklahoma City, Oklahoma 731

Os manuais que formam a série com o AC 65-12A são o AC65-9A e AC 65-15A.

Mecânico de Manutenção Aeronáutica

AVIÔNICOS I

INSTRUMENTOS E SISTEMAS ELÉTRICOS

1ª Edição
23 de Outubro de 2002

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL

DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Este volume, Instrumentos e Sistemas Elétricos, contendo as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente a uma parte da habilitação Aviônicos, tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume tem como complemento obrigatório, o conteúdo dos volumes Eletrônica e Matérias Básicas.

Os assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

É proibida a reprodução total ou parcial deste volume sem a autorização do IAC (DIP).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

A correspondência relativa a esse livro deverá ser endereçada a:

Instituto de Aviação Civil

Divisão de Instrução Profissional

Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, edifício anexo,

Rio de Janeiro - RJ - Brasil

CEP 20021-010

Ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

INSTRUMENTOS E SISTEMAS ELÉTRICOS

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES SOBRE INSTRUMENTOS

Classificação dos instrumentos 1-1
Características de construção dos instrumentos 1-2
Remoção e instalação dos instrumentos 1-4
Cuidados com os instrumentos 1-5
Inspeções 1-6
Apresentação de painéis de instrumentos 1-8
    Bandeirante 1-8
    Brasília 1-10
    Xingu 1-12
    Tucano 1-14
    Diversos 1-16

CAPÍTULO 2 - INSTRUMENTOS DE VÔO

Sistema anemométrico 2-1
Velocímetro 2-3
Altímetro 2-11
Indicador de razão de subida 2-23
Instrumentos giroscópicos 2-24
Giro direcional 2-31
Indicador de atitude 2-32
Indicador de curva e derrapagem 2-40
Acelerômetro 2-47
Maquímetro 2-50

CAPÍTULO 3 - INSTRUMENTOS DE NAVEGAÇÃO

Bússola magnética 3-1
Sistema pictorial de navegação 3-5
Giro direcional 3-13
Princípios do VOR 3-15
Sistema de pouso por instrumentos 3-17
Indicador de curso (HSI) 3-20
Indicador rádio magnético (RMI) 3-23

CAPÍTULO 4 - INSTRUMENTOS DO MOTOR

Indicador de torque 4-1
Indicadores de temperatura 4-6
Indicadores de temperatura bimetálicos 4-10
Indicação de temperatura dos gases da turbina 4-11
Indicador de temperatura interturbinas 4-13
Indicadores de pressão 4-20
Indicadores da pressão de admissão 4-21
Indicadores de pressão do tipo síncrono 4-22
Indicadores de pressão de óleo 4-26
Sistemas de medir fluxo de combustível 4-28
Indicadores de rotação (tacômetros) 4-30
Sincroscópio 4-35

CAPÍTULO 5 - INSTRUMENTOS DIVERSOS

Voltamperímetro 5-1
Amperímetro 5-3
Voltímetro 5-4
Relógio 5-10
Medidor de fadiga 5-10
Indicador de temperatura do ar externo 5-14
Indicadores de quantidade de combustível 5-15
Sistema de indicação do ângulo de ataque 5-19
Indicadores de pressão hidráulica 5-20
Indicadores de pressão do sistema de degelo 5-20
Indicadores de sucção 5-22

CAPÍTULO 6 - MATERIAIS ELÉTRICOS

Fios e cabos condutores 6-1
Bitola de fio 6-1
Identificação de condutores 6-6
Isolamento do condutor 6-10
Instalação de fiação elétrica 6-10
Encaminhamento da fiação elétrica 6-16
Conectores 6-19
Conduítes 6-21
Manutenção de cablagens 6-23
Estampagem de terminais 6-24
Emendas de emergência 6-26
Prensagem de pinos de contato 6-26
Normas de segurança para manutenção elétrica 6-28
Decapagem de condutores 6-30

Estanhagem de condutores 6-31
Soldagem de condutores 6-33
Metalização 6-35
Áreas sujeitas à explosão ou fogo 6-37
Proteções contra os efeitos de raios 6-38
Cuidados na instalação de equipamento elétrico 6-46
Dispositivos de proteção de circuitos 6-47
Disjuntores de controle remoto (RCCB) 6-48
Sistema de iluminação de aeronaves 6-52
Inspeção e manutenção dos sistemas de iluminação 6-57
Baterias 6-60
    Baterias chumbo-ácido 6-61
    Baterias alcalinas 6-64
    Baterias de níquel-cádmio 6-64
    Baterias prata-zinco 6-70
Símbolos gráficos para diagramas elétricos e eletrônicos 6-71

CAPÍTULO 7 - SISTEMAS ELÉTRICOS DE PARTIDA E DE IGNIÇÃO DOS MOTORES

Sistemas elétricos de partida 7-1
Sistemas de partida de motores convencionais 7-1
Sistema de partida usando motor de inércia combinado 7-4
Sistema de partida elétrico, de engrazamento direto, para grandes motores convencionais 7-4
Sistema de partida elétrico, de engrazamento direto, para pequenas aeronaves 7-7
Práticas de manutenção do sistema de partida 7-8
Partidas dos motores de turbina a gás 7-9
Sistema de partida arranque-gerador 7-12
Sistemas elétricos de ignição 7-16
Sistemas de ignição por bateria 7-16
Sistema de ignição por magneto 7-17
Unidades auxiliares de ignição 7-30
Velas de ignição 7-35
Inspeção e manutenção do sistema de ignição de motores alternativos 7-37
Dispositivos de regulagem do magneto de ignição 7-38
Sincronismo interna do magneto 7-42
Sincronismo do magneto de alta tensão com o motor 7-44
Inspeção e manutenção da vela 7-55
Inspeção do platinado 7-62
Analisador de motores 7-71
Sistema de ignição em motores a turbina 7-74
Inspeção e manutenção do sistema de ignição de motores a turbina 7-77

CAPÍTULO 8 - SISTEMAS ELÉTRICOS DE PROTEÇÃO CONTRA OS EFEITOS DA CHUVA E DO GELO E CONTRA FOGO

Proteção contra os efeitos da chuva 8-1
Proteção contra os efeitos do gelo 8-3
Aquecedores de drenos 8-7
Proteção contra fogo 8-8
Métodos de detecção 8-8
Sistemas de detecção de fogo 8-9
Sistema de aviso de superaquecimento 8-13
Tipos de fogo 8-14
Sistemas detectores de fumaça 8-14
Sistemas extintores de fogo de CO2 dos motores convencionais 8-16
Sistemas de proteção de fogo dos motores a turbina 8-18
Sistema típico de proteção de fogo de multimotores 8-20
Procedimentos de manutenção dos sistemas de detecção de fogo 8-24
Pesquisa de panes do sistema de detecção de fogo 8-26

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES SOBRE INSTRUMENTOS

INTRODUÇÃO

Sabendo que a limitação dos órgãos dos sentidos humanos em perceber com precisão as múltiplas e variadas condições, tanto do meio físico como em lidar com os complicados mecanismos que equipam um avião moderno, tornou-se indispensável que tal deficiência fosse suprida por algo que medisse e indicasse com precisão certas grandezas físicas.

Daí o aparecimento de determinados instrumentos que, instalados a bordo dos aviões, não só garantem uma indicação precisa, mas por meio de utilização criteriosa, asseguram maior segurança do avião e economia de seus numerosos equipamentos, proporcionando ainda a realização de vôos mesmo em condições atmosféricas adversas.

Assim sendo, torna-se óbvio que há necessidade de se dedicar um cuidado especial aos instrumentos, pois, em virtude de sua natureza delicada, eles só poderão desempenhar de modo eficiente o papel que lhes compete, quando respeitados todos os requisitos técnicos de mantê-los em ótimas condições de funcionamento, acompanhados de uma interpretação correta de suas indicações.

Para que um especialista em manutenção de instrumentos possa exercer eficientemente sua missão, ele deverá possuir conhecimentos especializados e habilidade profissional.

Os conhecimentos técnicos necessários são: regras de segurança, uso adequado de ferramentas, leitura correta dos aparelhos de medição, teoria do princípio de funcionamento de cada instrumento, etc.

Esta matéria, "INSTRUMENTOS", fornecerá os conhecimentos acima citados.

CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Os instrumentos foram agrupados, por analogia de função ou pelo sistema a que pertencem, conforme se segue.

A-Instrumentos de Vôo

Os instrumentos de vôo fornecem ao piloto as indicações necessárias para o controle do avião durante o vôo.

Este grupo é constituído dos seguintes instrumentos:

- velocímetro (*Air Speed Indicator – ASI*);
- altímetro (*Altimeter*);
- indicador de razão de subida e des-cida (*Vertical Speed Indicator – VSI*);
- indicador de atitude (*Attitude Indicator*);
- indicador de curva e derrapagem (*Turn and Slip Indicator/Rate-of-Climb Indicator*);
- acelerômetro (*Accelerometer*);
- machímetro (*Mach Number Indicator/Machmeter*).

B - Instrumentos de Navegação

Os instrumentos de navegação fornecem as informações e os recursos para navegação e orientação durante o vôo e compreendem os seguintes instrumentos:

- indicador de curso (*Horizontal Situation Indicator – HSI*);
- indicador radiomagnético (*Radio Magnetic Indicator – RMI*);
- giro direcional (*Directional Gyro*);
- bússola magnética (*Magnetic Compass*);
- sistema pictorial de navegação (*Pictorial Navigation System – PN*).

C - Instrumentos do Motor

Os instrumentos do motor fornecem diretamente indicações em termos de temperatura, rotação, pressão, etc., das condições de funcionamento do mesmo.

Os instrumentos do motor são:

- indicador de temperatura (*Temperature Indicator*);
- indicador de torque (*Torque Indicator*);
- indicador de temperatura do óleo (*Oil Temperature Indicator*);

- indicador de pressão de óleo (*Oil Pressure Indicator*);
- indicador de rotação *(Tachometer Indicator*).

D - Instrumentos Diversos

O grupo de indicadores diversos consta dos instrumentos, cuja função no avião é avulsa, não pertencendo a nenhum dos principais sistemas que englobam as operações fundamentais de vôo, navegação e desempenho do motor.

Estes instrumentos são:

- voltamperímetro;
- relógio;
- medidor de fadiga;
- indicador de temperatura do ar externo;
- indicador de quantidade de combustível;
- indicador de fluxo de combustível;
- indicador de posição de flape;
- indicador de ângulo de ataque.

Nota

Só foram relacionados nesta classificação os instrumentos que fazem parte deste manual. Além disso, a classificação apresentada é a melhor, no sentido didático, já que os instrumentos podem ser classificados segundo vários e diferentes critérios.

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Na construção dos instrumentos de bordo modernos são levados em consideração os requisitos gerais descritos a seguir.

1. Temperatura

Os instrumentos devem funcionar satisfatoriamente, dentro de uma variação de temperatura de –35ºC a +60ºC, sendo que a temperatura normal considerada é de 15ºC.

2. Vibração

Os instrumentos devem funcionar satisfatoriamente, sob vibração. Como a vibração pode ser, às vezes, excessiva, todos os instrumentos são montados em painéis à prova de choque, que lhes diminuem a vibração. Deve ser notado que os métodos normais de amortecimento, ora em uso, não eliminaram totalmente a vibração, a qual entra nas cogitações dos fabricantes.

As atuais especificações estipulam um funcionamento satisfatório e preciso, mesmo quando o instrumento está num plano de 45º com a horizontal e sujeito a vibrações de não menos de 0,003 da polegada a não mais de 0,005 da polegada de amplitude e freqüência de 600 a 2200 oscilações por minuto.

3. Vedação

Todos os instrumentos devem ser vedados. Há dois modos de vedação.

Os mais rústicos que funcionam por diferença de pressão, são vedados à prova de água.

Essa espécie de vedação impede que a poeira e a umidade penetrem na caixa de instrumentos e são facilmente reconhecidos pela presença de um pequeno orifício na parte de baixo da caixa.

Os indicadores de pressão absoluta, bem como os instrumentos giroscópicos requerem vedação especial à prova de ar. É muito importante que a vedação apropriada seja conservada no instrumento depois de sua instalação no avião, a fim de assegurar indicações precisas e evitar-se a corrosão do mecanismo.

4. Posição

Os mecanismos da maioria dos instrumentos devem ser equilibrados e ficar de maneira que suas indicações não sejam afetadas pelas variações de inclinação de até 180º, para ambos os lados.

5. Amortecimento

Apesar da força centrífuga, da aceleração e da supertensão, os instrumentos devem operar corretamente ou quase corretamente. Quando se tornar necessário devem usar fixadores apropriados, restrições ou qualquer outro artifício de amortecimento.

6. Escala

Todos os instrumentos possuem uma escala apropriada à quantidade que se deve medir. Esta escala é normalmente calibrada com uma margem de 50% a 100% sobre os limites normais de utilização do instrumento.

7. Marcações

As marcações de limites de operação, operação ideal, etc. são apresentadas em faixas coloridas pintadas na forma de arco ou com decalque nos vidros dos instrumentos ou, em alguns casos, diretamente no mostrador.

Quando as marcações são externas, isto é, nos vidros, é possível modificá-las caso haja alteração em alguns dos limites.

No caso de marcas no mostrador, somente o fabricante ou a oficina autorizada poderá fazê-las.

Esta pintura é uma composição tratada a *radium*, que torna possível a leitura no escuro, sem auxílio de iluminação artificial. Essa composição é altamente venenosa e sua aplicação ou retoques só poderão ser feitos por pessoal autorizado.

As faixas coloridas podem ser: vermelha, verde, amarela, azul e branca.

- Arco vermelho – operação proibida;
- Arco verde – operação normal;
- Arco amarelo – operação indesejável, pode existir perigo. (usado em emergência);
- Arco azul – operação em regime econômico;
- Arco branco – operação normal com alguma característica especial (exemplo: no velocímetro a faixa de operação com o flape atuado);
- As linhas curtas radiais (azuis) são usadas para indicar uma condição específica (exemplos: no velocímetro a melhor razão de subida monomotor ou o limite de operação econômica com a mistura de combustível na situação empobrecida, porém de segurança, sem prejuízo na sustentação do avião);
- As linhas curtas radiais (vermelhas) são usadas para indicar os limites mínimos e máximos de funcionamento.

8. Tamanho

Tanto quanto possível, as dimensões das caixas de instrumentos são de dois tamanhos padronizados nos aviões modernos. A maioria das caixas é de 2 3/4 da polegada e de 1 7/8 da polegada.

9. Peso

Em face do número muito grande de instrumentos, usados nos modernos aviões, e o aproveitamento do espaço nos painéis, foram reduzidos o peso e o tamanho dos instrumentos.

10.Caixa

A maioria das caixas de instrumentos de avião é moldada numa composição fenólica.

Há tipos de instrumentos que possuem caixas construídas em duas peças, sendo uma a do corpo principal e a outra do anel fixador da cobertura e parafusos, para fixação do anel ao corpo da caixa.

11.Iluminação

Existem vários tipos de iluminação para os instrumentos:

- lâmpadas elétricas situadas no painel e cobertas com um segundo painel protetor de reflexão;
- lâmpadas elétricas instaladas em anéis refletores acondicionadas nos próprios mostradores dos instrumentos;
- lâmpadas elétricas individuais convenientemente situadas na parte inferior do próprio instrumento;
- Lâmpadas elétricas de luz ultravioleta, cheias de Argônio. Neste caso, os mostradores dos instrumentos de bordo são pintados com uma substância sensível ao raio ultravioleta.As lâmpadas são instaladas nas proximidades do painel e suas intensidades são controladas por um reostato.

12. Outras características:

Os instrumentos de bordo devem possuir ainda as seguintes características:

- precisão;
- segurança;
- durabilidade;
- leveza;
- fácil instalação;
- mínimo de manutenção;
- leitura simples.

REMOÇÃO E INSTALAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

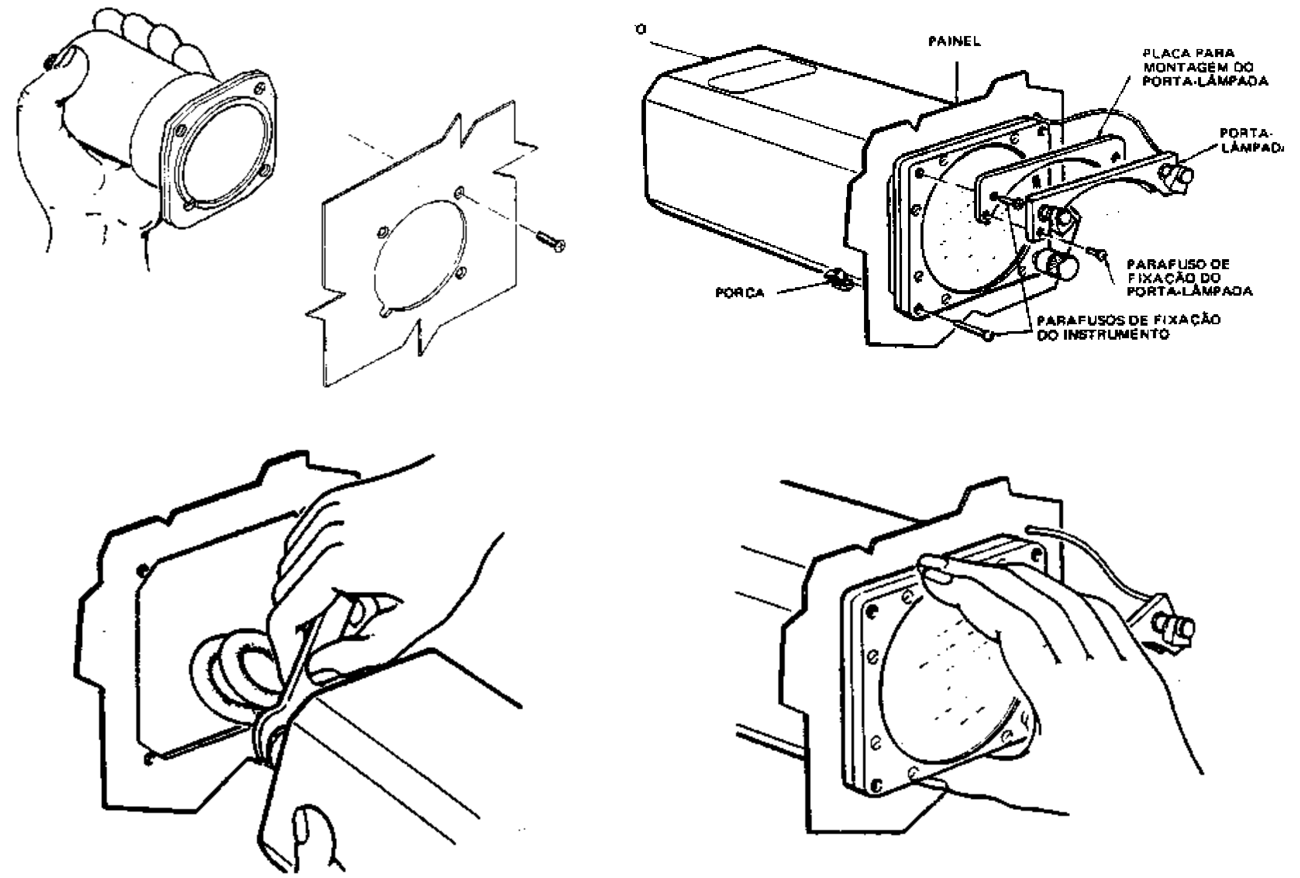
A.- Instrumentos com Flange

Para estes instrumentos, seguem-se os procedimentos seguintes das figuras 1-1.

1 Desligam-se os conectores elétricos e as tubulações flexíveis;

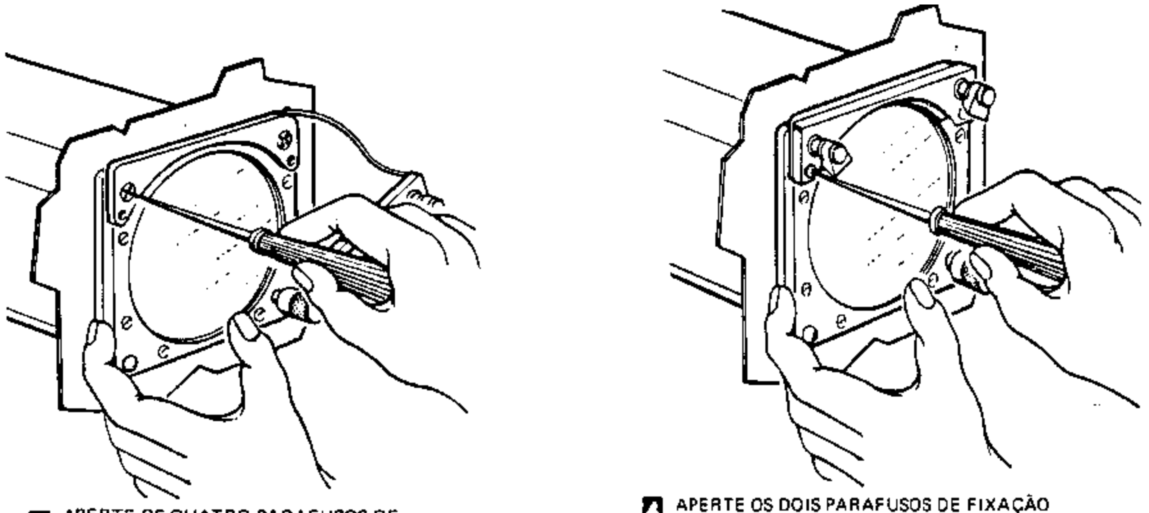
2 Retiram-se os parafusos de fixação (em número de 3 ou 4, conforme o caso);

3 Remove-se o instrumento


O
PAINEL
PLACA PARA MONTAGEM DO PORTA-LÂMPADA
PORTA-LÂMPAD
PARAFUSO DE FIXAÇÃO DO PORTA-LÂMPADA
PORCA
PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO INSTRUMENTO

1 LIGUE O SUPRIMENTO ELÉTRICO AO INSTRUMENTO

2 COLOQUE CORRETAMENTE O INSTRUMENTO NA SUA SEDE



3 APERTE OS QUATRO PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO INSTRUMENTO

4 APERTE OS DOIS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO PORTA-LÂMPADA

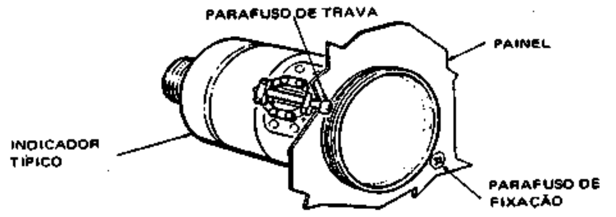
Figura 1-1 Instalação de instrumentos com flange

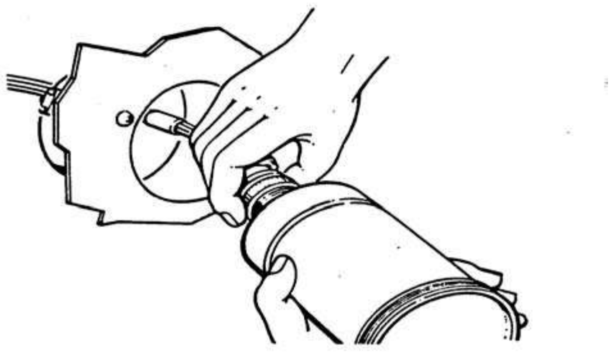
B - Instrumentos com Braçadeira

Para estes instrumentos, seguem-se os procedimentos da figura 1-2.

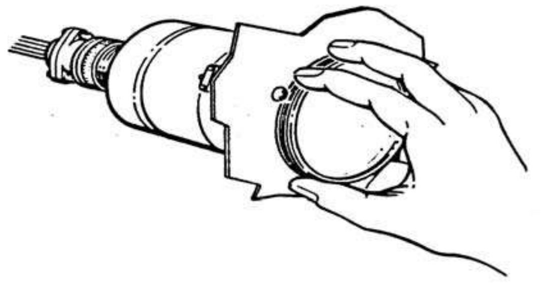
1 Afrouxa-se o parafuso de travamento da braçadeira situado, normalmente, no lado direito do instrumento;

2 Com uma das mãos, retira-se o instrumento pela frente e com a outra, solta-se o conector na traseira do mesmo.

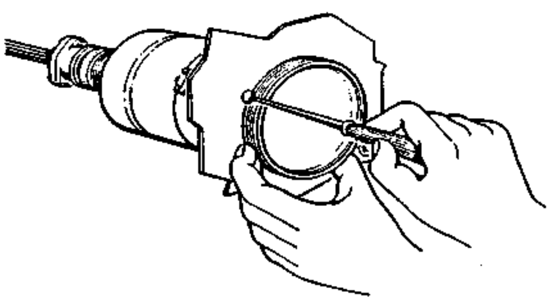




1 LIGUE O SUPRIMENTO ELÉTRICO AO INSTRUMENTO



2 AJUSTE CORRETAMENTE O INSTRUMENTO NO SEU ALOJAMENTO



3 APERTE ALTERNADAMENTE O PARAFUSO DE TRAVA E O DE FIXAÇÃO

Figura 1-2 Instalação dos instrumentos montados com braçadeira

CUIDADOS COM OS INSTRUMENTOS

As exigências surgidas a respeito de segurança e a utilidade dos vôos são os resultados das características alcançadas pelo avião moderno, cuja performance, alta velocidade, grande capacidade de carga e grande raio de ação, fizeram dele um valioso veículo para fins militares e transportes comerciais.

A construção de instrumentos de aviação obedece aos seguintes requisitos: precisão, segurança, simplicidade, durabilidade, leveza, capacidade de funcionamento em temperaturas extremas, leituras fáceis, resistência à corrosão, bom amortecimento, insensibilidade à aceleração, possibilidade de indicação além dos limites dentro dos quais vai trabalhar, ser de fácil instalação e requerer o mínimo de manutenção.

Daí então a necessidade de um estudo simples que venha trazer não só aos pilotos como aos técnicos de manutenção noções sobre a finalidade, princípio de funcionamento, utilização, manutenção, reparação, inspeção dos instrumentos mais comuns.

Para se manter o nível de segurança e precisão do instrumento de bordo, o mais alto possível, deve-se executar periodicamente certos exames e inspeções.

A explanação que se segue é de natureza geral, tendo sido redigida para fins de instrução prática. Os trabalhos de inspeção, conservação, reparação e armazenagem, devem obedecer às prescrições traçadas pelo fabricante do instrumento, contidas nos respectivos manuais.

Os reparos só podem ser executados por oficinas e pessoal especializado.

Os reparos podem ser: os retoques da pintura luminosa dos mostradores e ponteiros, substituições de peças, reajustamento do mecanismo do instrumento, lubrificações especiais de certas partes, etc.

Os trabalhos de reparação exigem técnicos habilitados, ferramentas apropriadas, tornos, equipamentos de equilibragens e calibragem, etc.

Os instrumentos de natureza particularmente delicados são lacrados quando saem da fábrica, não sendo absolutamente permitido inutilizar este selo durante os trabalhos de manutenção, tampouco, abrir as caixas de proteção.

INSPEÇÕES

Inspeção Diária

Compreende os cuidados que devem ter os mecânicos, com os instrumentos, antes de dar partida nos motores.

As recomendações que se seguem são aplicáveis a todos os instrumentos.

•Verificar todos os ponteiros para erro excessivo no zero, exceto termômetros e instrumentos que funcionam por pressão absoluta, os quais devem propiciar modificações de acordo com as condições de pressão e temperatura ambiente;

•Verificar todos os instrumentos quanto à vidros soltos ou rachados;

•Verificar todos os botões de travamento e ajustagem, quanto à liberdade de movimento e funcionamento correto;

•As prescrições especiais sobre inspeção, aplicáveis a determinados instrumentos bem como à conduta a ser seguida, serão explanadas quando se estudar individualmente os instrumentos.

Inspeção antes do Vôo

Compreende as precauções a serem tomadas pelos mecânicos, todas as vezes que os motores são postos em funcionamento.

As prescrições que se seguem são de ordem geral e aplicáveis a todos os instrumentos.

•Verificar todos os ponteiros quanto a oscilação excessiva.

•Verificar se as leituras do indicador de RPM estão de acordo com as exigências contidas no manual de operação.

Inspeção Periódica

Quando o avião completa um certo número de horas de vôo é feita uma inspeção por uma equipe de especialistas.. Esta inspeção é especificada pelo Programa de Manutenção (PM) do avião.

A parte da inspeção relativa aos instrumentos é feita por um especialista de instrumentos.

As prescrições gerais que se seguem são aplicáveis a todos os instrumentos.

•Verificar todos os instrumentos e suas unidades, quanto à segurança de montagem;

•Verificar todas as tubulações e conexões, quanto às fugas;

•Verificar todos os ponteiros e marcações do mostrador, quanto à descoloração das marcas luminosas;

•Verificar se as marcas para os limites de utilização estão na posição exata e bem visíveis;

•verificar todas as ligações elétricas, quanto ao bom contato e segurança na fixação;

•Verificar os amortecedores, quanto à segurança da fixação e tensão conveniente.

Substituição de Instrumentos

Os instrumentos só devem ser substituídos por outros em boas condições e da mesma espécie, pelas seguintes razões:

- impossibilidade de indicar;
- indicação duvidosa;
- defeito da caixa ou vedação defeituosa;
- ponteiro solto;
- cobertura de vidro, solta ou rachada;
- orelha de fixação no painel, quebrada ou rachada;
- mecanismo de trava ou ajustagem defeituoso;
- bornes ou niples de conexão defeituosos;
- marcas luminosas escuras ou descoloridas;
- defeito no mecanismo interno, conhecido ou suspeito.

Quando retirar ou colocar instrumentos no avião, tomar as seguintes precauções:

•a maioria dos instrumentos de bordo, sofre desgastes, mas é recuperável. Portanto, deve o instrumento, que estiver em mau estado, ser retirado e remetido às oficinas especializadas e outro, em bom estado, ser colocado em seu lugar;

- os instrumentos danificam-se facilmente, por conseguinte devem ser tratados com o máximo cuidado;

- sempre que possível, substitua o instrumento por outro do mesmo tipo e da mesma marca de fabricação.

- Em alguns casos pode-se substituí-lo por outro da mesma espécie, mas de fabricação diferente;

- nunca troque a localização de um instrumento ou uma de suas unidades de funcionamento sem a competente autorização;

- nunca deforme ou marque um instrumento;

- quando examinar ou testar um instrumento, nunca o sujeite a pressões excessivas ou anormais. Use valores abaixo da gama de funcionamento;

- em algumas instalações torna-se necessário retirar outros instrumentos para se ter acesso ao que está com defeito.

CAPÍTULO 2

INSTRUMENTOS DE VÔO

SISTEMA ANEMOMÉTRICO

Três dos mais importantes instrumentos de vôo são conectados ao sistema anemométrico: velocímetro, altímetro e o indicador de razão de subida (variômetro).

Existem dois tipos de arranjos para alimentar os instrumentos convenientemente conforme segue.

A - Tubo pitot com tomada estática acoplada

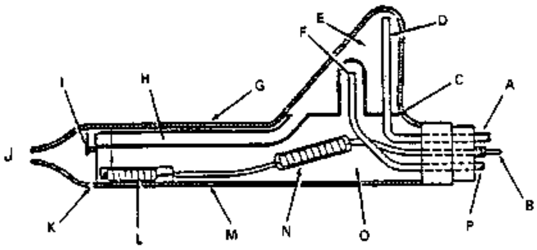


Figura 2-1 Tubo de pitot em corte

Este tubo apresenta duas seções: uma câmara de pressão estática (O) e uma câmara de pressão dinâmica (E).

A pressão estática entra no sistema por três orifícios na parte superior e três na inferior.

Dois desses orifícios (G e M) aparecem na figura.

Esses orifícios ajudam a compensar o erro na percepção, causado por diferentes ângulos de ataque.

Os orifícios inferiores também servem para escorrer a água proveniente da condensação.

O tubo vertical (F) na câmara estática é uma precaução suplementar para evitar que a umidade chegue aos instrumentos.

A pressão dinâmica entra pela abertura (J). Uma placa defletora (I) impede que corpos estranhos ou umidade penetrem no sistema.

Um pequeno orifício (K) deixa escapar a umidade.

O tubo vertical (D) e o orifício de escape (C) na câmara de pressão dinâmica impedem que a umidade que se forma na câmara chegue aos tubos e aos instrumentos.

Os tubos (A e P) levam as pressões aos instrumentos. As resistências aquecedoras (L e N) estão conectadas em série e servem para evitar a formação de gelo no tubo.

A figura 2-2 ilustra os três instrumentos básicos alimentados com pressão fornecida pelo tubo pitot com tomada estática acoplada.

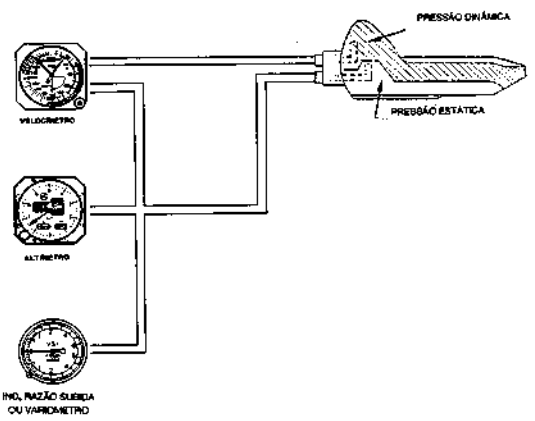


Figura 2-2 Tubo de pitot com tomada estática acoplada.

B - Tubo pitot com tomada estática separada.

O arranjo do sistema anemométrico pode ser feito também como mostrado na figura 2-3.

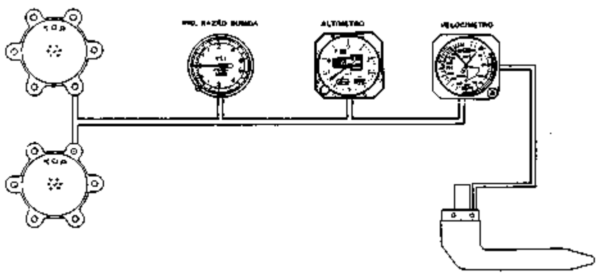


Figura 2-3 Tubo de Pitot com tomada estática separada.

As vantagens do uso de pressão estática separada são listadas a seguir.

a) Pressão estática mais precisa, pois fica compensada a sua diferença devida a desvios laterais ou ventos cruzados (já que as tomadas estáticas são embutidas uma em cada lado da fuselagem);

b) Menor possibilidade de formação de gelo.

Operação do Sistema Anemométrico

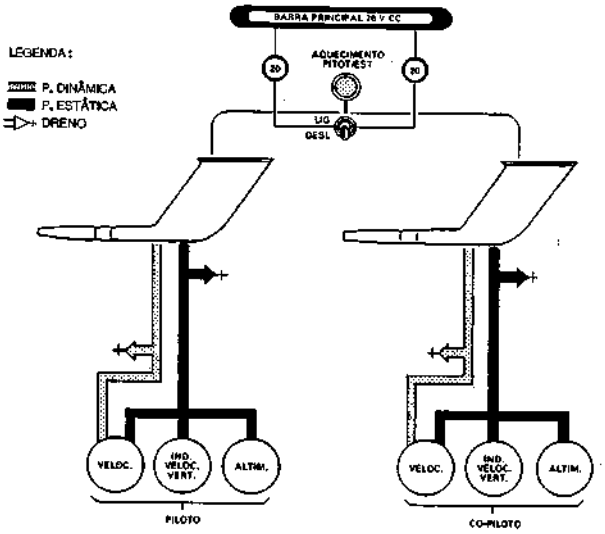

BARRA PRINCIPAL 28 V CC
LEGENDA:
P. DINÂMICA
P. ESTÁTICA
DRENO
20
AQUECIMENTO PITOT/EST
20
LIG
DESL
VELOC.
IND. VELOC. VERT.
ALTIM.
PILOTO
VELOC.
IND. VELOC. VERT.
ALTIM.
CO-PILOTO

Figura 2-4 Sistema anemométrico com tomada estática acoplada.

A figura 2-4 mostra a aplicação prática do tubo pitot acoplado com tomada estática (EMB-111) e a figura 2-5 mostra o arranjo com os componentes em separado (EMB-312).

O princípio de operação dos dois sistemas é o mesmo.

A pressão estática é a pressão atmosférica. O ar atmosférico é pesado, exercendo sobre os corpos, nele mergulhados, uma pressão igual a 1.033kgf/cm^{2}, ou seja 1,033 bares. A pressão dinâmica é a pressão que se desenvolve como resultado direto da velocidade do avião e da densidade do ar que o rodeia. Essa pressão aumenta com a velocidade e diminui com a altura.

Um avião que voe à mesma velocidade desenvolve mais pressão a baixa altitude que a grande altitude, devido a densidade do ar ser maior a baixa altitude.

O velocímetro, o altímetro e o indicador de razão de subida (indicador de velocidade vertical ou variômetro) são alimentados com pressão estática, sendo que, o velocímetro é também alimentado pela pressão dinâmica.

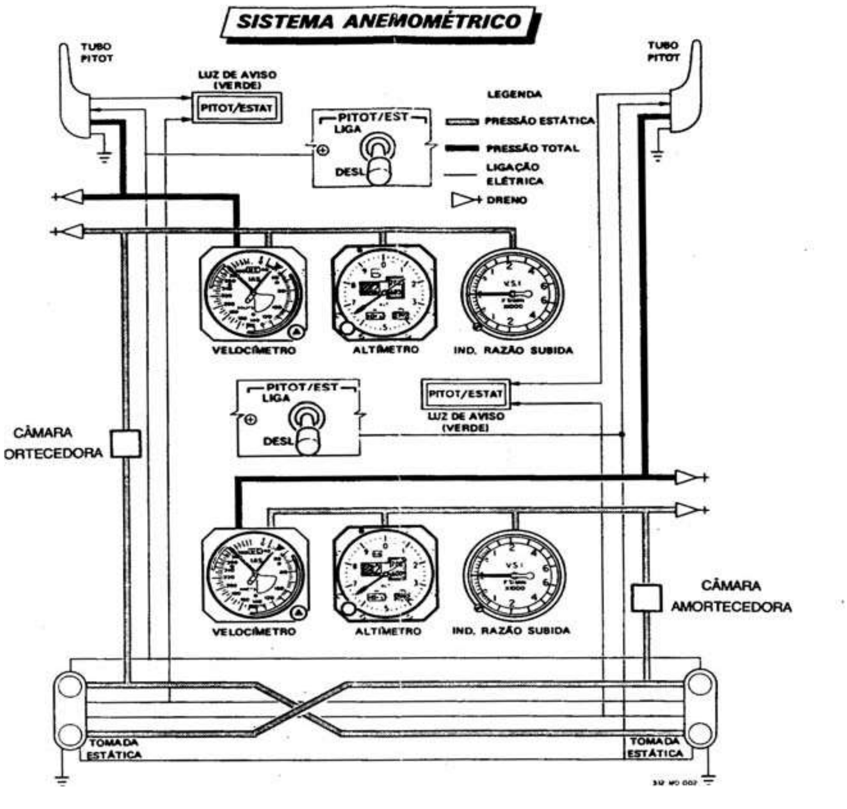

SISTEMA ANEMOMÉTRICO
TUBO PITOT
LUZ DE AVISO (VERDE)
PITOT/ESTAT
PITOT/EST
LIGA
DESL
LEGENDA
PRESSÃO ESTÁTICA
PRESSÃO TOTAL
LIGAÇÃO ELÉTRICA
DRENO
TUBO PITOT
VELOCÍMETRO
ALTÍMETRO
IND. RAZÃO SUBIDA
PITOT/EST
LIGA
DESL
PITOT/ESTAT
LUZ DE AVISO (VERDE)
CÂMARA ORTECEDORA
VELOCÍMETRO
ALTÍMETRO
IND. RAZÃO SUBIDA
CÂMARA AMORTECEDORA
TOMADA ESTÁTICA
TOMADA ESTÁTICA
312 MO 002

Figura 2-5 Sistema anemométrico com tomadas estáticas separadas

Alguns sistemas possuem nas linhas estáticas uma câmara amortecedora com a finalidade de atenuar o excesso de sensibilidade.

Os tubos pitot e as tomadas estáticas são sensíveis a bloqueios de gelo, motivo pelo qual aquecedores elétricos são instalados para evitar esta formação.

Estes aquecedores geram mais calor do que pode ser dissipado, sem um fluxo de ar frio, assim, os aquecedores não devem ser ligados, no solo, mais que o suficiente para uma verificação, a fim de saber se eles irão funcionar adequadamente.

Deve-se manter o tubo pitot sempre limpo e, quando o avião não estiver em vôo, ele deverá ser protegido com uma capa de lona que deverá cobrir todas as aberturas do tubo.

VELOCÍMETRO

Velocidades conhecidas e definidas em aviação.

Velocidade Indicada (IAS)

É a que é lida no velocímetro, sem correções para variações de densidade atmosférica e sempre que as condições se alteram, erros são introduzidos.

Velocidade Verdadeira (TAS)

É aquela com que o avião se desloca em vôo e é obtida após as correções de temperatura e altitude da velocidade indicada.

Velocidade Absoluta

É a velocidade do avião em relação ao solo.

Finalidades do Velocímetro

O indicador de velocidade do ar é o instrumento que indica ao piloto a velocidade com que seu avião se desloca através do ar.

É construído de tal modo que as velocidades indicada, verdadeira e absoluta são praticamente iguais, quando o avião voa ao nível do mar, estando o ar atmosférico sob condições padronizadas.

Quando as condições atmosféricas não são padronizadas, esta coincidência entre as três velocidades não mais se verifica.

Entretanto, o piloto poderá determinar, em qualquer circunstância, a velocidade verdadeira, após as necessárias correções de temperatura e altitude da velocidade indicada e conhecer a velocidade absoluta, desde que saiba qual a direção e velocidade do vento. Sendo o velocímetro um manômetro calibrado em unidades de velocidade, ele nos indica também, seja qual for a altitude, a força de sustentação do ar.

Por exemplo, suponha que a velocidade mínima de sustentação de um avião, em vôo horizontal ao nível do mar, seja de 60km/h.

Este avião, qualquer que seja a altitude, poderá manter o vôo horizontal, desde que seu velocímetro indique uma velocidade de 60km/h. Acontece, porém, que para uma mesma velocidade indicada, a velocidade absoluta do avião será menor nas baixas altitudes que nas altitudes elevadas.

Compreende-se assim que em virtude da densidade do ar variar inversamente com a altitude, à medida que o avião subir no espaço, necessitará se deslocar mais rapidamente, a fim de que a pressão dinâmica, consequentemente a força de sustentação do ar, permaneça constante.

Usos Específicos do Velocímetro

–Permitir a determinação da velocidade absoluta do avião. Esta velocidade assume grande importância durante os vôos de cruzeiro, sobretudo quando se trata de uma missão de Tiro e Bombardeio, na qual há necessidade de que o tempo necessário para se atingir o objetivo seja determinado com precisão.

–Facilitar ao piloto a ajustagem do regime do motor (pressão de admissão, nos motores equipados com hélice de velocidade constante), de acordo com a performance de velocidade que deseje obter: velocidade máxima de cruzeiro, velocidade de economia máxima, velocidade de maior duração de vôo.

–Permitir a determinação do ângulo ótimo de subida, planagem e descida.

–Manter a velocidade, dentro dos limites de segurança da estrutura do avião, durante um vôo picado.

–Indicar ao piloto quando o avião atinge a velocidade de decolagem e durante a aterragem, quando atinge a velocidade de estol.

– Manter o avião em linha de vôo.

Tipos de Velocímetros Usados

Existem três espécies de Indicadores de Velocidade de Ar, os quais são classificados de acordo com seu princípio de funcionamento. São eles:

1. de manômetro diferencial;
2. mecânicos;
3. térmicos ou de fio quente.

Os que empregam o manômetro diferencial são classificados, por sua vez, de acordo com o sistema utilizado para a captação das pressões, em:

1. de tubo Pitot-estático
2. de tubo de Venturi;
3. de tubos Venturi-Pitot.

Existem também, dois tipos de velocímetros mecânicos, os quais são classificados, de acordo com o princípio de funcionamento, em:

1. rotativos;
2. de deflexão.

Nos instrumentos que funcionam por pressão diferencial – o tipo mais utilizado em aeronaves – as pressões estática e dinâmica são captadas por tubos de Pitot ou Venturi e medidas por manômetros metálicos extremamente sensíveis, calibrados em unidades de velocidade, como veremos oportunamente.

Já nos mecânicos rotativos, a velocidade é medida em função do número de rotações das palhetas dos moinhos de vento que os equipam, as quais são expostas à corrente do ar.

Nos mecânicos de deflexão, a velocidade é medida por intermédio da resistência oposta por uma placa, ao deslocamento da corrente de ar.

A placa, sob a ação da corrente de ar, desloca-se de sua posição de equilíbrio, deflexionando uma mola e em função da resistência oposta pela mola ao deslocamento da placa, se tem a velocidade do ar.

Consegue-se medir a velocidade com os instrumentos que funcionam sob o princípio do fio quente, pela perda de calor sofrida por um fio aquecido, o qual é exposto à corrente de ar.

De todos estes tipos de instrumentos, somente os de pressão diferencial do tipo Pitot serão aqui estudados detalhadamente, porquanto são os mais largamente empregado em aeronaves.

Velocímetro do Tipo Manômetro Diferencial

A figura 2-6 é uma vista esquemática do velocímetro de manômetro diferencial.

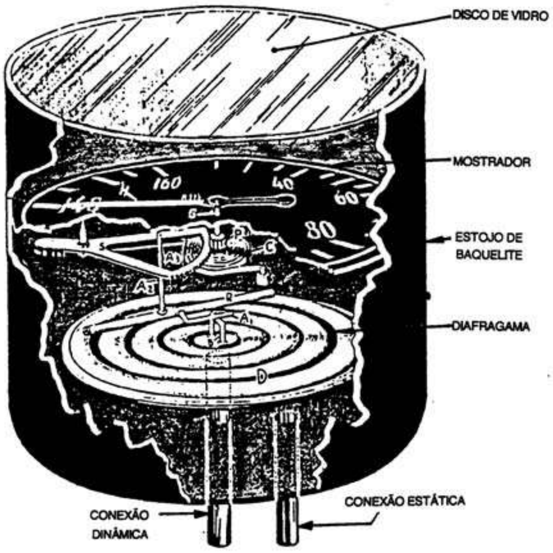


Figura 2-6 Vista interior do velocímetro Kollsman.

Neste indicador encontra-se um estojo de baquelite, tendo na parte posterior duas conexões, sendo uma para a pressão dinâmica e que se estende até o interior do aneróide, e a outra, para a pressão estática e que comunica o interior do estojo com o ramal da pressão estática do Pitot.

Na parte anterior do estojo, existe um disco de vidro para proteção do mostrador.

O mecanismo do indicador é colocado no interior do estojo e compõe-se de: diafragma, confeccionado com lâminas corrugadas de níquel, prata, bronze fosforoso, cobre e berílio ou outro metal que possua as características de elasticidade requeridas.

A escolha do diafragma depende de suas qualidades de elasticidade, evidenciadas pela relação: pressão-deflexão, efeitos de temperatura, histeresis rápida, etc. As propriedades de elasticidade dependem do material usado, tratamento do material ao ser manufaturado e da forma do diafragma;

B – suporte da alavanca A1, fixo ao diafragma D;

A_1 – alavanca do eixo balanceiro R;

R – eixo balanceiro;

A_2 – haste de transmissão, fixa ao eixo balanceiro, que serve de ponte entre este eixo e a haste A3, do setor denteado S;

A_3 – haste do setor denteado S;

S – setor denteado, que engraza com o pinhão P;

P – pinhão do eixo do ponteiro;

H – ponteiro e mostrador com escala graduada em unidade de velocidade;

C – mola cabelo, que não só mantém o conjunto do mecanismo bem ajustado, eliminando qualquer folga que possa surgir em conseqüência de desgastes provocados pelo funcionamento do mecanismo, como conserva a alavanca A_3, constantemente de encontro à haste A_2. Uma extremidade desta mola é presa ao pinhão P e a outra, a qualquer parte do suporte do mecanismo.

Dependendo do funcionamento preciso deste instrumento, das pressões captadas pelo tubo Pitot e das reações oferecidas pelo mecanismo e estas pressões, tomou-se, em relação ao tubo de Pitot, a precaução de equipá-lo com aquecimento elétrico.

Sendo estes tubos, praticamente, livres de erros resultantes da formação de pequenos depósitos de pó, óleo ou água, o aquecimento elétrico evitará a única causa que poderia prejudicar seu funcionamento a qual é a formação de gelo, quando são encontradas condições favoráveis.

A aparência externa e o mecanismo dos indicadores de velocidade deste tipo variam um pouco, mas o princípio de funcionamento é comum a todos. As diferenças externas consistem em que nuns, o vidro é mantido no lugar por uma mola em forma de anel e noutros, ele é mantido por um biselado preso ao estojo por quatro parafusos, no mínimo.

A construção dos estojos em duas partes (corpo do estojo e bisel aparafusado) foi adotada por ser uma maneira mais segura de conservá-lo bem vedado.

Outra diferença consiste em que, uns não têm iluminação individual, enquanto que outros possuem uma lâmpada individual, sendo o suporte da mesma, moldado no próprio estojo. Quando o instrumento tem iluminação individual, na parte posterior do estojo é encontrada uma tomada elétrica.

Funcionamento

O funcionamento deste instrumento depende exclusivamente das pressões estática e dinâmica que são captadas pelo conjunto Pitot-estático e transmitidas ao indicador, pelas tubulações. Este instrumento nada mais é, em última análise, que um manômetro metálico, diferencial.

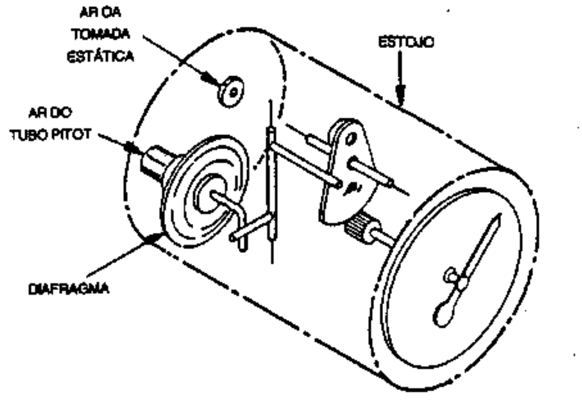


Figura 2-7 Funcionamento do Velocímetro

Compare a descrição do texto seguinte com a vista interna do velocímetro Kollsman ilustrado na figura 2-7.

A pressão estática é transmitida ao interior do estojo, enquanto que a pressão dinâmica é levada ao interior da cápsula aneróide.

Quando a velocidade do avião aumenta, há uma majoração da pressão dinâmica; a cápsula aneróide dilata-se empurrando o suporte B do encontro à alavanca A_1, comandando assim o eixo balanceiro R. Este eixo, auxiliado pelas hastes A_2 e A_3, comanda o setor denteado S; o setor arrasta em seu movimento o pinhão P, obrigando, por intermédio do eixo G, o ponteiro H a registrar sobre o mostrador o aumento de velocidade que ocasionou o acréscimo da pressão dinâmica. Quando a velocidade diminui, o diafragma contrai-se, porque a pressão dinâmica diminui também folgando, deste modo, o conjunto de mecanismo. A mola P poderá contrair-se, então, arrastando o ponteiro H, que registrará sobre o mostrador a diminuição da velocidade, correspondente à diminuição da pressão dinâmica e o conjunto do mecanismo permanecerá bem ajustado, podendo corresponder prontamente às solicitações do diafragma.

Os indicadores da velocidade podem ser calibrados em milhas por hora, em nós (milhas náuticas por hora), ou, para países que adotam o sistema métrico, em quilômetros por hora.

A leitura dada ao piloto é a velocidade indicada e, para isto lhe ser útil, deve ser feita uma correção para temperatura do ar, não padronizada. Esta é a mesma correção usada para altitude-densidade e quando aplicada à velocidade indicada, ela dá a velocidade verdadeira.

A velocidade verdadeira é mais alta que a indicada por aproximadamente dois por cento para cada mil pés de altitude. Isto é devido ao fato do ar tornar-se menos denso quando o avião sobe e a pressão diferencial é menor, redundando numa velocidade indicada mais baixa.

Indicador de Velocidade Verdadeira

O piloto poderia olhar seu indicador de velocidade, altímetro e indicador de temperatura do ar externo e inserir estas três indicações ao seu computador de vôo, para obter com isto sua velocidade verdadeira.

Este procedimento poderia distraí-lo demasiadamente e por isto foi desenvolvido um indicador de velocidade verdadeira, ilustrado na figura 2-8, que pode ser instalado no painel.

O estojo deste instrumento contém, um indicador de velocidade que move um ponteiro e um mecanismo altimétrico que move o mostrador

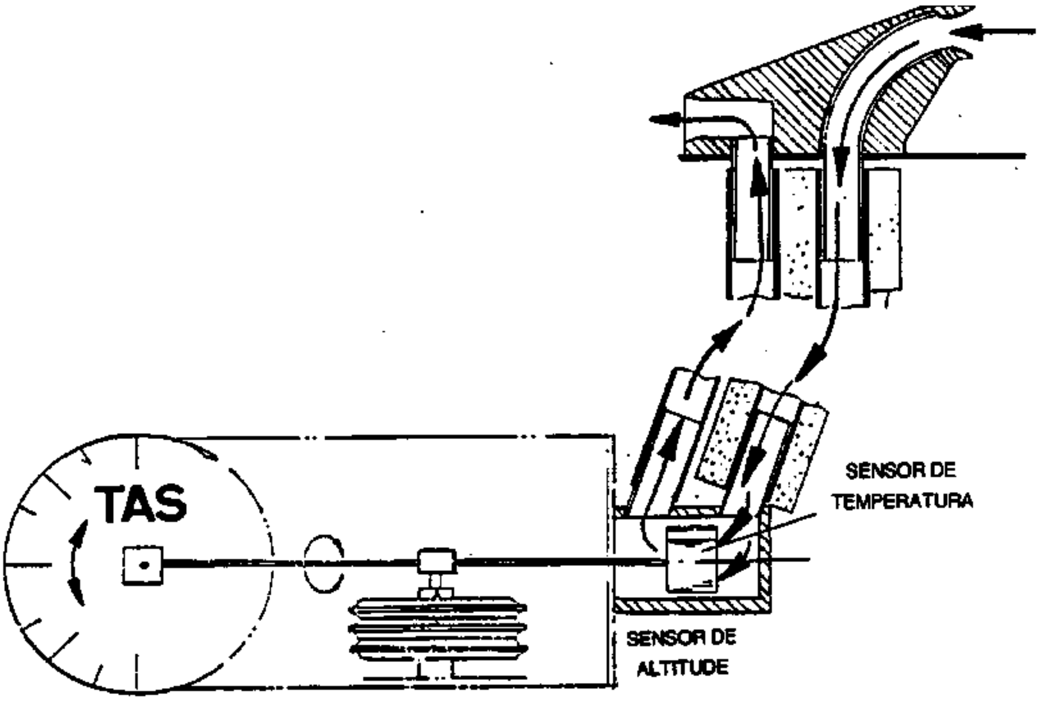


Figura 2-8 Indicação da velocidade verdadeira.

O movimento do mecanismo altimétrico é afetado (contrariado ou favorecido) pela ação de uma mola bimetálica exposta ao fluxo de ar externo e, quando o avião sobe em altitude, o mostrador gira em tal direção que o ponteiro indicará um valor mais alto. Se o ar está mais quente que o padrão, para a altitude na qual o avião está voando, o sensor de temperatura ajudará o altímetro a indicar uma velocidade verdadeira mais alta do que sob condições de temperatura padrão. Atualmente os velocímetros não apresentam somente a velocidade indicada.

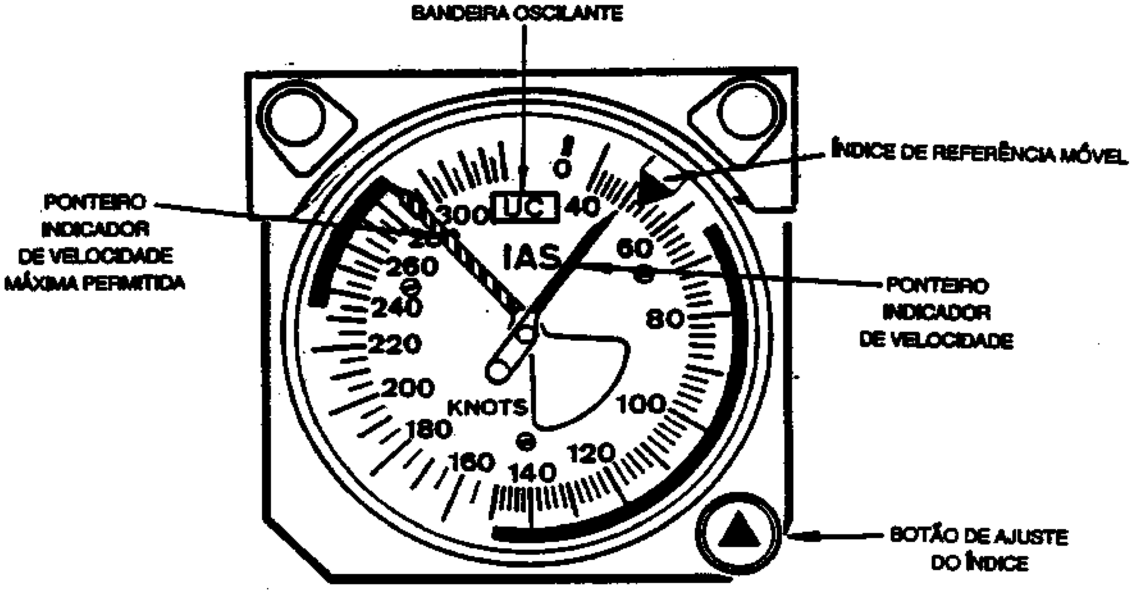

BANDEIRA OSCILANTE
ÍNDICE DE REFERÊNCIA MÓVEL
PONTEIRO INDICADOR DE VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA
PONTEIRO INDICADOR DE VELOCIDADE
BOTÃO DE AJUSTE DO ÍNDICE
UC
IAS
KNOTS
0
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300

Figura 2-9 Velocímetro do EMB-312.

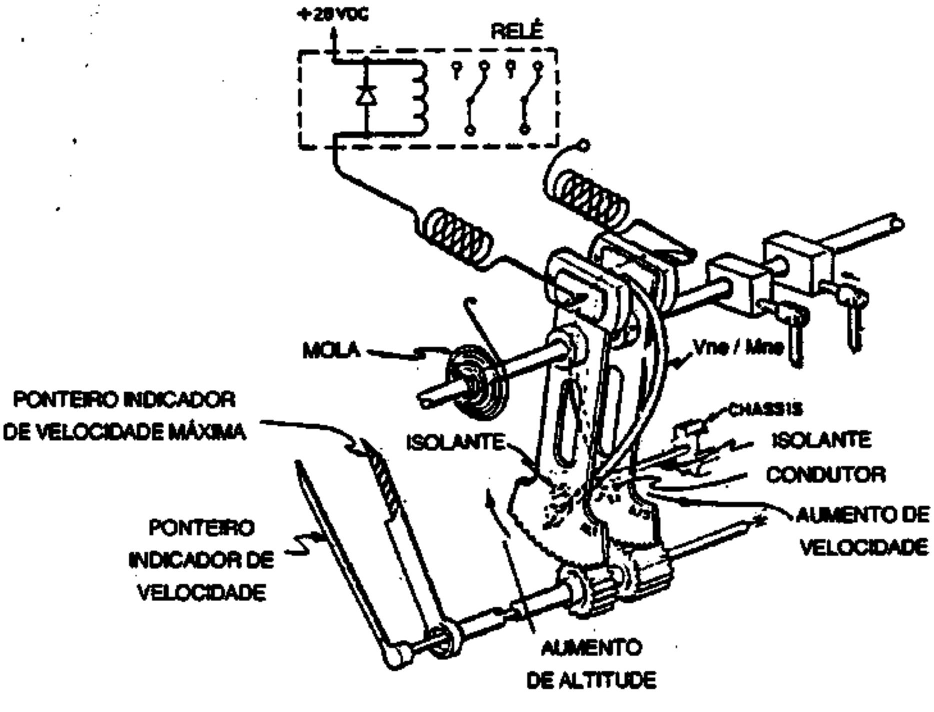

+28VDC
RELÉ
MOLA
Vne / Mne
CHASSIS
PONTEIRO INDICADOR DE VELOCIDADE MÁXIMA
ISOLANTE
ISOLANTE
CONDUTOR
AUMENTO DE VELOCIDADE
PONTEIRO INDICADOR DE VELOCIDADE
AUMENTO DE ALTITUDE

Figura 2-10 Interruptor de Alarme

Este instrumento além de apresentar a velocidade indicada, também mostra a indicação da velocidade máxima permitida, bem, como uma referência visual ajustável de velocidade. Um interruptor instalado no interior do instrumento, conforme ilustrado na figura 2-10, fornece um sinal elétrico que provoca um alarme de sobrevelocidade no sistema de áudio, se o avião ultrapassa a velocidade máxima permitida; isto ocorre quando o ponteiro indicador de velocidade cruza o ponteiro VNE/MNE.

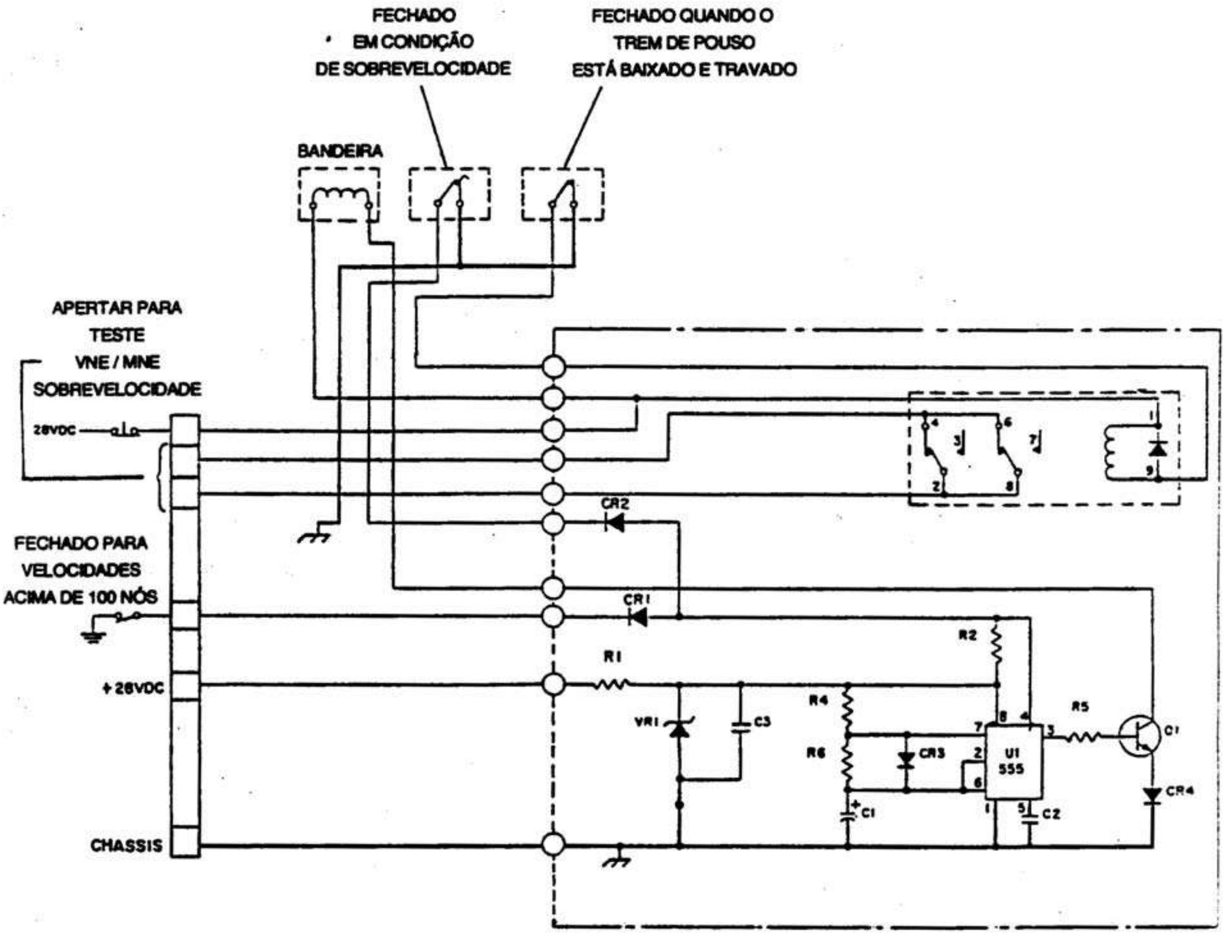

FECHADO EM CONDIÇÃO DE SOBREVELOCIDADE
FECHADO QUANDO O TREM DE POUSO ESTÁ BAIXADO E TRAVADO
BANDEIRA
APERTAR PARA TESTE VNE / MNE SOBREVELOCIDADE
28VDC
FECHADO PARA VELOCIDADES ACIMA DE 100 NÓS
+28VDC
CHASSIS
CR2
CR1
R1
R2
R4
R5
R6
VR1
C3
CR3
C1
C2
U1
555
Q1
CR4
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Figura 2-11 Circuito de alarme de sobrevelocidade

Além disso, o instrumento fornece um alarme visual, caso a aeronave atinja a velocidade de aproximação (abaixo de100kt) e o trem de pouso não esteja travado embaixo.

O dispositivo compreende um contador interno ajustável associado aos microcontatores do trem de pouso e a uma bandeira oscilante com a inscrição U/C (do inglês *under carriage*) que aparece numa janela sobre o mostrador, nas condições mencionadas.

A velocidade indicada nunca é precisa: há sempre uma tolerância (específica para cada instrumento).

As tolerâncias para o instrumento apresentado podem ser vistas na tabela 2-12. O ponteiro de velocidade máxima (VNE) é função de altitude. Analise o gráfico da figura 2-13

VELOCIDADE	TOLERÂNCIA
60 nós	±2,0 nós
100 nós	± 2,0 nós
140 nós	± 2, 0 nós
180 nós	± 3,0 nós
220 nós	± 3,0 nós
260 nós	± 3,0 nós
300 nós	± 3,0 nós

Figura 2-12 Tabela de tolerâncias

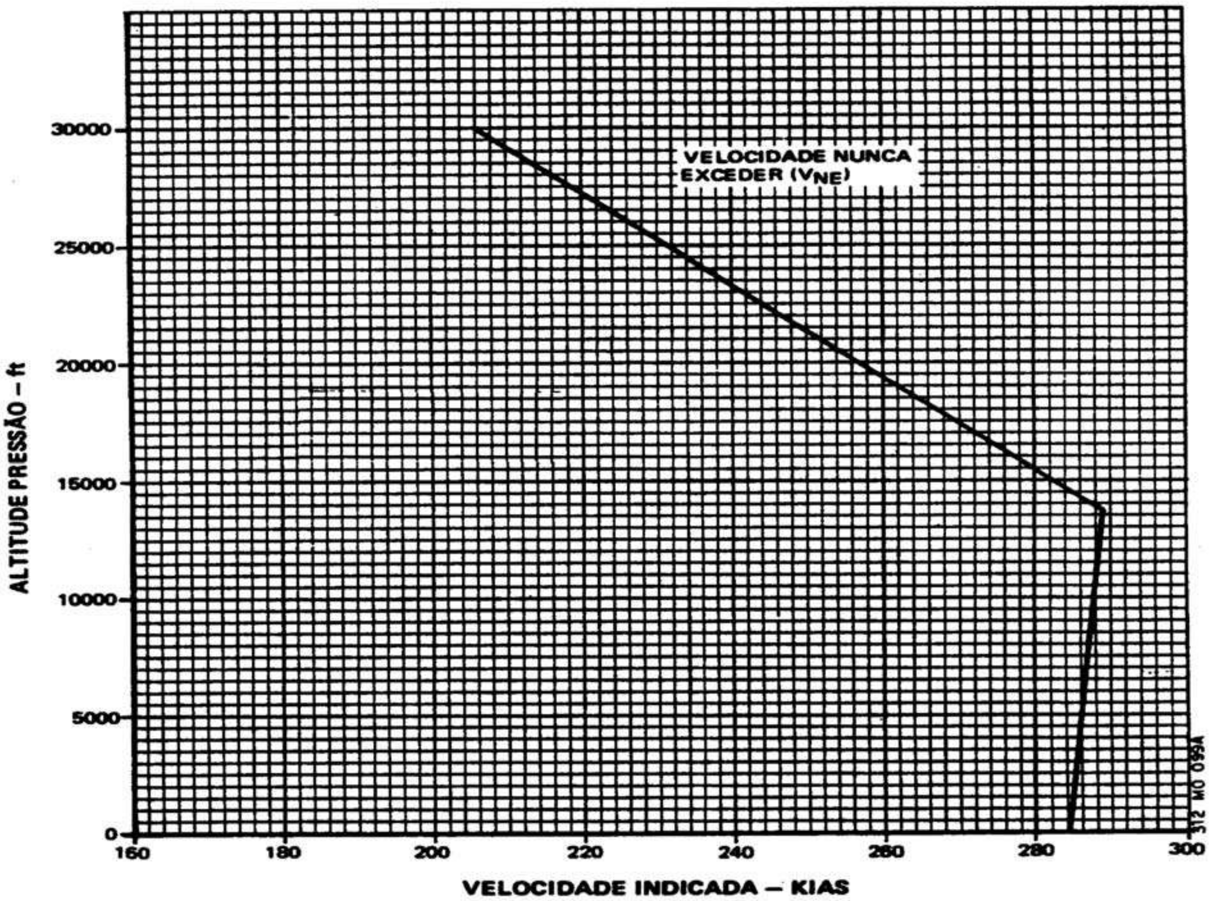


Figura 2-13 Gráfico de velocidade indicada x altitude pressão

Fazendo-se a leitura do gráfico da figura 2-13 obtém-se os seguintes valores:

ALTITUDE (ft)	VNE (knots)
0	284.2
1000	284.4
2000	284.7
000	284.9
4000	285.2
5000	285.5
6000	285.8
7000	286.1
8000	286.4
9000	286.8
10000	287.2
11000	287.5
12000	287.9
13000	288.3
14000	287.8
15000	282.4
16000	276.9
17000	271.6
18000	266.3
19000	261.0
20000	255.8
21000	250.7
22000	245.6
23000	240.5
24000	235.6
25000	230.7
26000	225.8
27000	221.0
2800	216.2
29000	211.5

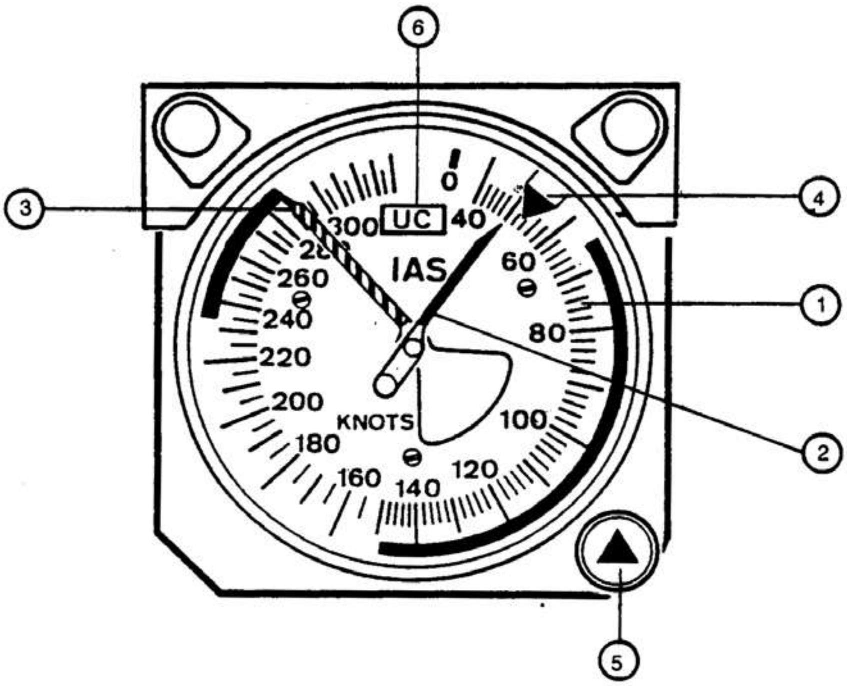
Figura 2-14 Tabela da VNE em função da altitude

Conclusão: Com o aumento da altitude a VNE aumenta até um determinado ponto quando bruscamente começa a diminuir.

Neste assunto são usados as seguintes siglas:

.

- MNE: Mach – Nunca Exceda.
- VNE: - Velocidade – Nunca Exceda.
- KEAS - Velocidade Equivalente (em nós).
- KIAS - Velocidade Indicada (em nós)
- KCAS - Velocidade Calibrada (em nós)



CONTROLES / INDICADORES	FUNÇÃO
1. Escala de velocidade	Escala de velocidade indicada em KNOTS IAS.
2. Ponteiro de velocidade	Mostra, sobre a escala de velocidade, a velocidade máxima permitida ao avião na configuração limpa.
3. Ponteiro de velocidade máxima permitida	Mostra, sobre a escala de velocidade máxima permitida avião na configuração limpa. Caso a aeronave atinja a velocidade máxima permitida, um sinal de sobrevelocidade será enviado pelo velocímetro à unidade de alarme sonoro e,posteriormente, soa o alarme nos fones dos tripulantes.
4. Índice de referência	Referência móvel sobre a escala de velocidade.
5. Botão de ajuste	Ajusta a posição do índice de referência sobre a escala de velocidade.
6. Bandeira UC	Aparecerá intermitentemente quando a aeronave estiver voando abaixo de 100 KIAS e o trem de pouso não estiver travado embaixo e aparecerá continuamente quando houver falta de energia elétrica na aeronave.

Figura 2-15 Velocímetro do EMB 312

ALTÍMETRO

Generalidades

1. Distribuição da Temperatura Terrestre

A Terra e a atmosfera terrestre são aquecidas pelo sol.

O aquecimento solar se faz irregularmente, o que acarreta uma distribuição variável de temperatura não só no sentido vertical como também no sentido horizontal.

A atmosfera recebe a maior parte de seu aquecimento por contato com a superfície terrestre. Este calor é fornecido, aos níveis inferiores da atmosfera, razão pela qual a temperatura na troposfera decresce com a altitude. A razão de variação da temperatura com a altitude é chamada de gradiente térmico.

2. Transmissão de Calor

O calor passa dos corpos de temperatura mais alta para os de temperatura mais baixa. Ao transferir-se, o calor utiliza-se dos processos a seguir descritos.

A - Condução

É a transferência feita de molécula, a molécula sem que haja transporte das mesmas.

Na atmosfera, resume-se na propagação do calor do ar através do contato com a superfície aquecida do solo.

B - Movimento do Ar

O calor é transportado por meio do deslocamento de grandes porções ou massas de ar, de um lugar para outro. Há dois tipos de transferência através do movimento do ar:

> **Convecção**: o calor é transferido verticalmente. A transmissão é feita de molécula a molécula, mas, simultaneamente, verifica-se um transporte de matéria. Moléculas frias se deslocam para regiões mais quentes e moléculas quentes para regiões frias. Exemplo: um recipiente contendo água fria, levado ao fogo. As moléculas da camada de água em contato com o fundo, aquecendo-se antes das outras, aumentam de volume e diminuem em densidade. A diferença de densidade faz com que elas se desloquem para cima, enquanto as moléculas mais frias das camadas superiores se deslocam para baixo. As correntes assim estabelecidas recebem o nome de "correntes convectivas". É o processo de propagação mais comum da atmosfera, e se traduz pela movimentação do ar no sentido vertical, por meio de correntes ascendentes que levam o ar aquecido para os níveis mais elevados e correntes descendentes, que trazem ar mais frio dos níveis de cima à superfície.
>
> **Advecção**: o calor é transferido horizontalmente pelo movimento do ar. Toda vez que houver convecção haverá também advecção, pois, quando o ar quente sobe num movimento vertical, o ar mais frio adjacente mover-se-á horizontalmente em direção ao ar que está ascendendo e o substituirá.

C - Radiação:

É a transferência de calor através do espaço. A energia térmica é transformada em radiante e se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. Estas são convertidas em calor, quando absorvidas pelo corpo sobre o qual incidem.

3. Definição de Pressão

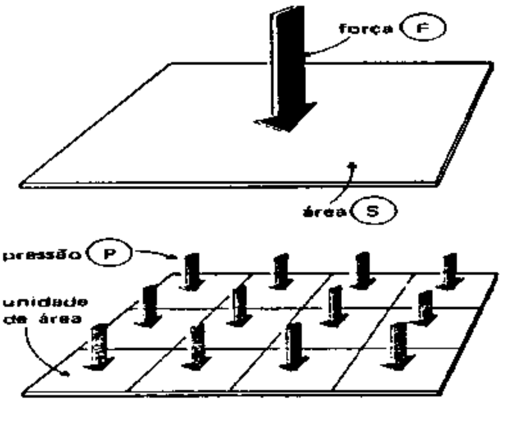


Figura 2-16 Definição de pressão

Na Física, define-se PRESSÃO como sendo o "quociente entre uma força (ou peso) e a área da superfície onde a força está aplicada", matematicamente, tem-se $P = F/S$ o que equivale a dividir a força em "forças menores", iguais entre si e distribuídas em cada unidade de área, conforme ilustra a figura 2-16.

4. Pressão Atmosférica

O ar que envolve a Terra apresenta, por efeito de força de gravidade, um peso que é traduzido em forma de pressão atmosférica.

Desta maneira a pressão atmosférica pode ser definida como sendo o peso de uma coluna de ar de seção unitária, estendida verticalmente desde a superfície da Terra até o limite superior da atmosfera.

Há cerca de 1,033kg de ar pesando sobre cada centímetro quadrado de superfície ao nível do mar. O ar sendo compressível se apresenta mais denso perto da superfície e mais rarefeito em altitude, por causa da pressão exercida pelas camadas superiores sobre as inferiores.

A pressão exercida pelo ar depende principalmente de sua temperatura e densidade, embora outros fatores também influam, tais como: a altitude, a umidade, o período do dia, a latitude.

5. Unidades de Pressão Atmosférica

“Milímetros de mercúrio”, é uma das unidades de pressão atmosférica que resulta de uma experiência clássica de Torricelli: quando um tubo (de 1cm^2 de seção) completamente cheio com mercúrio é emborcado num recipiente contendo também mercúrio, a altura **h** em que o mercúrio “estaciona” depende exclusivamente da pressão do ar atmosférico.

Se a experiência descrita for feita ao nível do mar, a altura **h** será de 76 centímetros de mercúrio (cmHg) ou 760 milímetros de mercúrio (mmHg), ou 760 torricelli (torr) ou, ainda, uma atmosfera (atm.).

1 mmHg = 1 torr
1 atm. = 76cmHg = 760mmHg = 760 torr =
14,7 psi = 1013,25 mb ou hPa = 29,92in Hg

A unidade da pressão atmosférica, segundo a Organização Mundial de Meteorologia, é o milibar (mb), definida como 1000 dinas por centímetro quadrado. Devido as experiências iniciais de Torricelli, muitos barômetros são ainda graduados em polegadas de mercúrio (pol Hg) e milímetros de mercúrio (mmHg).

Sob condições padrão, uma coluna de mercúrio, tendo uma altura de 760 mm, exercerá uma pressão de 1013,25 milibares (mb) ou 29,92 polegadas de mercúrio (in Hg).

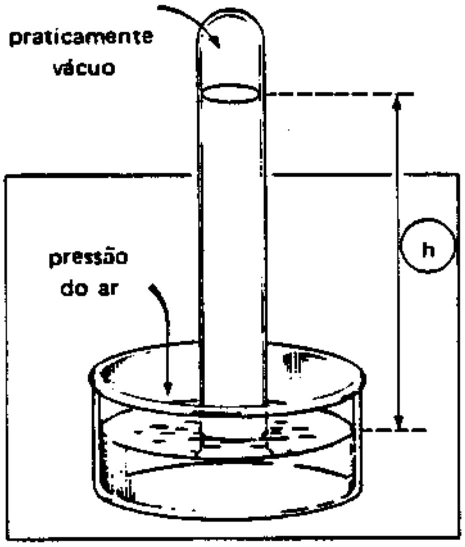


Figura 2-17 Experiência de Torricelli.

Em resumo:

6. Causas da Variação da Pressão

A pressão atmosférica é um elemento que muda constantemente. Além de variar regularmente em ciclos diurnos e anuais, possui variações irregulares que são as causas do vento e do tempo em geral.

As variações de pressão são causadas principalmente pelas variações de densidade do ar, sendo que essas, por sua vez, são causadas por variações de temperatura.

O ar quando aquecido expande-se, ocupando um volume maior, de modo que uma coluna de ar quente pesa menos que uma equivalente mais fria.

A porcentagem de umidade existente no ar também influencia a pressão. O ar seco é mais denso que o úmido. Um aumento da quantidade de vapor d’água, no ar, diminui sua densidade e, portanto, a pressão. O ar é muito compressível e, devido à pressão exercida pelas camadas superiores da atmosfera sobre as camadas inferiores, a pressão atmosférica apresenta valores maiores à superfície do que em altitude, em razão do aumento de densidade do ar, naquele nível. Na medida em que se eleva acima do nível do mar, o peso do ar diminui. Ao nível do mar, o peso da atmosfera é de 1,033 kgf / cm^2. A 7.600 metros, por exemplo, este peso é de apenas 0,14kgf/cm^2. A pressão cai, a princípio rapidamente, na camada mais densa do ar inferior e, em seguida, mais lentamente, na medida em que o ar vai se tornando mais rarefeito.

7. Definições de Pressão

Pressão absoluta: é contada a partir do zero absoluto de pressão. Por este motivo o instrumento indicador de pressão absoluta mostrará a pressão atmosférica local toda vez que o sistema estiver desligado.

Pressão diferencial: é a que resulta da comparação entre pressões. Uma de suas aplicações, em aviação, é a comparação entre a pressão atmosférica, externa e a interna, de uma aeronave.

Pressão relativa: é quando a pressão atmosférica é tomada como ponto zero ou de partida de contagem. Estes instrumentos mostram leitura zero quando o sistema está desligado.

8. Definições de Altitude

A seguir, algumas definições que ajudarão a entender o emprego dos dois sistemas de ajustagem do altímetro.

Altitude: é a distância vertical de um nível, um ponto ou um objeto considerado como um ponto, medida a partir de um determinado plano referência.

Altitude Absoluta (altura): é a distância vertical acima da superfície da Terra, sobre a qual o avião está voando.

Altitude Indicada: é a leitura não corrigida, de um altímetro barométrico.

Altitude Calibrada: é a altitude indicada, corrigida para os erros do instrumento e de instalação do mesmo.

Pressão da Altitude do Campo: é a pressão lida na escala barométrica, quando os ponteiros são ajustados na altura do local onde está pousado o avião. Usa-se, em geral, ajustar os ponteiros a dez pés, pois essa é, mais ou menos, a altura do painel de instrumentos onde está localizado o altímetro. Quando se ajusta o altímetro neste sistema, a escala barométrica indicará a pressão local.

Altitude-Pressão: é o número indicado pelos índices de um altímetro, ajustado no sistema de pressão da altitude do campo. Como os índices são sincronizados com a escala barométrica, pode-se ajustar os altímetros por aqueles, convertendo-se a pressão que é dada em unidades tais como milibares, pol, hg, etc.

Altitude Verdadeira: é a distância vertical de um ponto ou de uma aeronave, acima do nível do mar.

Altitude-Densidade: é altitude-pressão corrigida pela temperatura. É muito usada em cálculos de performance.

Nota: no nível zero da atmosfera padrão, considera-se a terra como uma esfera perfeitamente lisa.

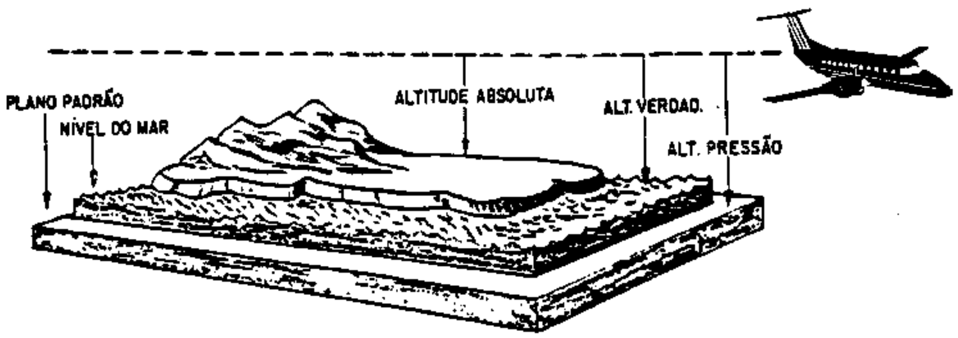


Figura 2-18 Definições de altitude

9. Correções do Altímetro

As principais correções de altímetro são devidas às variações da temperatura do ar e da pressão atmosférica.

A figura 2-19 indica que uma aeronave, quando voa de uma área quente para uma área fria, tem sua altitude verdadeira diminuída à proporção que se aproxima da área fria, embora o altímetro mantenha uma altitude indicada constante.

A figura 2-20 identicamente mostra a diminuição da altitude verdadeira, quando a aeronave voa em direção a uma área de baixa pressão. Essas figuras têm a finalidade de alertar aos pilotos, quanto à escolha do nível de vôo, ao voarem em direção a uma área mais fria ou em direção a uma área de baixa pressão.

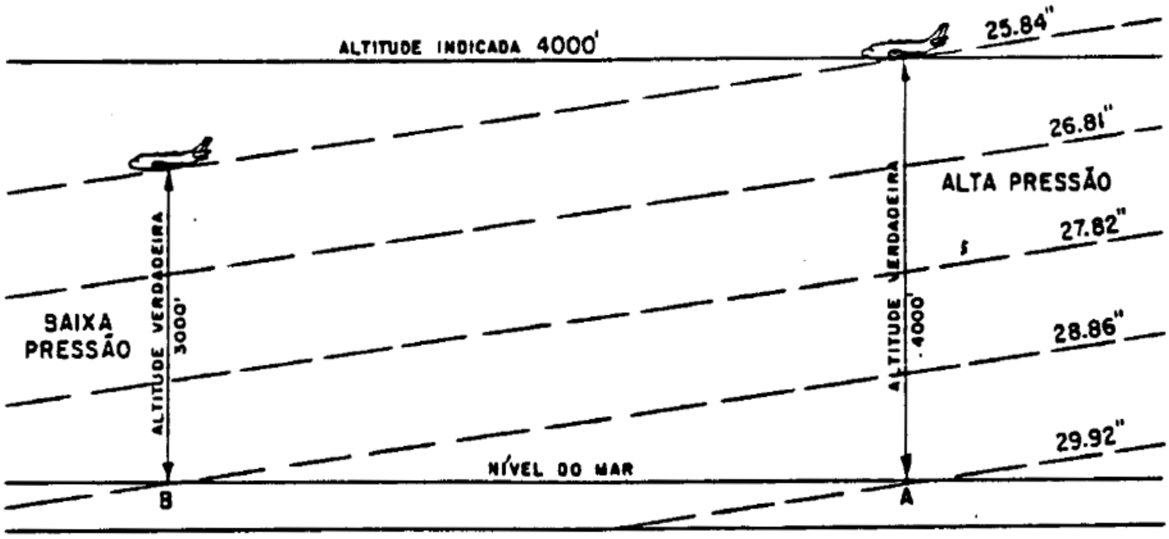

ALTITUDE INDICADA 4000'
25.84"
26.81"
ALTA PRESSÃO
27.82"
28.86"
29.92"
BAIXA PRESSÃO
ALTITUDE VERDADEIRA 3000'
ALTITUDE VERDADEIRA 4000'
NÍVEL DO MAR
B
A

Figura 2-19 Correção do altímetro devido à variação de temperatura

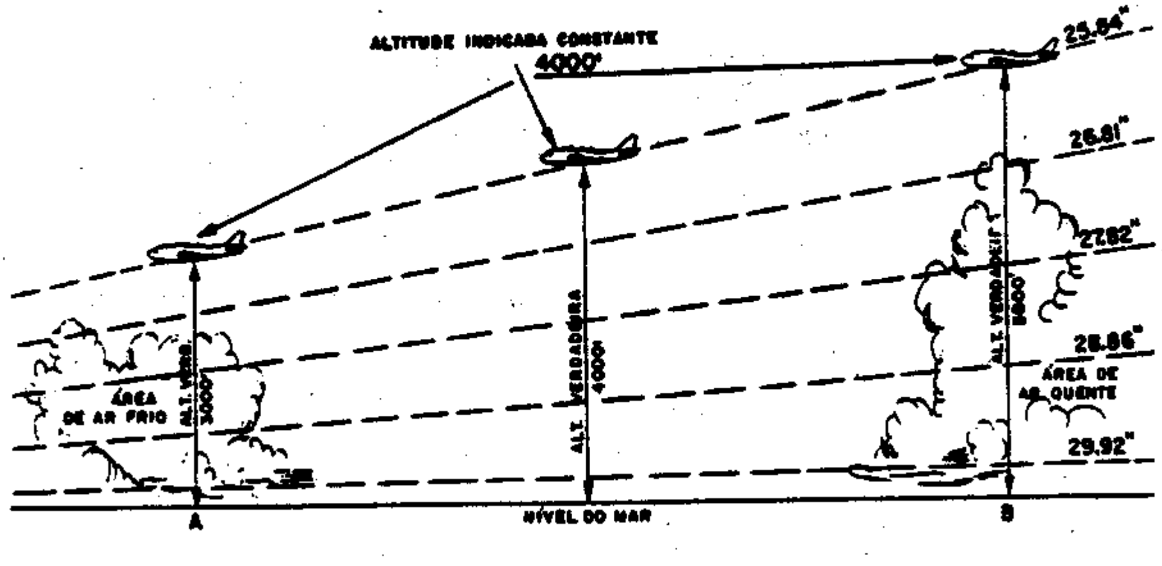

ALTITUDE INDICADA CONSTANTE
4000'
25.84"
26.81"
27.82"
28.86"
29.92"
ÁREA DE AR FRIO
ALT. VERD. 3000'
ALT. VERDADEIRA 4000'
ALT. VERDADEIRA 5000
ÁREA DE AR QUENTE
A
NÍVEL DO MAR
B

Figura 2-20 Correção do altímetro devido à variação de pressão

10. Cápsula ou diafragma

Quando as pressões a serem medidas são pequenas e necessita-se de alta precisão é comum empregar-se uma cápsula. Dois pratos corrugados são juntados com solda em suas bordas, de modo que a parte côncava de um fique voltada para a do outro. O enrugamento dos pratos permite aumentar a área que vai sentir a pressão e, ao mesmo tempo, possibilitar maior flexibilidade. A figura 2-21 mostra uma cápsula ou diafragma vista em corte transversal; pode-se notar o corrugamento, a entrada da pressão e a solda das bordas.

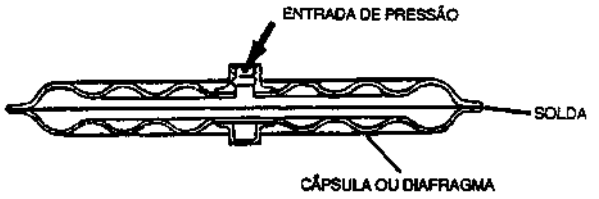


Figura 2-21 Cápsula ou diafragma em corte

A figura 2-22 mostra um conjunto de cápsulas sanfonadas que possibilitam maior sensibilidade e melhor indicação.

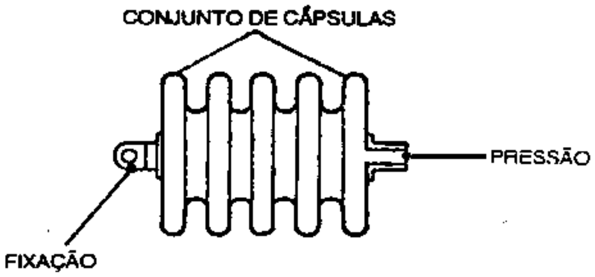


Figura 2-22 Cápsula sanfonada

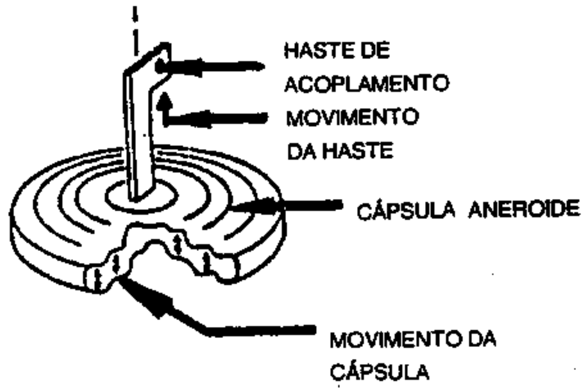


Figura 2-23 Cápsula aneróide

A figura 2-23 mostra uma cápsula aneróide**,** hermeticamente fechada e que atuará sob os efeitos das variações de pressões externas.

Vê-se, também, uma haste que servirá para o acoplamento ao sistema que irá acionar o ponteiro indicador.

Os altímetros são instrumentos que empregam cápsulas aneróides.

Altímetro padrão

O altímetro padrão tinha uma simples cápsula aneróide vazia, cuja expansão e contração movia um eixo basculante, um setor e uma engrenagem de pinhão, que era ligada a um ponteiro conforme ilustrado na figura 2-24.

O mostrador para este instrumento era calibrado em "pés", e sempre que qualquer variação na pressão barométrica existente causava uma mudança na indicação da altitude, o mostrador podia ser girado e assim o piloto podia fazer o instrumento indicar zero, enquanto o avião estivesse no solo.

Esta simples forma de ajustamento tornava o vôo local mais fácil para o piloto, mas era inútil para o vôo, através do país, porque a pressão barométrica do destino raramente é a mesma do ponto da decolagem.

Assim que as comunicações de rádio, em vôo, tornaram-se possíveis, os altímetros com escalas barométricas ajustáveis foram desenvolvidos, capacitando o piloto a justar seu altímetro às condições barométricas existentes no local do pouso.

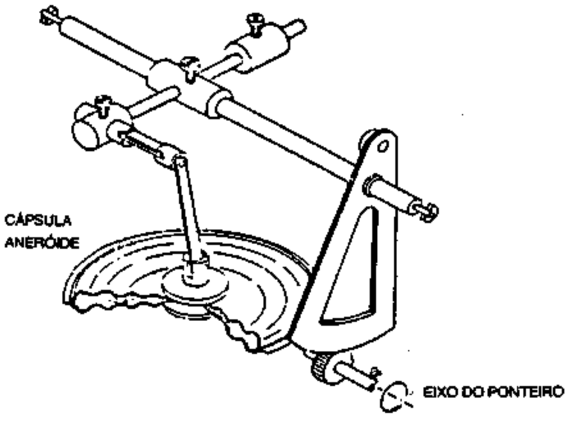


Figura 2-24 Altímetro padrão

Seu instrumento indicaria, então, ou zero quando suas rodas tocassem o solo ou, como é atualmente feito, indicaria sua altitude acima do nível médio do mar.

Dessa maneira, o piloto pode determinar sua altura acima dos objetos sobre o solo, e seu altímetro indicará a altitude oficial do aeródromo quando suas rodas rolarem sobre a pista.

O gradiente vertical da pressão (redução da pressão com a altitude) não é linear, isto é, a mudança em pressão para cada mil pés é maior em altitudes mais baixas do que em níveis mais altos.

É possível projetar o enrugamento das cápsulas aneróides, de modo que sua expansão seja uniforme para uma mudança de altitude, em vez de uma mudança de pressão. O uso desse tipo de cápsula aneróide tem tornado possível o uso de ponteiros múltiplos e escalas uniformes. Um ponteiro faz uma volta completa para 1.000 pés outro, uma volta a cada 10.000 pés e um ponteiro curto ou marcador fará uma trajetória completa para 10.000 pés, se o instrumento atingir esta altitude.

Os altímetros usados em aviões modernos, geralmente têm alcances de 20.000, 35.000, 50.000 e 80.000 pés.

A figura 2-25 ilustra uma das formas mais primitivas de altímetros sensitivos com três ponteiros.

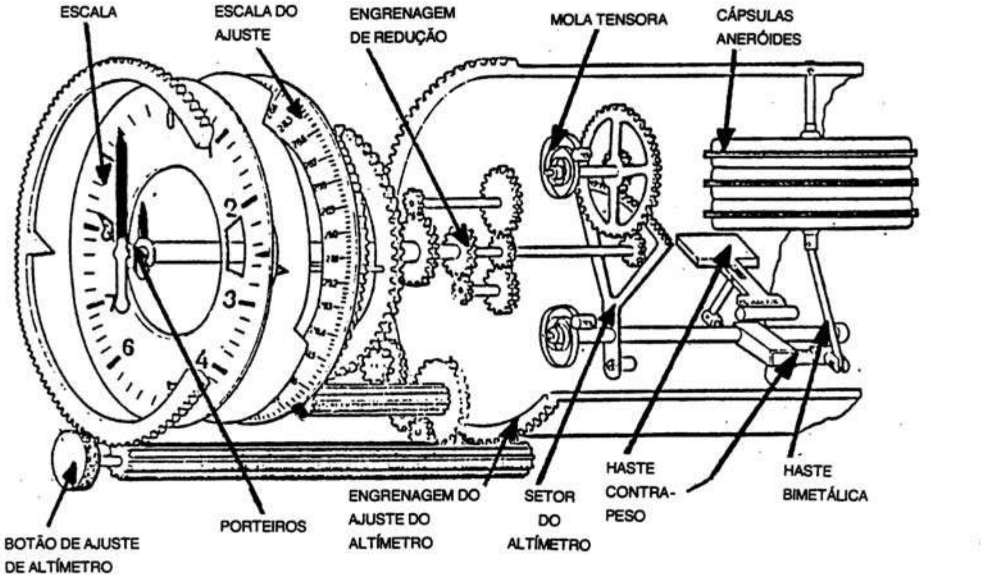

ESCALA
ESCALA DO AJUSTE
ENGRENAGEM DE REDUÇÃO
MOLA TENSORA
CÁPSULAS ANERÓIDES
HASTE CONTRA-PESO
HASTE BIMETÁLICA
SETOR DO ALTÍMETRO
ENGRENAGEM DO AJUSTE DO ALTÍMETRO
PORTEIROS
BOTÃO DE AJUSTE DE ALTÍMETRO

Figura 2-25 Vista interna do altímetro primitivo de três ponteiros

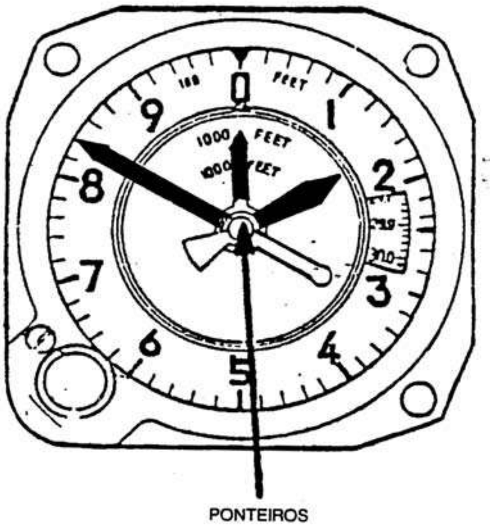

FEET
1000 FEET
10000 FEET
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
PONTEIROS

Figura 2-26 Altímetro primitivo de três ponteiros

O altímetro de três ponteiros é relativamente fácil de ser mal interpretado porque o menor ponteiro é facilmente encoberto por um dos outros e em aviões pressurizados com elevada razão de subida é difícil saber-se a altitude aproximada. Acidentes têm sido atribuídos a pilotos que interpretaram erroneamente o pequeno ponteiro; assim, os mais recentes modelos de altímetros substituíram o pequeno ponteiro por um marcador e um setor listrado, que desaparece por trás de uma cobertura numa determinada altitude, conforme ilustrado na figura 2-27. A figura 2-28 é um diagrama esquemático do funcionamento deste altímetro.

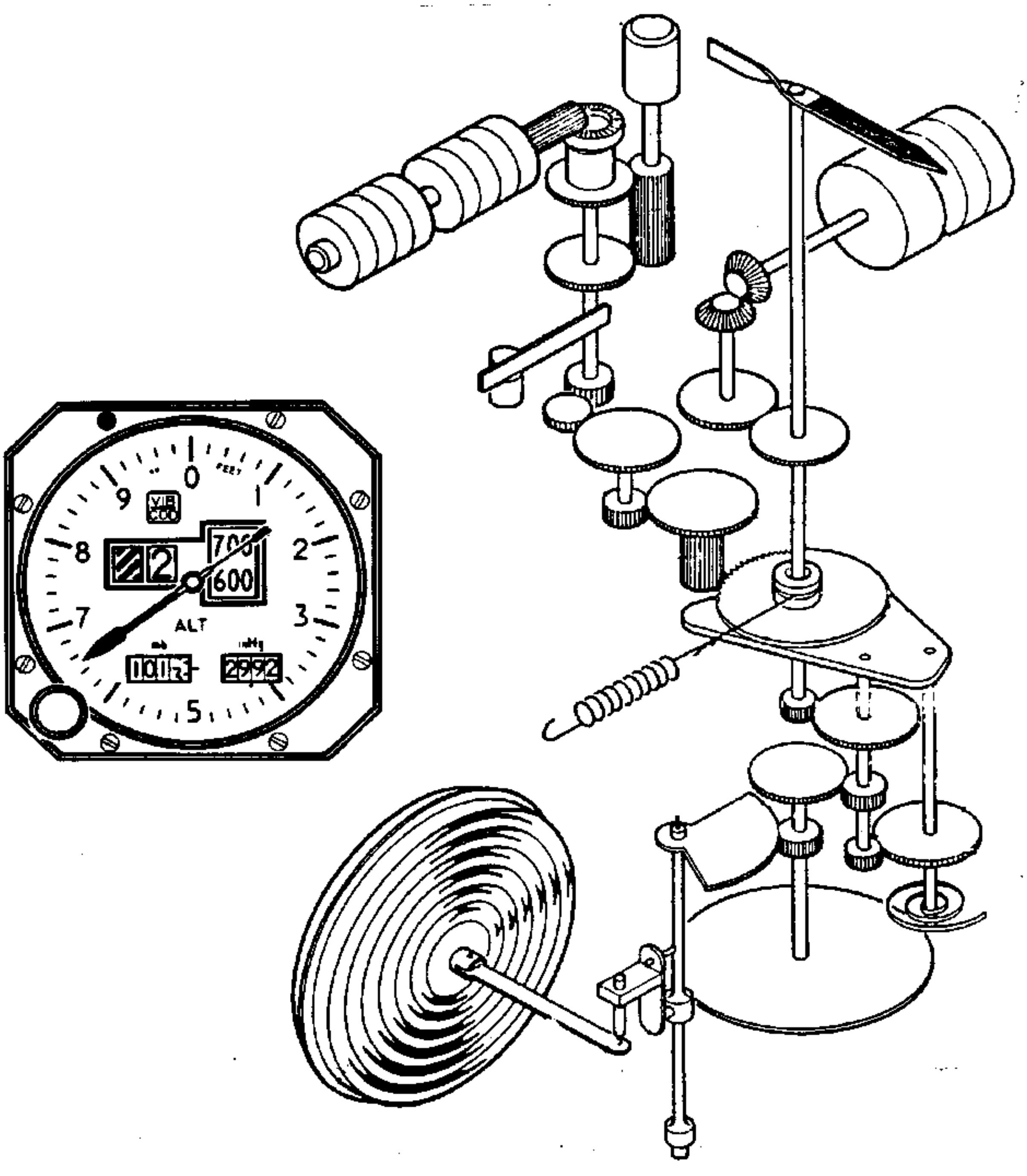

0
1
2
3
5
7
8
9
FEET
2
700
600
ALT
mb
inHg
2992

Figura 2-27 Funcionamento de um modelo mais recente de altímetro

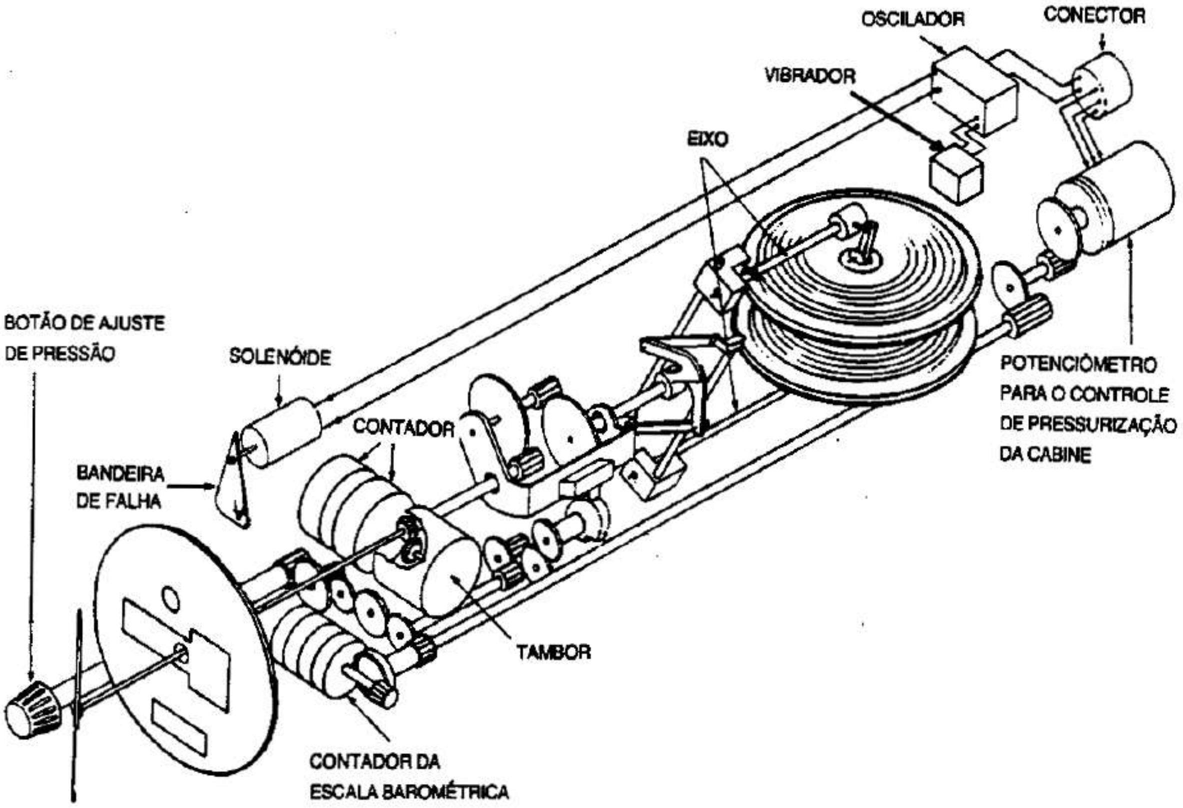

OSCILADOR
CONECTOR
VIBRADOR
EIXO
BOTÃO DE AJUSTE DE PRESSÃO
SOLENÓIDE
CONTADOR
POTENCIÔMETRO PARA O CONTROLE DE PRESSURIZAÇÃO DA CABINE
BANDEIRA DE FALHA
TAMBOR
CONTADOR DA ESCALA BAROMÉTRICA

Figura 2-28 Diagrama esquemático de funcionamento do altímetro

As duas cápsulas acionam um eixo de ponteiro comum através de dois conjuntos de eixos oscilantes e elos compensados por temperatura.

A engrenagem cônica deste eixo aciona os três tambores.

Um botão de ajuste da pressão no solo ativa um disco de ressaltos para mover o ponteiro e fornecer a adequada referência de pressão.

Uma extensão no ajustamento de escala barométrica move um potenciômetro no sistema de pressurização da cabine, para relacioná-lo à pressão barométrica, que o piloto introduziu no altímetro de vôo.

Alguns tipos de altímetro utilizam uma série de cápsulas aneróides empilhadas, para acionar os ponteiros.

Se, por exemplo, as cápsulas aneróides modificarem suas dimensões em 3/16 de polegada, o ponteiro mais comprido do mostrador girará trinta e cinco voltas completas.

Esta amplificação requer rubis em todos os pivôs principais, para reduzir ao máximo a fricção.

A fricção dentro do altímetro, mesmo sob condições quase ideais, é tal que para uma indicação precisa é necessário que haja vibração no instrumento.

Isto não é problema para aviões de motores alternativos, pois existe suficiente vibração do motor; mas o avião a jato freqüentemente exige vibradores para o painel de instrumentos a fim de manter precisa a indicação do altímetro. O torque requerido para acionar os três tambores, além do ponteiro, torna obrigatório o uso de um vibrador e, em vez de depender de uma unidade montada externamente, um oscilador e um vibrador são incluídos no estojo do instrumento para fornecer exatamente a quantidade correta de vibração (para o instrumento). Um solenóide rotativo aciona um indicador de falha, para alertar o piloto quando o vibrador ficar inoperante.

Erros

A verificação do altímetro visa confirmar se as indicações estão corretas dentro da faixa de tolerância prescrita para a operação do instrumento e detectar alguns vazamentos porventura existentes na linha estática. Visa, também, verificar se os ponteiros não estão prendendo durante o funcionamento. Para cada valor de altitude uma tolerância é permitida.

A tabela a seguir é um exemplo.

ALTITUDE (PÉS)	PRESSÃOEQUIVALENTE (POLEGADAS DE MERCÚRIO)	TOLERÂNCIA ± (PÉS)
...- 1.000	31,018	20
0	29,921	20
500	29,385	20
1.000	28,856	20
1.500	28,335	25
2.000	27,821	30
3.000	26,817	30
4.000	25,842	35
6.000	23,978	40
8.000	22,225	60
10.000	20,577	80
12.000	19,029	90
14.000	17,577	100
16.000	16,216	110
18.000	14,942	120
20.000	13,750	130
22.000	12,636	140
25.000	11,104	155
30.000	8,885	180
35.000	7,041	205
40.000	5,538	230
45.000	4,355	255
50.000	3,425	280

Tabela 2-29 Tolerâncias em relação à altitude

Além dos erros de temperatura, os altímetros estão sujeitos a outras espécies de erros, motivados por deficiência no mecanismo. O aneróide pode induzir a erros nas indicações do altímetro, dos quais o mais importante é conhecido como erro de Hesteresis, chamado também de erro de impulso ou de atraso.

Esta espécie de erro é ocasionada pela impossibilidade das moléculas do metal, de que é feito o aneróide, de reagirem prontamente às rápidas variações de pressão que se fazem sentir sobre os contornos do aneróide

AJUSTE DO ALTÍMETRO

1. Ajuste do "Zero"

Obtém-se a altitude-pressão do altímetro de estação, coloca-se os ponteiros do altímetro a zero, vibra-se ligeiramente o instrumento. A seguir, verifica-se a posição das marcas de referência, suas indicações deverão coincidir com as da altitude de pressão da estação local, ou excedê-las de trinta pés, no máximo. Caso o erro exceda a tolerância permitida de trinta pés, ajusta-se o instrumento.

2. Ajuste do altímetro

É a pressão lida na escala barométrica do altímetro, quando os ponteiros são ajustados na altitude local onde está pousado o avião. O número que aparecerá na escala barométrica é da pressão local convertida ao nível do mar, de acordo com a tabela de atmosfera padrão.

3. Elevação Calculada do Campo ou Altitude

É o número indicado pelos ponteiros, quando a escala barométrica é ajustada no sistema de ajuste.

4. Variação da Altitude-Pressão

É o mesmo que ajuste de altímetro, só que é indicado em pés, pois é o número dado pelos índices ou marcadores de referência quando se ajusta a escala barométrica ao sistema de ajuste de altímetro.

O movimento dos índices é sincronizado com os da escala barométrica, de modo que há uma correspondência fixa entre as indicações dos índices.

Daí se conclui que tanto faz ajustar-se o altímetro pelo sistema de ajuste de altímetro, recebendo-se o número em polegadas de Hg, ou em pés (variação da altitude-pressão), já que a correspondência entre ambas é fixa.

5. Ajustagem usando-se a Altitude do Campo

Quando se desejar ajustar o altímetro de modo que seus ponteiros indiquem a altura do avião acima do ponto da terra sobrevoado ou, mais precisamente, acima do campo de aterragem, o piloto pedirá, pelo rádio, a pressão barométrica do local.

6. Ajustagem usando-se a Escala Barométrica

Ajustam-se os ponteiros do instrumento para a altura do campo, por ocasião da decolagem. A escala barométrica do instrumento indicará, então, a pressão local, convertida ao nível do mar.

Sendo a pressão local igual à padrão, a leitura da escala barométrica será 29.92 Pol Hg; sendo maior, a leitura será maior que 29.92; sendo menor, a leitura será menor que 29.92.

Para obter-se durante o vôo, a altitude do avião, acima do nível do mar, basta ajustar-se a escala barométrica do altímetro para a pressão atmosférica do nível do mar. Esta pressão é obtida pelo avião, através de estação meteorológica.

ALTÍMETRO CODIFICADOR

Generalidades

O controle do tráfego aéreo pelo radar permite que um fluxo de tráfego de alta densidade torne-se suave e ordenado, mas, até recentemente, o controlador não tinha conhecimento exato da altitude do avião que ele estava seguindo. O "*transponder*" responde ao radar do solo com um código, dando ao controlador certas informações que ele necessita.

O "*transponder*" tem 4.096 códigos disponíveis; assim, a mais recente geração de altímetros não somente fornece ao piloto uma indicação de sua altitude mas, também, codifica o "*transponder*", permitindo-lhe responder à estação no solo com um sinal que dará uma indicação visível, na tela do radar, da altitude do avião a cada 100 pés.

A maioria dos altímetros codificadores, ora em uso, utiliza codificadores óticos. Neste sistema, as cápsulas acionam um disco de vidro com setores transparentes e opacos.

Uma fonte de luz brilha através do disco sobre as células fotoelétricas, as quais convertem o movimento do disco em sinais codificados para o "transponder".

Este tipo fornece um alto grau de precisão com poucas exigências de torque.

Codificador – Princípio

O codificador opera de acordo com o sistema de código de Gillham, que é um código linear ICAO aprovado para transmissão de dados de altitude para fins de controle de tráfego aéreo.

Sua faixa de operação cobre um total de 49.000 pés, com incrementos de 100 pés; a precisão do código em pontos de transição é de ± 20 pés.

O dado codificado é provido por meio de um disco codificador de vidro que gira entre uma faixa intercalada de dez pares de diodos emissores de luz e fototransistores formando parte de uma unidade sonora.

Pistas metálicas no disco de vidro codificador transparente agem como obturadores para instruir a passagem de luz entre os dados emissores de luzes e os fototransistores enquanto o disco codificador gira.

Esta ocorrência é utilizada para estabelecer ou interromper a passagem para um potencial de terra de dez circuitos externos ou canais que levam ao transponder da aeronave.

Este último opera em conjunto com o IFF da aeronave para transmitir a informação de altitude codificada para o controle de tráfego aéreo. Permuta desta condição de terra sobre os dez canais de transponder permite operação de acordo com o código Gillham como demonstra a figura 2-30.

O exemplo esquemático mostrado representa a condição do codificador a uma altitude de 10.000 pés. Os diodos emissores são energizados por uma fonte de alimentação de DC.

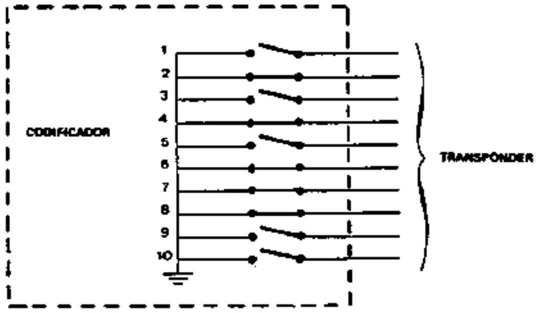


Figura 2-30 Condição do codificador a 10.000 pés.

Operação do Transponder

O transponder responde a todas as interrogações válidas do radar ATC, com sinais em código. O sinal de resposta é usado, pelo controlador ATC, a fim de localizar e identificar a aeronave equipada com transponder, que transmite em 1090MHz e recebe em 1030 MHz

Vários tipos de radares de vigilância são usados no sistema ATC. Contudo, somente os radares primário PSR e o secundário SSR estão funcionalmente relacionados com o transponder.

O PSR é usado a fim de localizar e manter todos os aviões dentro da área de controle. O SSR, com varredura sincronizada com o PSR, é utilizado a fim de identificar os aviões equipados com transponder, pela transmissão de sinais de interrogação e recepção de respostas

As informações codificadas.do PSR e do SSR são apresentadas na tela do radar do controlador ATC.

Além da identificação o controlador tem as informações de distância e direção de todas as aeronaves dentro da área de controle.

O transponder opera no modo A ou C. Quando o transponder é interrogado no modo A, por uma estação de terra, ele responde como o código selecionado no painel de controle.

Este código consiste de quatro dígitos, variando cada um de zero a 7

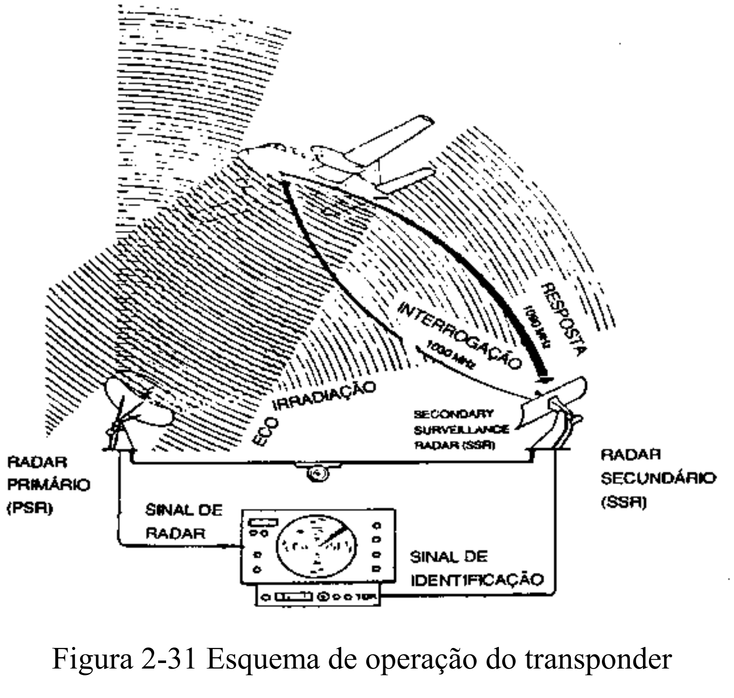


Figura 2-31 Esquema de operação do transponder

. Deste modo, os códigos poderão ser selecionados de 0000 até 7777. Quando no modo C, o transponder informa a altitude da aeronave, através de sinais codificados, sempre que a aeronave é interrogada neste modo e esteja equipada com um altímetro codificador.

O transponder é interrogado através de um método de 3 pulsos. O espaço de tempo entre o 1º e o 3º pulso determina o modo de operação.

Existem 4 modos de operação, denominados A, B, C e D. No modo A, o sistema transmite somente sua identificação. O modo B, em alguns países, ocasionalmente substitui o modo A. O modo C, é usado quando a aeronave possui altímetro codificador. Neste caso, a resposta do transponder inclui a informação de altitude da aeronave. O modo D, atualmente não está em uso.

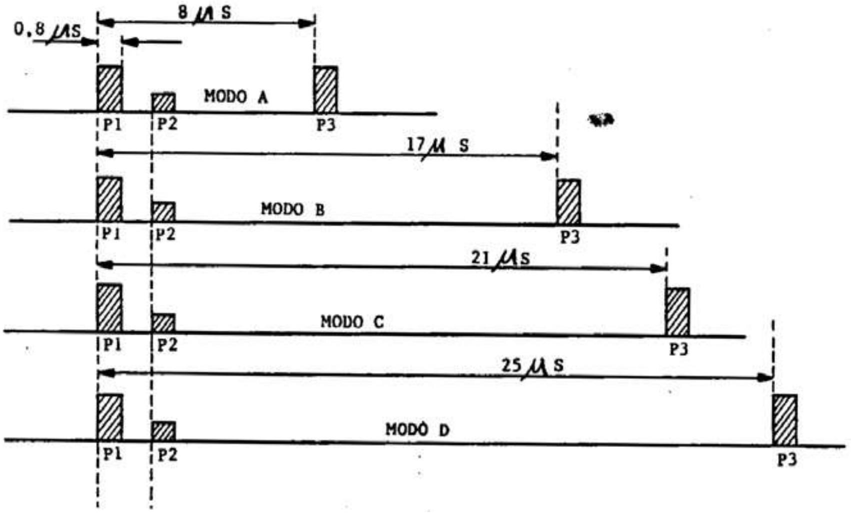


Figura 2-32 Pulsos de interrogação do sistema transponder

O sinal de interrogação, recebido, é analisado pelo transponder para determinar sua validade e o modo de operação.

Para este sinal ser válido, ele deverá ser do lóbulo principal do SSR e ser do modo A ou do modo C.

Quando um sinal de interrogação é válido, o sinal resposta é transmitido.

O sinal resposta codificado é composto de um trem de pulsos. O transponder é capaz de produzir de 2 a 16 pulsos de resposta codificada.

O número de pulsos gerados num sinal resposta é determinado pelo código selecionado na caixa de controle do transponder ou gerado pelo altímetro codificador. Um pulso de identificação é também transmitido 4.35 microssegundos após o último pulso de enquadramento.O pulso de identificação estará presente somente quando o interruptor IDENT da caixa de controle do transponder for liberado e por aproximadamente 20 segundos após sua liberação.

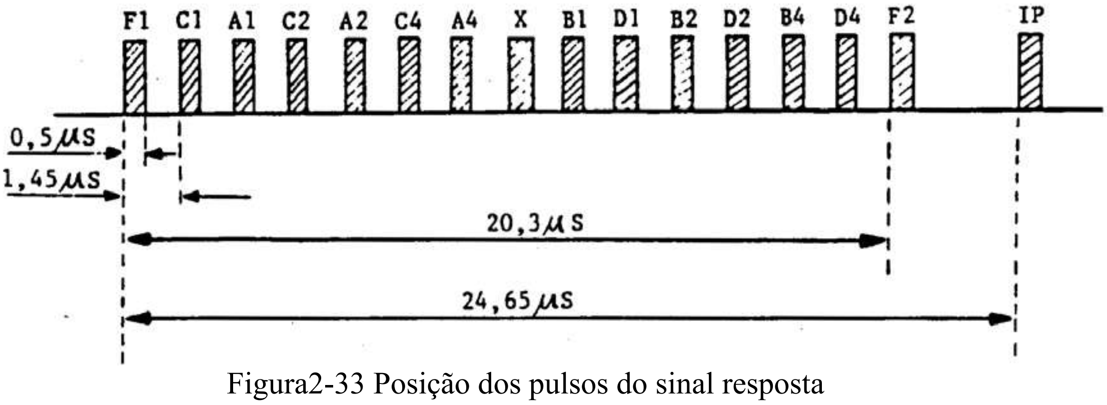


Figura2-33 Posição dos pulsos do sinal resposta

INDICADOR DE RAZÃO DE SUBIDA

Este indicador é também conhecido pelos seguintes nomes:

- indicador de velocidade vertical (VSI);
- indicador de razão de subida e descida;
- indicador de regime ascensional;
- variômetro;
- climb.

Tem por finalidade indicar se a aeronave está subindo, ou em vôo nivelado.

O funcionamento deste instrumento está baseado no princípio de que a "medida que a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui". Basicamente, o mecanismo consiste de uma fenda calibrada, uma cápsula e um eixo de atuação que transmite os movimentos da cápsula para o ponteiro.

O ponteiro está encerrado em uma caixa hermética conectada à linha de pressão estática.

Quando o avião está ganhando ou perdendo altitude, a pressão existente no exterior da cápsula aneróide é retardada com relação à pressão na parte interior do mesmo. O retardo é causado pela fenda calibrada que limita a mudança brusca da pressão no interior da cápsula aneróide. A diferença resultante da pressão faz com que a cápsula se contraia em uma ascensão e se dilate quando o avião está perdendo altitude. Através de um eixo de atuação os movimentos da cápsula são transmitidos ao ponteiro.

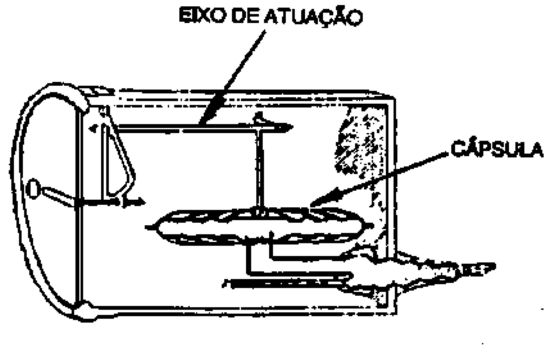


Figura 2-34 Indicador quando em vôo horizontal ou com o avião em terra

Como resultado disto o diafragma se contrai, fazendo com que o ponteiro indique a condição de subida (UP) conforme ilustrado na figura 2.35

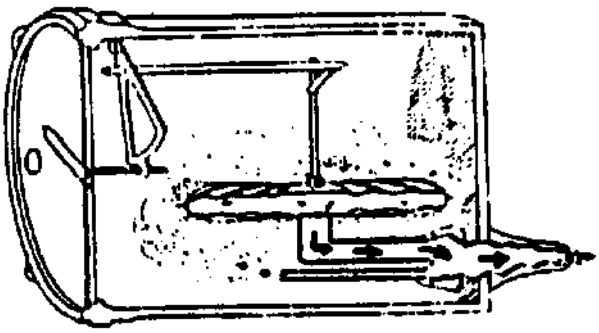


Figura 2-35 Indicador em condição de subida

A figura 2-36 ilustra a condição de descida.

A pressão que existe no exterior da cápsula é menor do que a do interior. Portanto, a cápsula se expande. O ponteiro indica a condição de descida (DOWN).

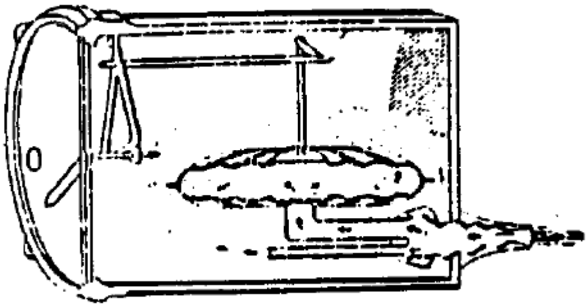


Figura 2-36 Indicador em condição de descida

.Existem indicadores,(figura 2-37), onde uma segunda cápsula (A) é instalada na parte posterior da caixa capaz de liberar o excesso de pressão.

Sua finalidade é proteger o mecanismo contra danos que podem ocorrer no caso de exceder-se o alcance máximo do instrumento; isto pode acontecer numa descida brusca.

Quando isso ocorre o excesso de pressão se expande e abre uma válvula de alívio (B); impedindo que a cápsula responsável pela indicação (C) se expanda demasiadamente.

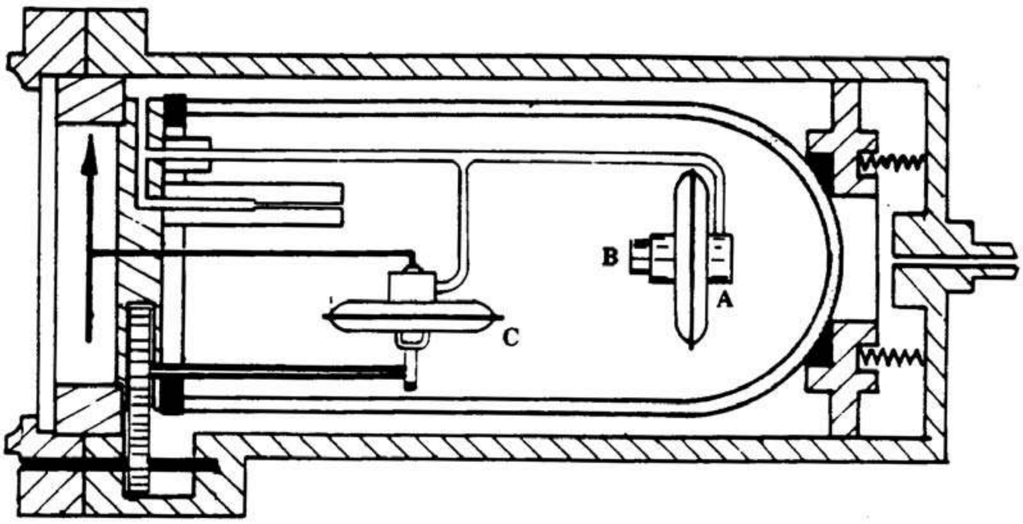


Figura 2-37 Tipo de indicador com duas cápsulas.

Este indicador não indica o ângulo do avião em relação ao plano horizontal As graduações mais comuns do mostrador deste instrumento são: pés/minutos (FT/MIN) ou metros/segundo (M/SEC.).Na parte frontal do instrumento, encontra-se um parafuso (ou botão) para ajuste da posição zero.

O diagrama esquemático do indicador de razão de subida atualmente em uso é mostrado na figura 2-38

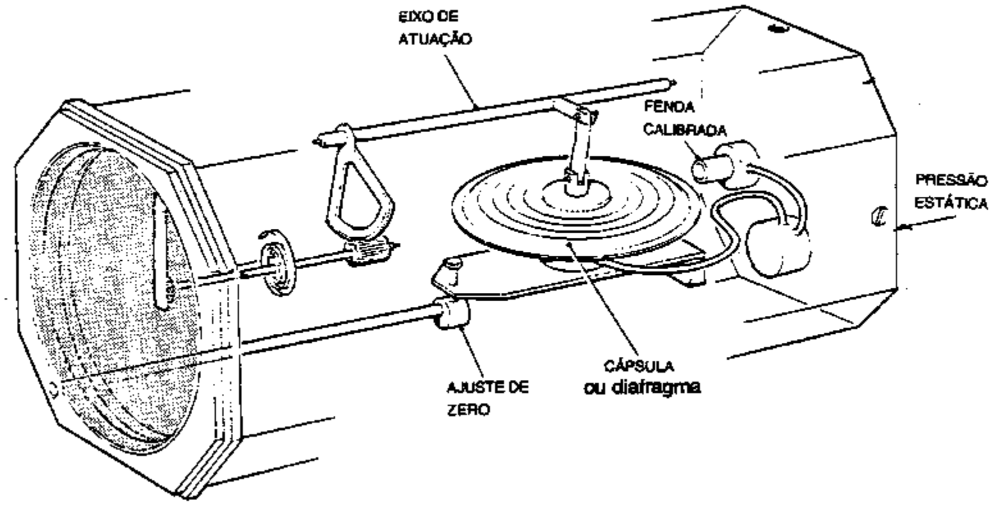


Figura 2-38 Diagrama esquemático de um indicador

INSTRUMENTOS GIROSCÓPICOS

Três dos instrumentos de vôo mais comuns são controlados por giroscópicos, são eles:

- Giro Direcional;
- Horizonte artificial;
- Indicador de curva.

Para entendermos o uso destes instrumentos é necessário conhecermos os princípios do giroscópio, sistemas de alimentação e detalhes de construção e operação de cada instrumento. Sem o uso do giroscópio adaptado aos instrumentos de vôo e navegação, seria impossível voar com precisão em qualquer condição de tempo.

O giroscópio é uma massa (roda, disco ou volume) que gira em torno de seu eixo e tem liberdade de giro em torno de um ou dos outros eixos perpendiculares ao seu eixo de giro.

Para simplificar, vamos ilustrar sua construção passo a passo.

1. Imagine um rotor (massa girante) e um eixo.

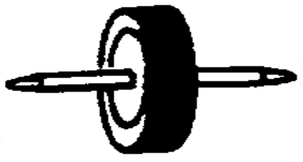


Figura 2-39 Rotor e eixo

2. Coloque um suporte circular (gimbal) com rolamentos nos quais o eixo do rotor possa girar.

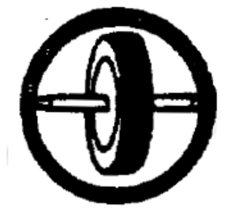


Figura 2-40 Suporte circular (gimbal)

3. Agora adicione um outro suporte circular (gimbal) com rolamentos à 90º dos rolamentos do rotor, sobre os quais o conjunto anterior possa girar.

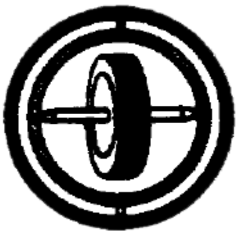


Figura 2-41 Adicionando o segundo gimbal

4. Coloque o conjunto montado, apoiado através de rolamentos horizontais num montante base e teremos um giroscópio.

   Desconsiderando o eixo do giro, o giroscópio tem dois graus de liberdade. O conjunto pode girar em torno do eixo vertical e do eixo longitudinal (Figura 2-42).

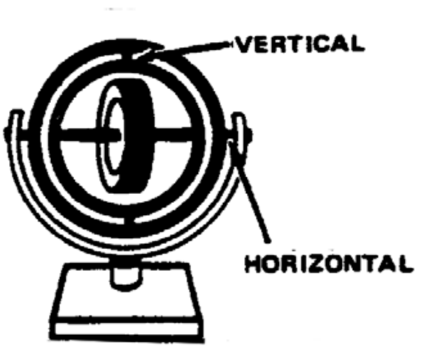


Figura 2-42 Eixos de giro

5. Quando em repouso, o giroscópio nada tem de extraordinário. Ele é simples-mente uma roda que você pode girar em qualquer direção que não alterará o centro geométrico do conjunto.

-

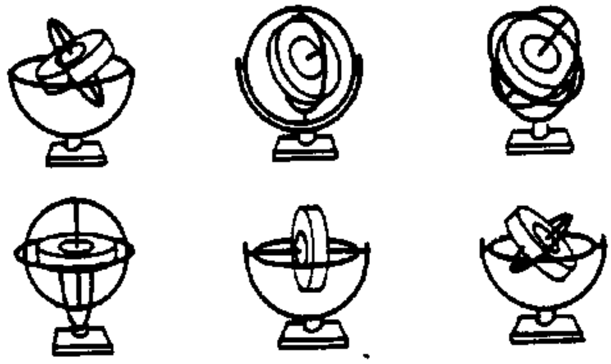


Figura 2-43 Giroscópio em repouso

6. Quando você gira o rotor, o giroscópio exibe a primeira de suas duas propriedades.

   Ele adquire um alto grau de rigidez e o seu eixo aponta sempre na mesma direção, independente de girarmos sua base para qualquer lado. Isto é chamado de INÉRCIA GIROSCÓPICA ou RIGIDEZ.

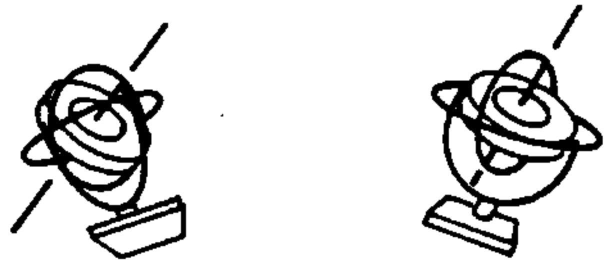


Figura 2-44 Inércia giroscópica ou rigidez

7. .A segunda propriedade chamada PRECESSÃO pode ser mostrada pela aplicação de uma força ou pressão ao giro, em torno do eixo horizontal.
Haverá uma resistência à força e o giro em vez de girar em torno do eixo horizontal girará ou precessará em torno do eixo vertical na direção indicada pela letra P.

Da mesma forma, se a força ou pressão for aplicada em torno do eixo vertical o giro irá precessar em torno do eixo horizontal na direção mostrada pela seta P.

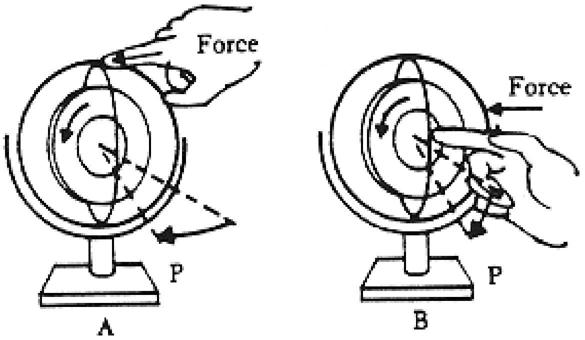


Figura 2-45 Precessão giroscópica

Fontes de força para operação de giroscópio

Os instrumentos giroscópicos podem ser operados por um sistema de vácuo ou por um sistema elétrico.

Em algumas aeronaves, todos os giroscópicos são acionados ou por vácuo ou eletricamente; em outros, sistemas de vácuo (sucção) fornecem energia para os indicadores de atitude e direção, enquanto o sistema elétrico move o giroscópio para operação do ponteiro do indicador de curvas. Qualquer uma das correntes de força, a alternada ou a corrente contínua, é usada para mover os instrumentos giroscópicos.

Sistema de vácuo

O sistema de vácuo provoca a rotação do giro succionando uma corrente de ar contra as palhetas do rotor para gira-lo em alta velocidade, como opera uma roda de água ou uma turbina.

O ar, sob pressão atmosférica passa por um filtro, move as palhetas do rotor, e é extraído da caixa do instrumento através de uma linha, para a fonte de vácuo, e daí soprado para a atmosfera.

Uma bomba de vácuo ou um venturi podem ser usados para fornecer o vácuo, requerido para girar os rotores dos giro-instrumentos.

O valor do vácuo necessário para operação de instrumentos está usualmente entre três e meia polegadas, e quatro e meia polegadas, de mercúrio e é usualmente ajustado por uma válvula de alívio de vácuo, localizada na linha de suprimento.

Os indicadores de curvas usados em algumas instalações exigem valor menor de sucção.

Isto é obtido usando-se uma válvula reguladora adicional na linha de suprimento do instrumento em particular.

Capítulo 2 Sistema do tubo de venturi

As vantagens do venturi como uma fonte de sucção são o seu custo relativamente baixo e a simplicidade de instalação e operação. Um avião leve, monomotor, pode ser equipado por um venturi de duas polegadas (2 in.Hg de capacidade de sucção) para operar o indicador de curva.

Com um sistema adicional de 8 polegadas, existe força disponível para mover os indicadores de atitude e direção. Um sistema de venturi é mostrado na figura 2-46.

A linha que sai do giroscópio (figura 2-46) está conectada no tubo de venturi montado no exterior da fuselagem do avião.

Através da velocidade aerodinâmica normal de operação, a velocidade do ar passando pelo venturi cria sucção suficiente para causar a rotação do giroscópio.

As limitações do sistema venturi são evidentes na ilustração da figura 2-46. O venturi é projetado para produzir o vácuo desejado a aproximadamente 100 m.p.h, sob condições padrão ao nível do mar. Amplas variações na velocidade ou na densidade do ar, ou restrições ao fluxo de ar pela criação de gelo no tubo de venturi afetarão a garganta do venturi e portanto afetando o giroscópio acionado pelo vácuo ali produzido.

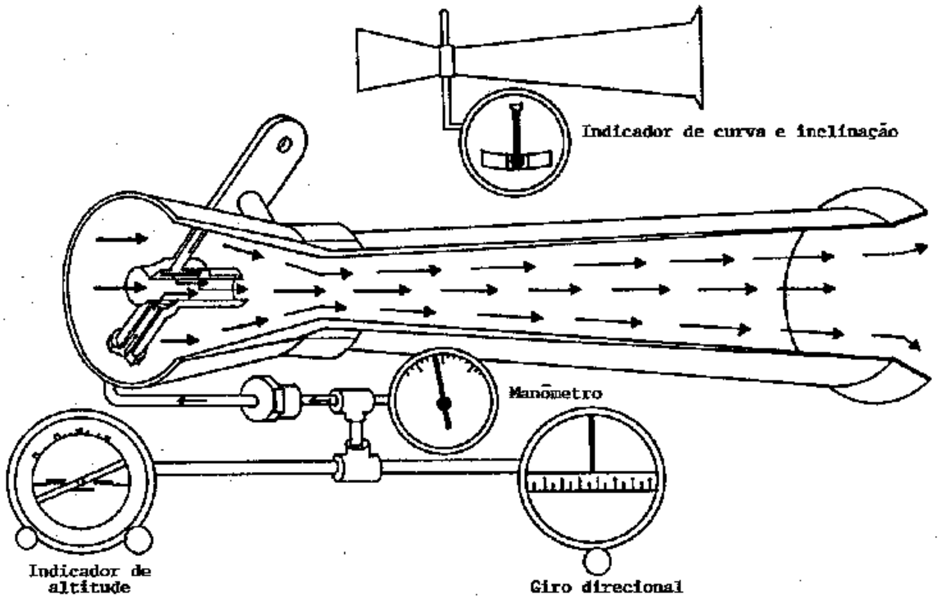


Figura 2-46 Sistema de vácuo com venturi.

Como um rotor só atinge a velocidade normal de operação após a decolagem, as checagens operacionais de pré-vôo dos instrumentos acionados pelo venturi, não podem ser executadas. Por esta razão o sistema é adequado somente para instrumentos de aviões leves de treinamento e vôos limitados sob determinadas condições meteorológicas.

Aviões que voam a grandes variáveis de velocidade, altitude e condições meteorológicas mais adversas, exigem uma fonte mais eficiente de força independente da velocidade aerodinâmica e menos sensível a condições aerodinâmicas adversas.

Bomba de vácuo movida pelo motor

A bomba de vácuo de palheta acionada pelo motor é a fonte mais comum de sucção para giros instalados em aviões leves da aviação geral.

Uma bomba do tipo de palheta é montado no eixo de acessórios do motor e está conectado ao sistema de lubrificação de forma que a bomba seja resfriada e lubrificada.

Outro sistema comumente usado é o de bomba de sucção seca também acionada pelo motor. A bomba opera sem lubrificação e a instalação não exige linhas para o suprimento normal de óleo do motor e não há necessidade de separador de ar e óleo ou válvulas. De um modo geral, os sistemas de bomba seca ou lubrificada por óleo, são semelhantes.

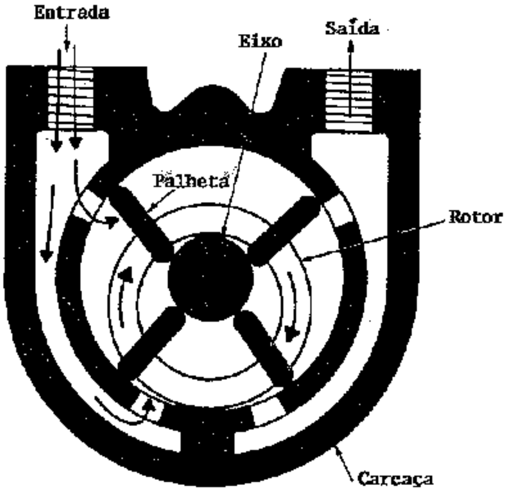


Figura 2-47 Vista em corte de uma bomba de vácuo, do tipo palheta, girada pelo motor.

A principal desvantagem do sistema de vácuo com bomba de sucção movida pelo motor do avião refere-se a indicações imprecisas em vôos a grandes altitudes. Fora a manutenção de rotina dos filtros e as tubulações que não existem nos sistemas giro elétricos, a bomba de sucção movida pelo motor é uma fonte tão efetiva para os aviões leves quanto o sistema elétrico de sucção.

Sistema típico de sucção produzida por bomba

A figura 2-48 mostra os componentes do sistema de vácuo com uma bomba de capacidade de 10"hg, em motores com rotação acima de 1.000 rpm. A capacidade da bomba e o seu tamanho variam em diferentes aeronaves, dependendo do numero de giroscópios operados.

Separador de ar e óleo - O óleo e o ar da bomba de vácuo são eliminados através do separador, o ar é soprado para fora, e o óleo retorna para o interior do motor.

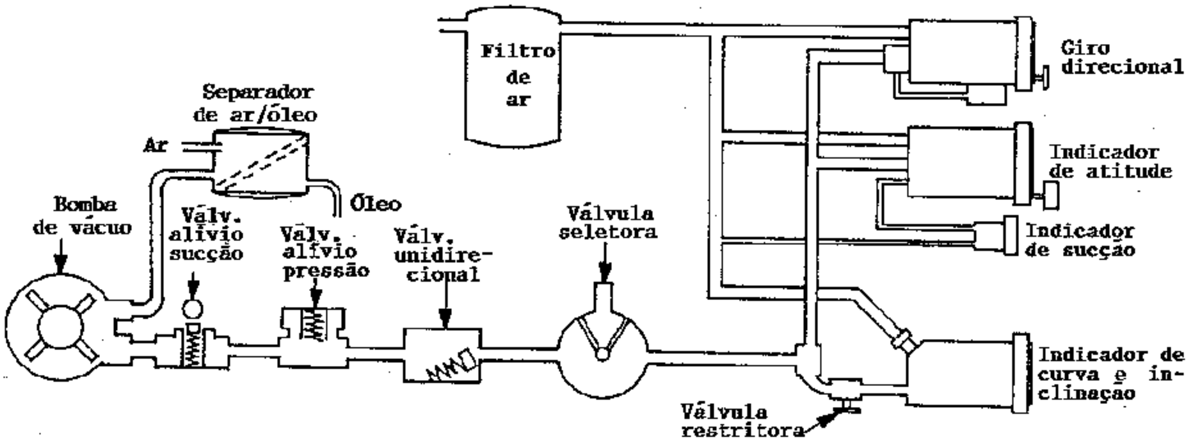

Filtro de ar
Separador de ar/óleo
Ar
Óleo
Bomba de vácuo
Válv. alívio sucção
Válv. alívio pressão
Válv. unidirecional
Válvula seletora
Giro direcional
Indicador de atitude
Indicador de sucção
Indicador de curva e inclinação
Válvula restritora

Figura 2-48 Típico sistema de vácuo com bomba movida pelo motor da aeronave

Válvula de alívio de sucção - Como a capacidade de sucção do sistema é maior que o necessário para operação dos instrumentos, a válvula reguladora de sucção é ajustada para a sucção desejada para acionar os instrumentos. A sucção em excesso nas linhas de instrumento é reduzida quando a válvula acionada por uma mola abre-se para a pressão atmosférica (figura 2-49).

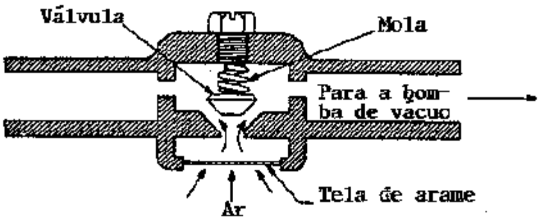

Válvula
Mola
Para a bomba de vacuo
Tela de arame
Ar

Figura 2-49 Válvula reguladora do vácuo.

Válvula de alívio de pressão - Como o fluxo reverso do ar proveniente da bomba de sucção fecharia a válvula reguladora e a válvula de alívio de pressão, a pressão resultante romperia as linhas.

A válvula de alívio de pressão ventila a pressão positiva para a atmosfera exterior.

Válvula unidirecional - A válvula reguladora de direção única previne possíveis danos aos instrumentos pelo retrocesso do motor, que reverteria o fluxo de ar e óleo proveniente da bomba (ver figura 2-50).

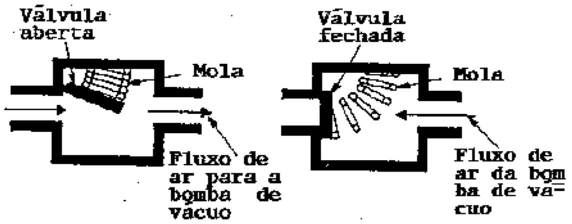

Válvula aberta
Mola
Fluxo de ar para a bomba de vacuo
Válvula fechada
Mola
Fluxo de ar da bomba de vacuo

Figura 2-50 Válvula unidirecional.

Válvula seletora - Em aeronaves bimotoras equipadas com bombas de sucção acionadas por ambos os motores, a bomba alternada pode ser selecionada para fornecer sucção no caso de qualquer pane do outro motor ou pane da outra bomba, com uma válvula incorporada para fechar e isolar a bomba deficiente.

Válvula restritora - Como o instrumento que indica inclinação e curva, o *"turn and bank"* necessita e opera com menos sucção que a requerida para outros instrumentos giroscópicos, o vácuo na linha principal deve ser reduzido. Esta válvula é ou uma agulha ajustada para reduzir a sucção da linha principal por aproximadamente a metade, ou uma válvula reguladora por uma mola que mantém uma sucção constante para o indicador de curva a não ser que a sucção na linha principal caia para um valor mínimo.

Filtro de ar - O filtro mestre de ar peneira objetos estranhos fluindo através de todos os instrumentos giroscópicos, que são também equipados com filtros individuais. Uma obstrução no filtro mestre reduz o fluxo de ar, e causa uma leitura menor no instrumento indicador de sucção.

Em aeronaves que não tem o filtro mestre instalado, cada instrumento tem seu filtro próprio.

Um sistema individual de filtro, com uma obstrução, esta não será necessariamente indicada no instrumento de sucção, no painel.

Indicador de sucção - O indicador de sucção é um instrumento que indica a diferença em polegadas de mercúrio entre a pressão dentro do sistema e a pressão atmosférica ou a pressão na cabine.

A sucção desejada, e os limites mínimo e máximo variam de acordo com o projeto do giroscópio. Se a sucção necessária para os indicadores de atitude e direção é 5" e o mínimo é 4,6", uma leitura abaixo deste ultimo valor indica que o fluxo de ar não está mantendo os giroscópios em uma velocidade suficiente para operação confiável.

Em muitas aeronaves, o sistema é equipado com uma válvula seletora para o indicador de sucção, permitindo que o piloto verifique o vácuo em vários pontos no sistema.

Sucção

As pressões da sucção estudadas em conjunto com a operação dos sistemas de vácuo são realmente pressões negativas ou pressões menores (abaixo do nível do mar). Por exemplo, se a pressão ao nível do mar é igual a 17.5 p.s.i. então uma polegada de mercúrio ou uma p.s.i. de sucção é igual a -1 p.s.i. de pressão negativa ou 16,5 de pressão positiva.

Da mesma forma, 3 polegadas de mercúrio são iguais a -3 p.s.i. de pressão negativa ou +14,5 de pressão positiva. Quando a bomba de vácuo desenvolve uma sucção (pressão negativa), deve também criar uma pressão positiva.

Esta pressão (ar comprimido) é algumas vezes utilizada para operar instrumentos de pressão, câmaras degeladoras (*boots*) e selos infláveis.

Operação de um sistema típico

O esquema de um sistema de sucção típico para um avião bitimotor é mostrado na figura 12-64.

Este sistema a vácuo é composto dos seguintes componentes: 2 bombas de sucção, 2 válvulas de alívio de sucção, 2 válvulas reguladoras tipo *"flapper"*, uma válvula restritora para cada indicador de curva, uma válvula seletora de 4 posições, um sistema de tubulações por onde flui a sucção, e uma válvula seletora do indicador de curva.

As bombas de sucção movidas pelo motor esquerdo e direito, e suas linhas componentes são independentes e isoladas umas das outras, e atuam como 2 sistemas independentes de sucção.

As linhas de sucção são dirigidas desde cada bomba de sucção, através de uma válvula de alívio e de uma unidirecional para a seletora de quatro posições.

Da válvula seletora de quatro posições, as linhas do sistema de vácuo dos motores são dirigidas através de tubulações flexíveis, conectadas aos instrumentos operados a vácuo.

Dos instrumentos, as linhas são orientadas até o indicador de sucção e passam por uma válvula seletora dos indicadores de curva (*turn and bank*).

Esta válvula tem três posições: principal, "T & B" esquerdo e "T & B" direito.

Na posição principal o indicador de sucção mostra as linhas do horizonte artificial e giro direcional.

Nas outras posições, o menor valor de sucção para os indicadores de curva *(turn and bank)* pode ser verificado.

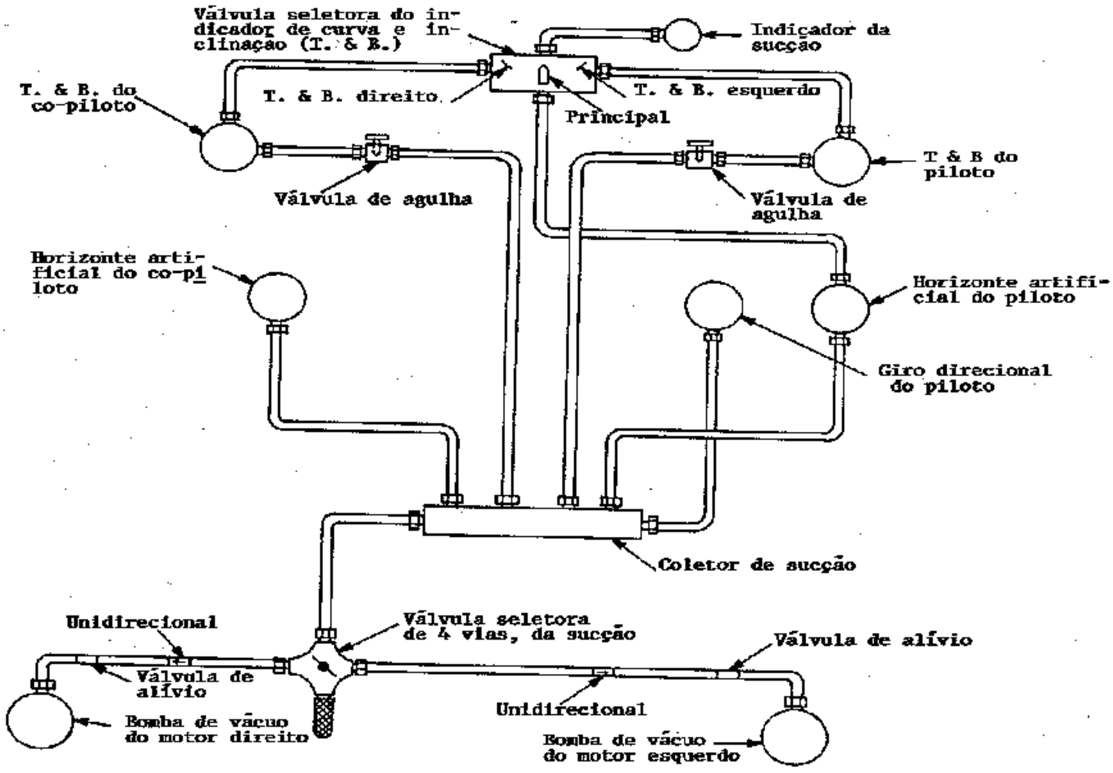
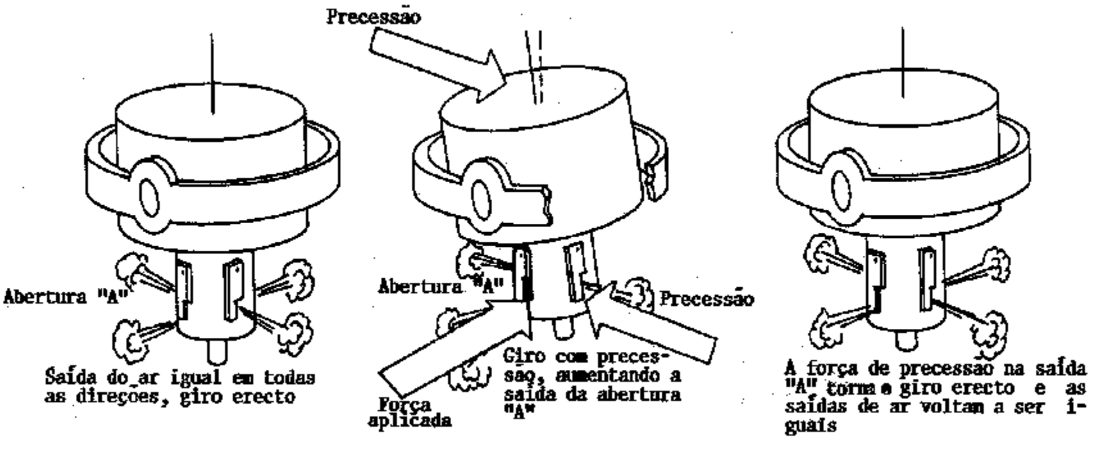

Válvula seletora do indicador de curva e inclinação (T. & B.)
Indicador da sucção
T. & B. do co-piloto
T. & B. direito
T. & B. esquerdo
Principal
T & B do piloto
Válvula de agulha
Válvula de agulha
Horizonte artificial do co-piloto
Horizonte artificial do piloto
Giro direcional do piloto
Coletor de sucção
Unidirecional
Válvula seletora de 4 vias, da sucção
Válvula de alívio
Válvula de alívio
Unidirecional
Bomba de vácuo do motor direito
Bomba de vácuo do motor esquerdo

Figura 2-51 Sistema de vácuo de uma aeronave multimotora

Giroscópios de atitude acionados por sucção

Em um típico sistema giroscópico de atitude movido por sucção, o ar é succionado através do filtro, e então através de passagens no, eixo traseiro e no anel interno do giroscópio, é direcionado para dentro do alojamento onde é dirigido contra as palhetas do rotor através de dois orifícios em lados opostos.

O ar, então, passa através de quatro orifícios igualmente localizados e distanciados na parte inferior da caixa do rotor e é sucgaado pela bomba de sucção ou venturi (figura 2-52). A câmara contendo os orifícios é o mecanismo que faz com que o dispositivo de rotação retorne ao seu alinhamento vertical sempre que uma força de precessão, tal como uma fricção do rolamento, mude o rotor desde o seu plano horizontal.


Precessão
Abertura "A"
Abertura "A"
Precessão
Força aplicada

Saída do ar igual em todas as direções, giro erecto

Giro com precessão, aumentando a saída da abertura "A"

A força de precessão na saída "A" torna o giro erecto e as saídas de ar voltam a ser iguais

Figura 2-52 Mecanismo de ereção de um indicador de atitude a vácuo.

Quatro orifícios de escapamento são cobertos até a metade por uma palheta pendular, que permite a descarga de volumes de ar iguais através de cada orifício, quando o rotor está adequadamente ereto.

Qualquer inclinação do rotor afeta o equilíbrio total das palhetas pendulares fazendo com que uma palheta feche o par do lado oposto, enquanto a palheta oposta se abre na proporção correspondente.

O aumento do volume de ar através do orifício aberto exerce uma força de precessão no alojamento do rotor, provocando a ereção do giroscópio; e a palheta pendular retorna a uma condição de equilíbrio (figura 2-53).

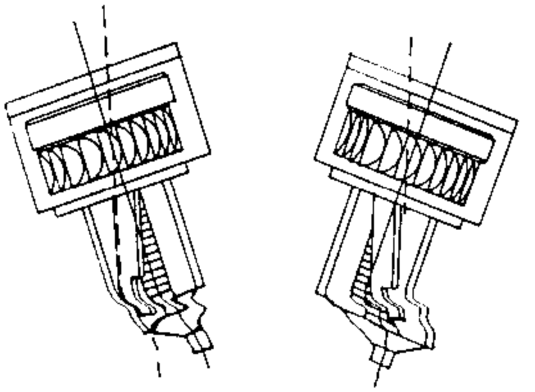


Figura 2-53 Ação das palhetas pendulares.

Os limites do indicador de atitude especificados nas instruções dos fabricantes indicam a máxima rotação dos anéis alem das quais o giro entrará em colapso.

Os limites do indicador de curvas movido por um sistema típico a vácuo são de aproximadamente 100 a 110 graus, e os limites de inclinação do nariz do avião variam aproximadamente 60 a 70 graus para cima ou para baixo, dependendo de cada unidade específica. Se, por exemplo, os limites de cabragem são 60 graus com o giro normalmente ereto, o giro entrará em colapso quando o avião mergulhar em ângulos além de sessenta graus.

Quando os anéis do rotor atingem os batentes, o rotor entra em precessão abruptamente, causando excessiva fricção e desgaste no mecanismo. O rotor normalmente precessará ao plano horizontal, em uma razão de aproximadamente 8 graus por minuto.

Muitos giroscópios são equipados com um dispositivo auxiliar chamado *"cage"*, usado para colocar o rotor instantaneamente na sua posição de operação normal antes do vôo ou após o seu colapso.

O acionamento do botão "*cage*" evita a rotação dos anéis dentro do giroscópio, e trava o eixo de rotação do rotor na sua posição vertical.

Giroscópios operados por pressão

A disponibilidade de bombas de pressão, na qual nenhuma lubrificação seja necessária, faz com que o sistema de giros operados por pressão seja possível. Em tais instalações, o ar é comprimido sob pressão através de instrumentos giroscópicos, em vez de serem sugados através do sistema. Bombas de pressão positiva são mais eficientes que bombas a vácuo, especialmente nas grandes altitudes.

Práticas de manutenção de um sistema de sucção

Erros nas apresentações do indicador de atitude são oriundos de qualquer fator que impeça a operação do sistema de sucção dentro dos limites projetados, ou de qualquer força que impeça a rotação normal do giroscópio na velocidade projetada.

Estes fatores podem incluir equipamentos mal balanceados, filtros obstruídos, válvulas inadequadamente ajustadas e mal funcionamento das bombas.

Tais erros podem ser minimizados pela instalação apropriada, por inspeção, e praticas de manutenção adequadas.

GIRO DIRECIONAL

Tem a finalidade de estabelecer uma referência fixa, para que se mantenha a direção do vôo; em conjunto com a bússola, indicará o rumo ou direção do avião.

Serve também para indicar a amplitude das curvas.

Neste tipo de giro, o eixo de rotação é colocado na horizontal. Dois processos de indicação de mudança de direção são usados nos giros direcionais.

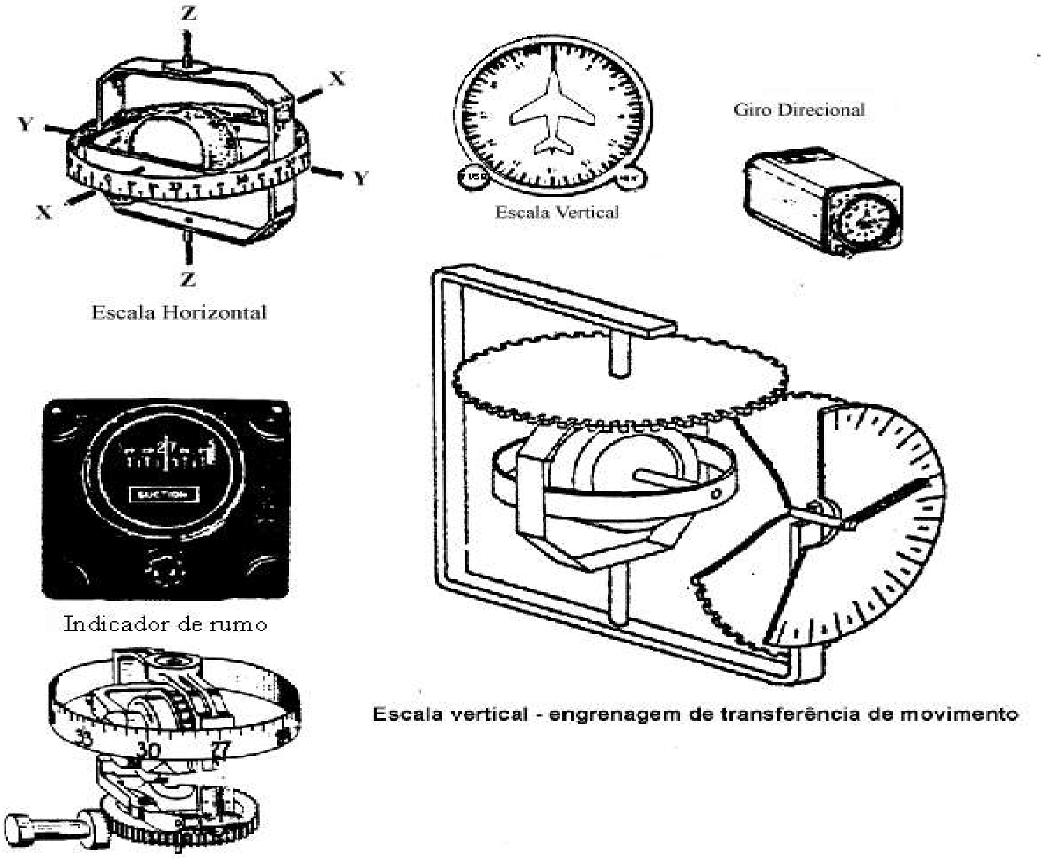

Z
X
Y
Y
X
Z
Escala Horizontal
Escala Vertical
Giro Direcional
SUCTION
Indicador de rumo
33
30
27
Escala vertical - engrenagem de transferência de movimento

Figura 2-54 Processos de indicação de rumo.

A indicação horizontal foi muito utilizada nos giros direcionais movidos por corrente de ar. A indicação vertical foi de menor utilização, ainda. A figura 2-54 mostra os dois casos.

Cumpre, aqui, ressaltar que em ambos os casos o que se movimenta é a escala (o avião) e não o volante do giro.

A ilusão que se tem ao observar o instrumento é devido ao esquecimento de que o avião é que está mudando de rumo.

INDICADOR DE ATITUDE

Também chamado de:

- Horizonte artificial;
- Indicador do horizonte;
- Indicador de vôo;
- Giro horizonte;
- Giro vertical.

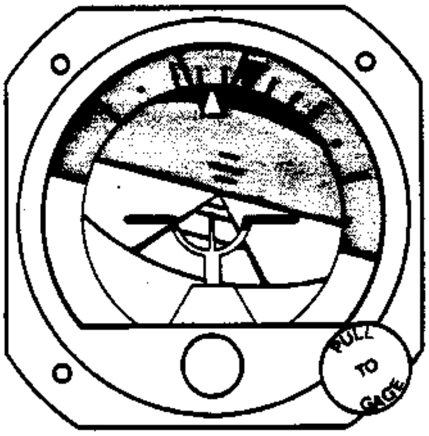

PULL
TO
CAGE

Figura 2-55 Indicador de Atitude

Dá a indicação visual da posição do avião em relação ao horizonte. A relação entre o avião miniatura com a barra horizontal é a mesma entre o avião e o horizonte verdadeiros.

Através de um botão de ajuste o piloto pode mover o avião miniatura para cima ou para baixo para ajustá-lo ao horizonte artificial.

Alguns modelos de ADI possuem um mecanismo de ereção rápida, que deve ser feito somente em vôo reto e nivelado.

O mecanismo deste instrumento consiste de um pequeno conjunto de rotor giroscópico, colocado de modo que o eixo do rotor fique na vertical.

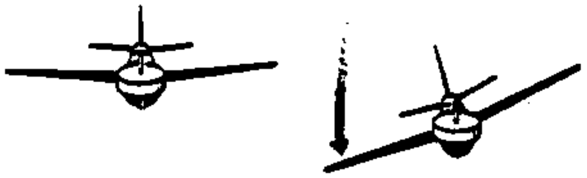


Figura 2-56 Posição vertical do eixo do rotor independente da posição da aeronave

A figura 2-57 mostra que qualquer que seja a manobra realizada o giro permanece inalterado na posição vertical (aprumado).

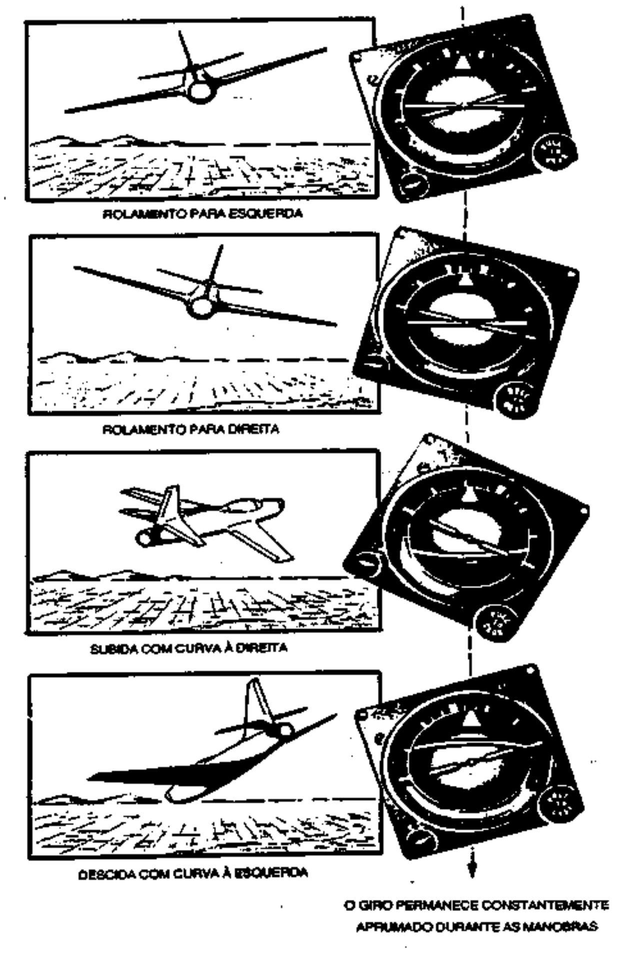

ROLAMENTO PARA ESQUERDA
ROLAMENTO PARA DIREITA
SUBIDA COM CURVA À DIREITA
DESCIDA COM CURVA À ESQUERDA
O GIRO PERMANECE CONSTANTEMENTE APRUMADO DURANTE AS MANOBRAS

Figura 2-57 Posição vertical do giroscópio

Indicador de atitude movido a ar

Nos indicadores de atitude, movidos a ar, o giroscópio gira numa velocidade aproximada de 12.000 rpm.

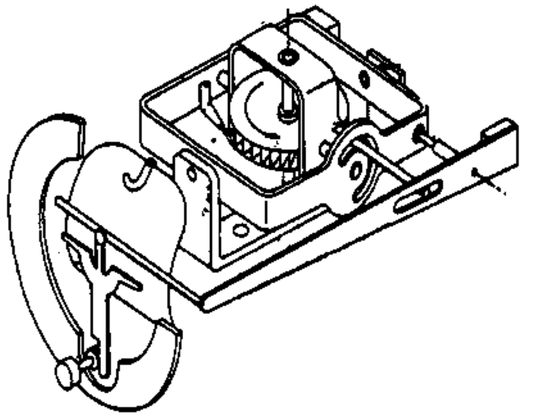


Figura 2-58 Indicador de atitude movido a ar.

O giroscópio ativa a barra horizontal e as pequenas asas, em frente ao instrumento, representam o avião.

Apesar da barra parecer que está se movendo, ela é realmente a única coisa que não se move relativamente ao horizonte da terra.

A informação do giroscópio atua a barra-horizonte através de um pino-guia que sai do alojamento do giroscópio, através de uma abertura no suporte da barra-horizonte.

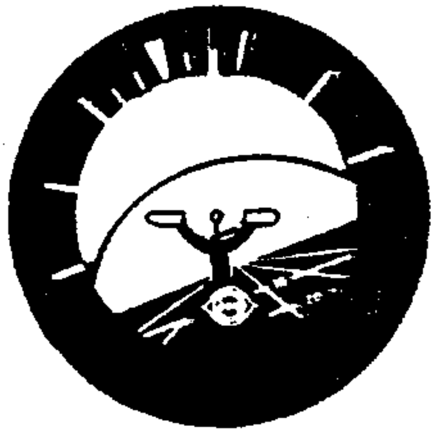


Figura 2-59 Vista frontal do indicador de atitude

Sendo acionado a ar este instrumento não contém ímãs; está, por isso, completamente livre de avarias elétricas e não é afetado por perturbações magnéticas.

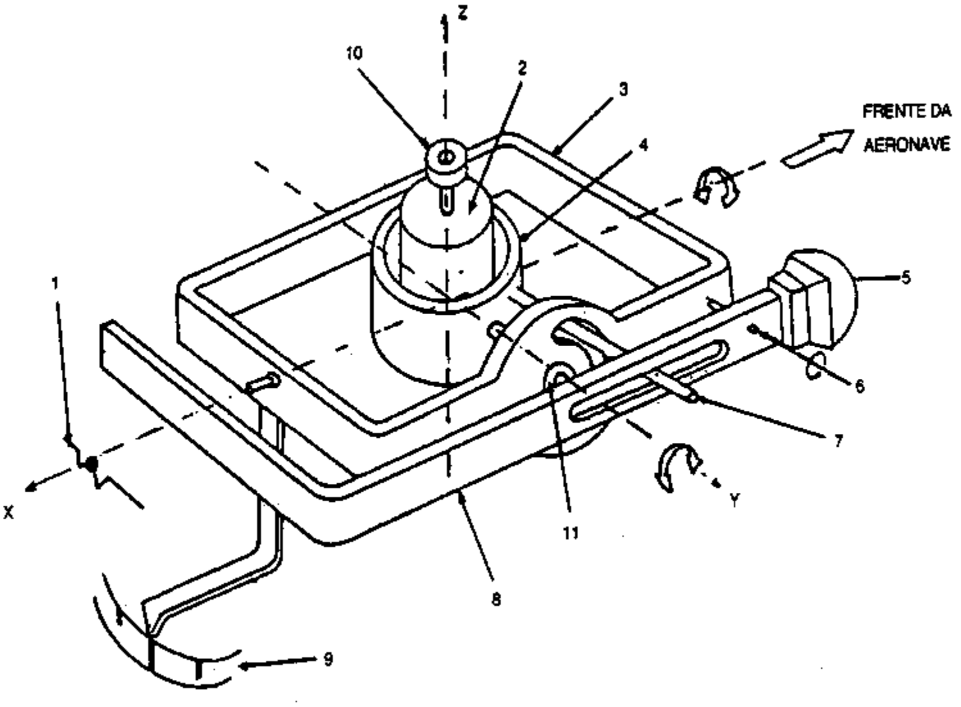
Este instrumento não se retarda no funcionamento e, assim, o piloto pode manipular seus controles, a fim de colocar o avião na posição desejada, observando a relação existente entre o avião miniatura e a barra do horizonte, com referência à imagem que está no mostrador do instrumento; as posições longitudinal e lateral do avião, relativas ao horizonte e à terra, podem ser vistas. As marcas de inclinação lateral no topo do mostrador indicam o número de graus de inclinação lateral, mas é invertido pois ele se move para a direita, quando a inclinação é para o lado esquerdo.

Indicador de Atitude elétrico

Para facilitar a compreensão, divide-se o instrumento em algumas partes como: sistema de detecção e indicação de atitude; sistema de ereção natural ou nivelamento e sistema de ereção rápida.

Sistema de Detecção e Indicação de Atitude

Este sistema é mostrado de forma simplificada na figura 2-60.



1. Avioneta;
2. Rotor;
3. Anel (gimbal) externo
4. Anel (gimbal) interno – muitas vezes é a própria caixa do rotor;
5. Contrapeso da barra (através dele faz-se o equilíbrio da barra);
6. Pivô (barra-anel externo);
7. Barra de amplificação do ângulo de arfagem (pino-guia da barra);
8. Barra do horizonte;
9. Conjunto de indicação do ângulo de rolagem;
10. Rolamento do rotor (são dois, um em cada lado do eixo);
11. Rolamento do anel (são dois, um em cada lado da caixa).

Figura 2-60 Sistema de detecção e indicação de atitude

Na caixa do instrumento, o conjunto é fixado através de outros dois rolamentos. A energia para o motor do rotor é transmitida por molas tipo cabelo (que não têm a função de ajudar a conservar o anel externo na horizontal). Contatos especiais com o mínimo de atrito permitem à energia chegar até o enrolamento do estator. A energia para esses rotores geralmente é trifásica de 115 volts 400 ciclos que faz com que o rotor gire em torno de 22.000 rpm. Analisando-se a figura 2-61 é fácil entender como a barra do horizonte movimenta-se em relação à avioneta.

A barra do horizonte é conectada ao anel interno (caixa do rotor) pela barra de amplificação (pino-guia) e ao anel externo pelo pivô (eixo, barra-anel), identificado pelas letras "B" e “C” na figura 2-61.

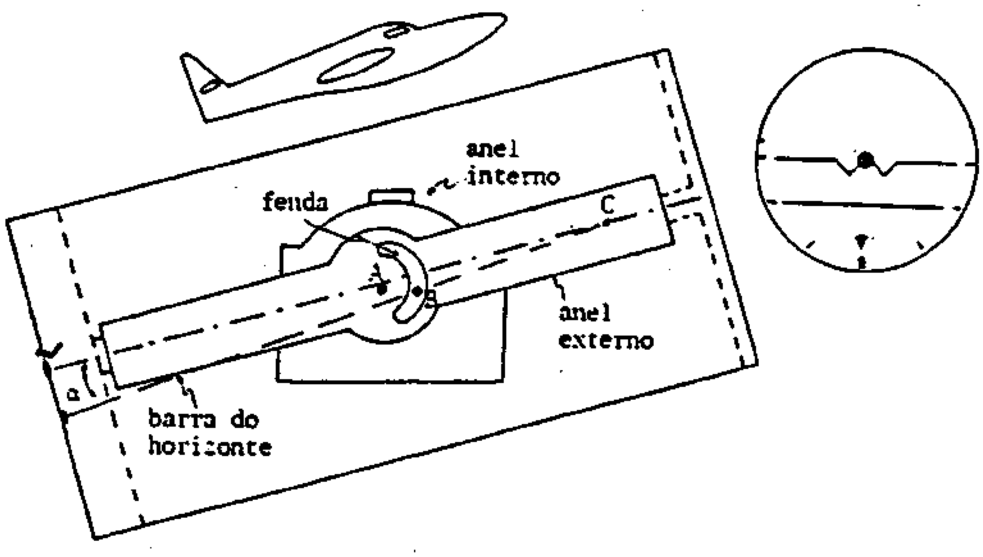


Figura 2-61 Movimento da barra horizonte em relação à avioneta

O pino-guia tem liberdade para se deslocar no interior das fendas, tanto do anel externo quanto da barra. Note-se que “B” é ponto imposto pelo anel interno (rotor). O rotor fica fixo em relação ao anel interno e “C” é ponto imposto pelo anel externo. O anel interno não se movimenta qualquer que seja o movimento da aeronave (atitude). Então o ponto “B” também não se movimenta.

O anel externo pode movimentar-se e quando isso acontecer o ponto “C” também o fará acompanhando o anel externo.

“A” é o ponto do anel interno – portanto, não se move – logo, somente o ponto “C” é móvel.

Agora suponhamos que a aeronave execute uma subida. A caixa do instrumento acompanha o movimento porque está fixada à aeronave. A avioneta também o faz porque está fixada à caixa. O anel externo também executa o mesmo movimento (em torno do eixo “Y”) porque está fixado à caixa, por meio de rolamentos na parte dianteira e traseira. Ora, se o anel externo movimenta-se, então “C” movimenta-se, porém “A” e “B” não o fazem.

É fácil concluir que a barra de horizonte desloca-se a partir de um ângulo (alfa).

Veja-se agora quando a aeronave faz rolagem.

A caixa do instrumento acompanha o movimento e a avioneta também, porém, a caixa do rotor e o anel externo não o fazem, o que acarreta a barra ficar estática.

O movimento de rolagem pode ocorrer em 360 graus (se não houver batente) e em arfagem o movimento é limitado a mais ou menos 85 graus a fim de evitar o fenômeno de trancamento no anel interno.

A restrição, porém, é feita na fenda do anel externo e por onde passa a barra de amplificação.

Se a barra tocar em um dos extremos da fenda em arco, surgirá um torque tal que fará o anel externo girar 180 graus em torno do eixo “X”.

A figura 2-62 apresenta um indicador de atitude com a função de cada controle ou indicador.

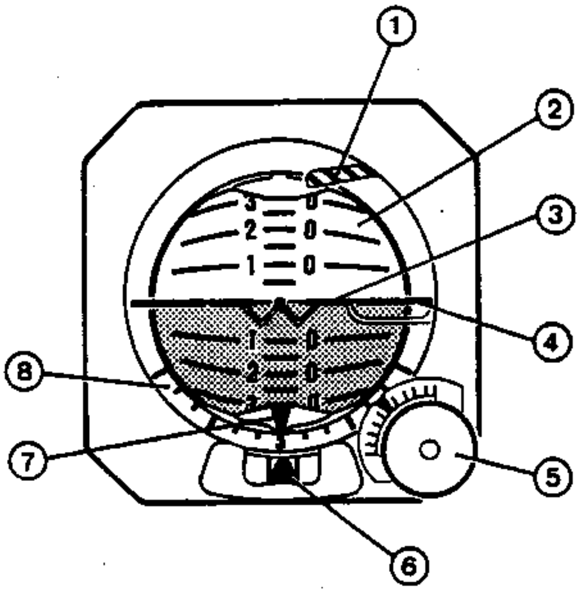


Figura 2-62 Indicador de atitude.

Funções do indicador de atitude:

1. **Bandeira off** - Aparece quando o indicador de atitude não está energizado.
2. **Escala de arfagem** – Apresenta, em relação ao avião-miniatura, a atitude de arfagem em graus. Quando a atitude se aproxima de vertical, tornam-se visíveis as marcas + + + + (subida) ou ----- (mergulho).
3. **Avião-miniatura** – Representa o avião. Pode ser regulado para corrigir diferenças, na altura dos pilotos a fim de evitar o erro de paralaxe.
4. **Linha do horizonte** – Representa a linha do horizonte.
5. **Botão de ereção e ajuste** – Quando girado, movimenta verticalmente o avião-miniatura; puxado, energiza o sistema de ereção rápida do giroscópio.
6. **Indicador de derrapagem** – Permite coordenar as curvas.
7. **Índice de rolamento** – Referência para a determinação da atitude de rolamento.
8. **Escala de rolamento** – Apresenta a atitude com referência ao índice de rolamento.

Sistema de Ereção Natural

O giroscópio vertical prático tem que ter seu eixo de rotação coincidente com a vertical do lugar (giro preso). Uma série de fatores tende a deslocar esse eixo: rotação da Terra, movimento da aeronave (translação), fricção, desequilíbrio, etc.

Por tais motivos, é necessário fazer-se alguma coisa que mantenha o eixo ereto, isto é coincidente com a vertical do lugar. Em geral, os sistemas adotados são do tipo mecânico ou elétrico.

A - Sistema Mecânico

O mecanismo de ereção, cuja finalidade é obrigar o giroscópio a tomar a posição vertical, está localizado no extremo superior do eixo do rotor, como pode ser visto na figura 2-63.

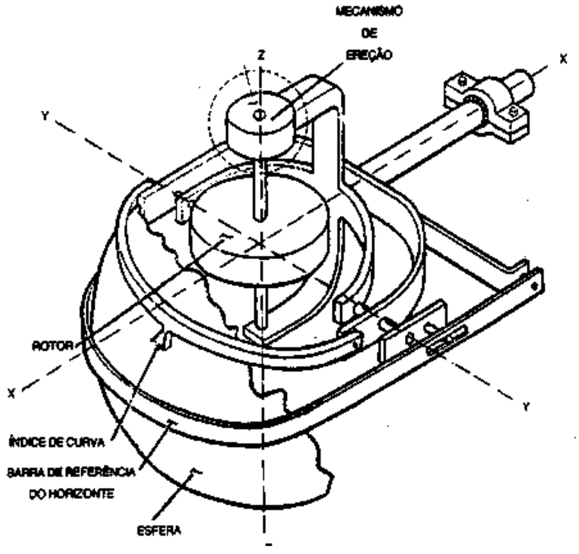


Figura 2-63 Mecanismo de ereção

Este sistema é chamado de esferas móveis. Veja as figuras 2-64 e 2-65.Um ímã está ligado diretamente ao eixo do rotor e gira com ele a aproximadamente 22.000 rpm.

Envolvendo este ímã há um cilindro magnético que não mantém contato com ele.

Um volante unido ao cilindro torna mais uniforme a rotação.

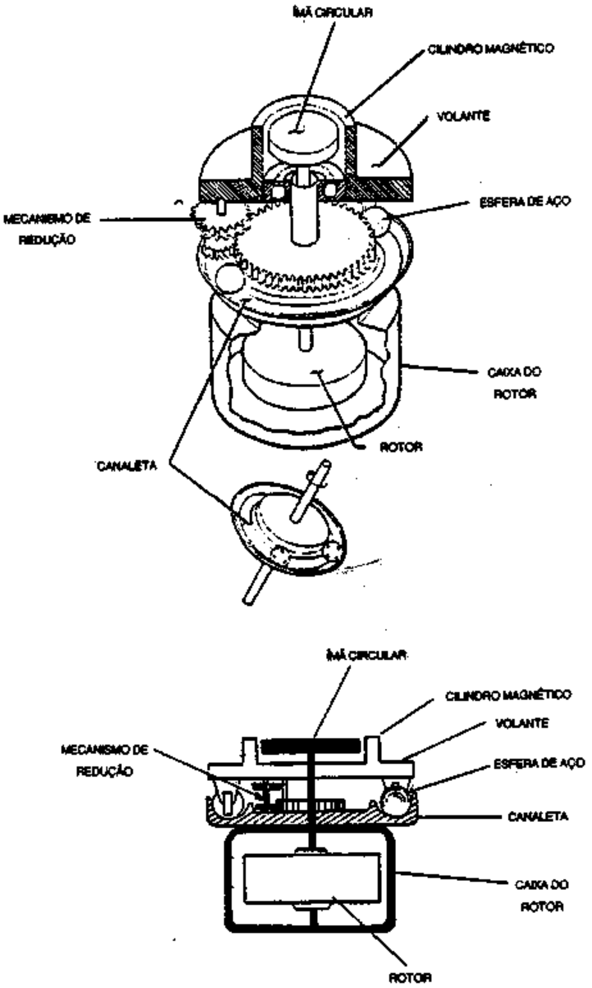

ÍMÃ CIRCULAR
CILINDRO MAGNÉTICO
VOLANTE
ESFERA DE AÇO
MECANISMO DE REDUÇÃO
CAIXA DO ROTOR
ROTOR
CANALETA
ÍMÃ CIRCULAR
CILINDRO MAGNÉTICO
VOLANTE
MECANISMO DE REDUÇÃO
ESFERA DE AÇO
CANALETA
CAIXA DO ROTOR
ROTOR

Figura 2-64 Detalhamento do mecanismo de ereção

À medida que o imã gira, formam-se correntes parasitas (corrente de Foucault) que arrastam o volante, no que é dificultado pelo sistema de engrenagens.

A velocidade do volante é controlada pelo mecanismo de redução e retenção que opera como um eixo e roda de escape de relógio, atua como um freio, suportando e soltando alternadamente a parte impulsora do mecanismo. Pode-se fazer ajustes finos na rotação, imantando-se ou desimantando-se o ímã.

A velocidade do volante é mais ou menos 50 rpm. Sob o volante existe uma canaleta com duas esferas de aço. Dois pequenos rebaixos são feitos na canaleta, distanciados de 180º.

Assim a canaleta das esferas gira lentamente.

Quando o giroscópio está na vertical o sistema está nivelado, as esferas mantêm-se em seus rebaixos, porém, se o giro se inclina uma metade da canaleta estará mais baixa do que a outra. Uma das esferas passará para o lado mais baixo e a outra estará segura pelo braço que a empurra.

Neste momento uma precessão é aplicada (deslocada de 90º), obrigando o giroscópio a verticalizar-se.

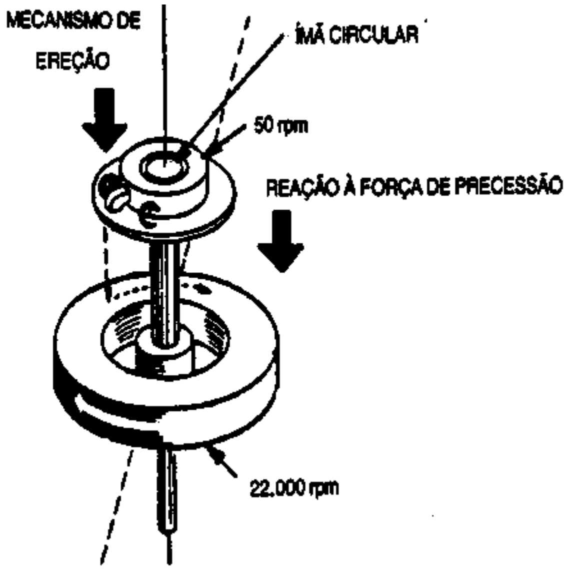

MECANISMO DE EREÇÃO
ÍMÃ CIRCULAR
50 rpm
REAÇÃO À FORÇA DE PRECESSÃO
22.000 rpm

Figura 2-65 Verticalização do giroscópio

B - Sistema Elétrico

Este sistema de reposicionamento vertical do giroscópio consiste de dois motores de controle de torque operados independentemente por chaves de mercúrio.

Uma das chaves é montada em paralelo ao eixo de arfagem e a outra, ao eixo de rolagem conforme ilustra a figura 2-66.

Como o próprio nome indica, a chave de arfagem detecta o “movimento de arfagem do eixo do rotor do giro” e não o movimento de arfagem da aeronave. Da mesma forma, a chave de rolagem detecta o movimento de rolagem do rotor do giro.

Pode-se concluir que as chaves de nível, de alguma forma, devem ser solidárias ao anel interno (caixa do rotor).

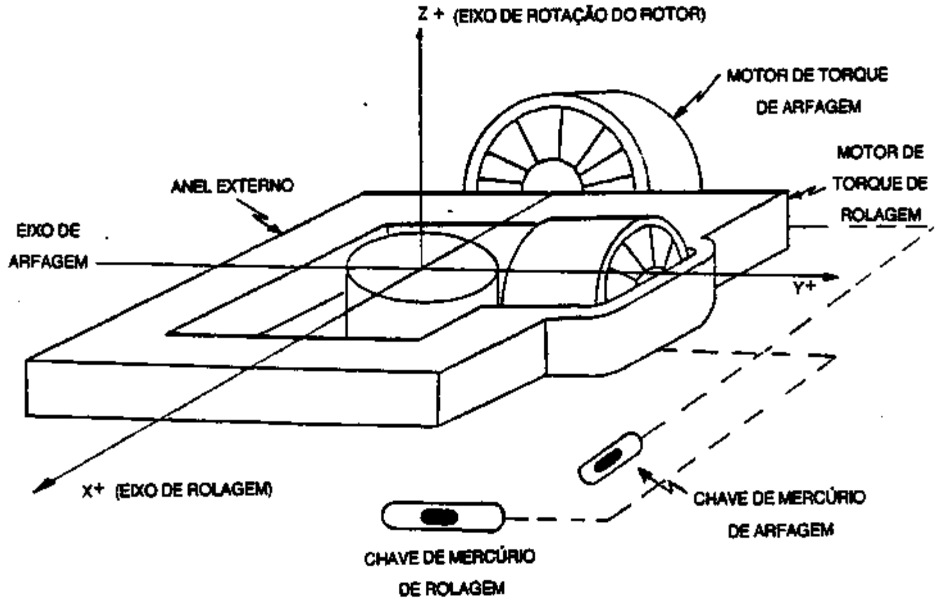

Z + (EIXO DE ROTAÇÃO DO ROTOR)
MOTOR DE TORQUE DE ARFAGEM
MOTOR DE TORQUE DE ROLAGEM
ANEL EXTERNO
EIXO DE ARFAGEM
Y+
X+ (EIXO DE ROLAGEM)
CHAVE DE MERCÚRIO DE ARFAGEM
CHAVE DE MERCÚRIO DE ROLAGEM

Figura 2-66 Sistema de reposicionamento vertical

O estator de cada motor de torque possui dois enrolamentos: um de controle e outro de referência. A corrente que alimenta o enrolamento de controle está defasada de aproximadamente 90 graus em relação à corrente do enrolamento de referência.

Isso significa que o motor de torque pode ser levado a produzir forças sobre o anel externo num sentido ou noutro, o que produzirá a precessão do rotor giroscópico (ou do anel interno) num sentido ou noutro em torno do eixo de arfagem (se for o motor de arfagem) ou do eixo de rolagem (se for o motor de rolagem).

A função da chave de nível é exatamente fechar o circuito de alimentação dos enrolamentos do estator (controle).

O diagrama para um dos motores é mostrado na figura 2-67.

Note-se que a chave de nível possui três eletrodos.

Acompanhe o funcionamento supondo que se trata do motor de arfagem.

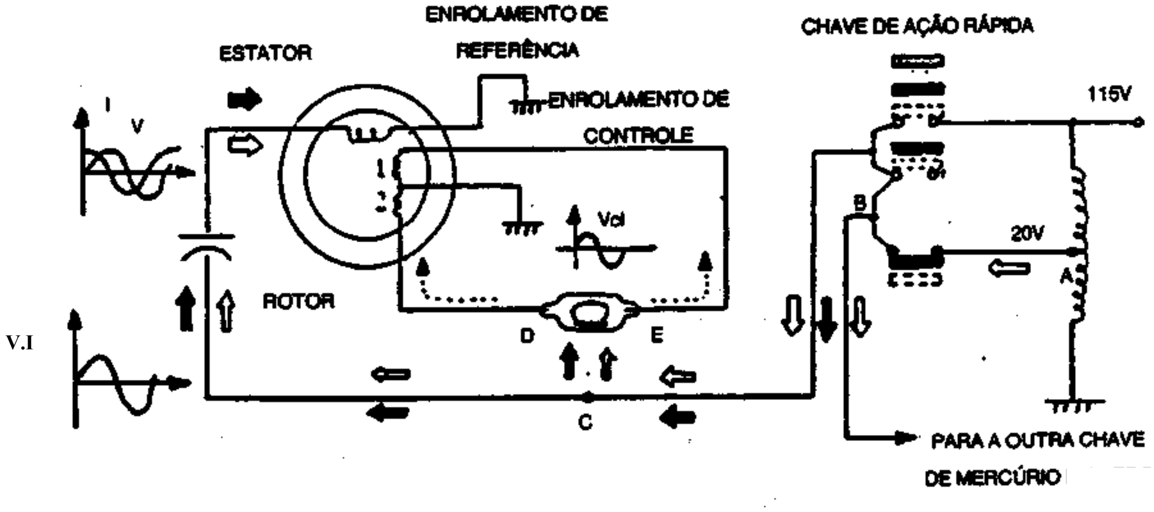

ENROLAMENTO DE REFERÊNCIA
ESTATOR
CHAVE DE AÇÃO RÁPIDA
I
V
115V
ENROLAMENTO DE CONTROLE
1
2
Vcl
B
20V
A
ROTOR
V.I
D
E
C
PARA A OUTRA CHAVE DE MERCÚRIO

Figura 2-67 Diagrama de um sistema de reposicionamento vertical

O eixo do rotor giroscópico tem a mesma direção da vertical do lugar. Neste caso a bolha de mercúrio faz contato apenas com o eletrodo "C". Portanto, só há corrente no enrolamento de referência.

Não havendo corrente no enrolamento de controle, o motor não desenvolve torque.

O eixo do rotor giroscópico está inclinado em relação à vertical do lugar e em torno do eixo de arfagem "Y".

Agora a bolha de mercúrio faz contato com os eletrodos "C" e "D" (ou "E"), portanto, o enrolamento de controle (uma das metades) é alimentado com uma corrente defasada de 90 graus em relação à corrente no enrolamento de referência.

Note-se que se a bolha fechar os contatos "C" e "D", a corrente no enrolamento de controle tem um certo sentido; se a bolha fechar os contatos "C" e "E", a corrente nesse enrolamento terá sentido oposto. Isto significa que o torque no anel gimbal externo pode atuar num sentido ou noutro.

Observe que a tensão de alimentação é cerca de 20 volts, obtida dos 115 volts, por meio do autotransformador.

No circuito também está incluída a chave de ereção rápida que alimenta os enrolamentos com 115 volts diretamente, o que produz corrente mais intensa e, portanto, torques mais elevados.

O circuito de ereção rápida será oportunamente comentado.

O sistema de ereção natural faz o eixo do rotor do giroscópio se movimentar para a vertical, numa taxa aproximada de 5 graus/minuto.

Sistema de Ereção Rápida

Quando o eixo do rotor do giroscópio está muito afastado da vertical do lugar, utiliza- se o sistema de ereção rápida para restabelecer o posicionamento do eixo.

Dois sistemas de ereção rápida em uso, atualmente, serão agora estudados.

A - Chave de Ereção Rápida

É o sistema mostrado no diagrama ilustrado na figura 2-67.

Sob condições normais de operação, o sistema é alimentado com 20 volts, só funcionando a ereção lenta.

Ao pressionar-se o botão da chave, o sistema passa a ser alimentado com 115 volts, resultando um maior torque dos motores. A taxa de ereção fica entre 120 graus/min e 180 graus por minuto (no mínimo 20 vezes maior que a taxa de ereção lenta ou natural).

É preciso tomar certos cuidados na utilização dessa chave. Primeiramente, a chave não deve ser mantida pressionada por mais de 15 segundos a fim de evitar superaquecimento nas bobinas do estator, devido a altas correntes. Só deverá ser pressionada quando a aeronave estiver nivelada ou com pequenos ângulos de subida e descida.

O motivo é que, quando a aeronave está realizando uma curva, subindo ou descendo, surgem forças (centrífugas por exemplo). Se pressionada a chave, num momento desse, a força produzida pelo motor de torque e as forças mencionadas adicionar-se-ão resultando precessões diferentes da desejada, o que redundará em falsas indicações.

B - Método Eletromagnético

Um eletroímã circular é fixado no interior da caixa do instrumento, acima de uma armadura com formato de "guarda-chuva". A armadura tem aproximadamente o mesmo diâmetro do eletroímã e é montada no anel do rotor.

O método eletromagnético é mostrado na figura 2-68.

Quando a alimentação de 115 volts, 3 fases, é ligada, o retificador é alimentado. Sua saída e uma corrente contínua (CC) que alimenta o enrolamento de eletroímã e de R2 através do contato de R1. O enrolamento de R1 é alimentado a partir da fase B.

Os contatos de R2 são comutados de 3 para 4 e de 5 para 6, alimentando o primário do transformador. A saída no secundário é uma tensão maior que 115 volts e é aplicada a dois dos três enrolamentos do estator do rotor giroscópico.

A aplicação de uma tensão mais elevada propicia um conjugado de partida, mais elevado, do motor de indução.

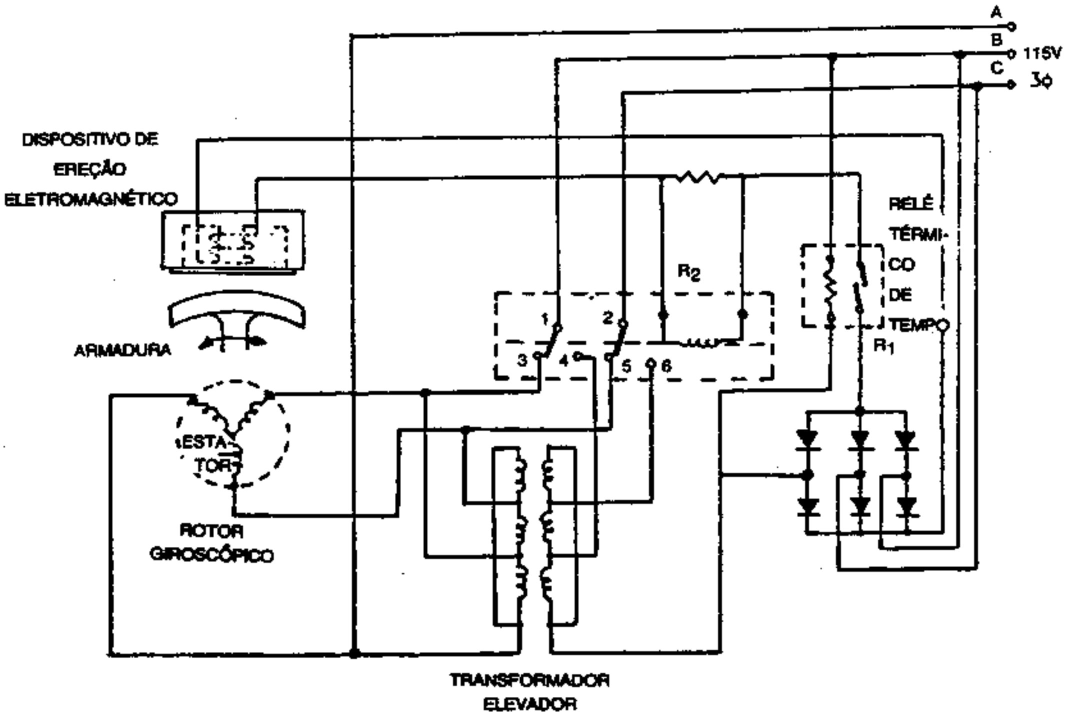


Figura 2-68 Diagrama ilustrando o método eletromagnético

Se, no momento que o sistema for alimentado, o rotor estiver inclinado (e a armadura também), o eletroímã exercerá uma força de atração maior na região da armadura que estiver mais próxima dele.

Em conseqüência sugirá um torque e o rotor precessionará até que seu eixo coincida com a vertical do lugar.

Nesse momento, a armadura tem seus pontos igualmente afastados do eletroímã e o torque será nulo.

Depois de 20 segundos de iniciado o processo, o relé de tempo abre-se e o eletroímã não é mais alimentado.

Também os contatos de R2 revertem-se e o estator passa a ser alimentado com 115 volts.

Taxa de Ereção

Taxa de ereção é o deslocamento angular do eixo do giro na unidade de tempo.

Deslocamento este produzido pelo sistema de ereção. Sua unidade mais usual é "grau/minuto".

A taxa de ereção típica dos giros-horizontes varia de 3 graus/min a 5 graus/min.

INDICADOR DE CURVA E DERRAPAGEM

Tem a finalidade de possibilitar ao piloto, efetuar curvas de precisão e coordenar o leme de direção e o aileron.

Princípio de Funcionamento do Indicador de Derrapagem

Antes de estudar o mecanismo da curva de uma aeronave, estudar-se-á o movimento de uma bola de chumbo pendurada num cabo de aço, em movimento circular. Existem forças atuando sobre a bola, porém conforme ilustrado na figura 2-69, podemos considerar apenas duas:

- peso da bola;
- a tração do cabo.

O mecanismo da curva de uma aeronave é idêntico, conforme ilustrado na figura 2-70, porém, como não existe nenhum cabo de aço, o piloto deve providenciar uma força que substitua a tração produzida pelo mesmo.

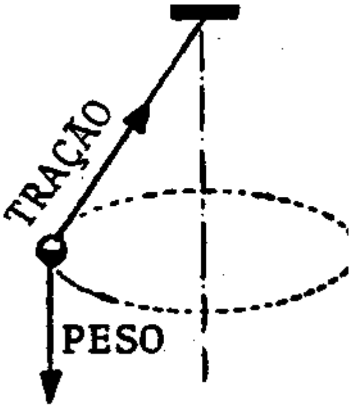


Figura 2-69 Esfera em movimento circular

Isso é conseguido inclinando-se as asas e aumentando o ângulo de ataque, a fim de produzir uma sustentação igual à tração do cabo de aço.

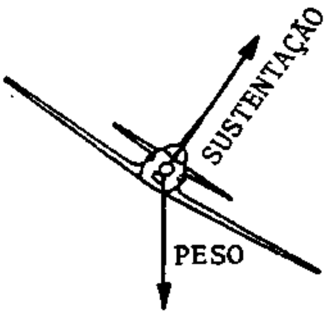


Figura 2-70 Aeronave em curva

A força de sustentação numa curva deve ser maior que o peso da aeronave. De fato, a sustentação pode ser dividida em dois componentes:

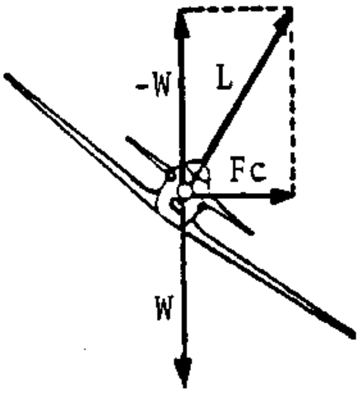


Figura 2-71 Componetes de forças que atuam na aeronave em curva

a) Componente vertical (-W), que deve ser obrigatoriamente igual ao peso. Isso só é possível se a sustentação for maior que o peso.

b) Componente horizontal (Fc), chamada força centrípeta.

A figura 2-71 ilustra as componentes de força atuantes na aeronave durante uma manobra de curva.

A força centrípeta aumenta com o peso e a velocidade da aeronave e diminui com o raio da curva .

Esse fato pode ser facilmente compreendido se imaginarmos um aeromodelo voando em círculos (figura 2-72).

A força centrípeta é o esforço exercido pelo braço do aeromodelista.

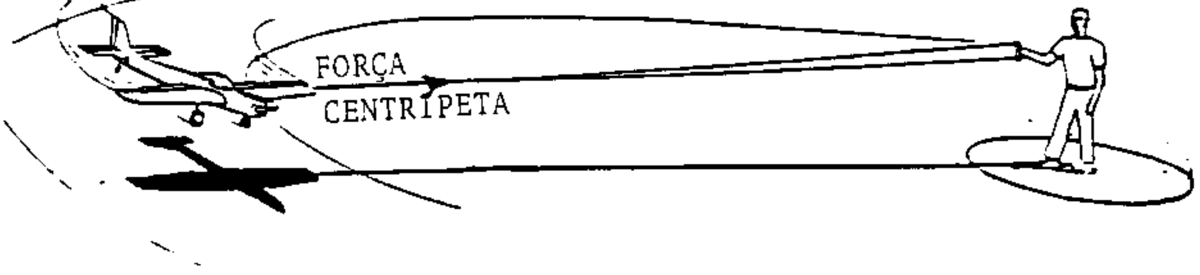


Figura 2-72 Atuação da força centrípeta

Nota: a comparação é válida, apesar das asas do modelo estarem niveladas e não inclinadas como uma aeronave real.

O ângulo de inclinação aumenta quando a velocidade aumenta.

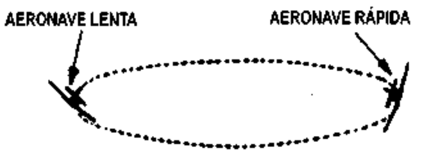


Figura 2-73 Aumento do ângulo de inclinação com o aumento da velocidade.

O ângulo de inclinação diminui quando o raio da curva aumenta.

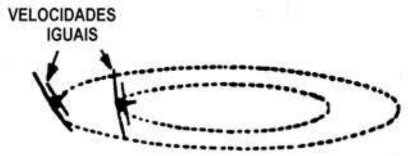


Figura 2-74 Inclinação diferente com velocidades iguais

Nota importante: o ângulo de inclinação não depende do peso.

Quanto mais inclinada a curva, maior deve ser a sustentação, a fim de garantir uma componente vertical (-W) igual ao peso da aeronave. Para isso, o piloto deve manter o manche puxado durante toda a curva.

Por exemplo, numa curva de 60º, a sustentação é igual ao dobro do peso. Diz-se então que o fator de carga é de 2g, indicando aceleração duas vezes maior que a da gravidade.

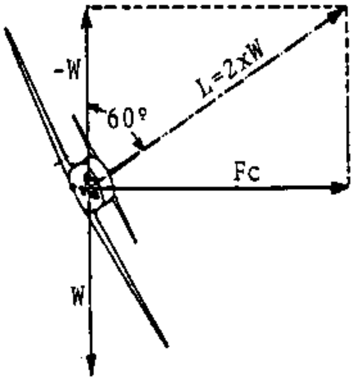


Figura 2-75 Curva com inclinação de 60º.

Uma aeronave não pode fazer curvas inclinadas além de um certo limite, porque a sustentação necessária estaria além das suas possibilidades. Veja a figura 2-76.

Pode-se então concluir que uma curva com inclinação de 90º é impossível, porque a sustentação teria que ser infinitamente grande.

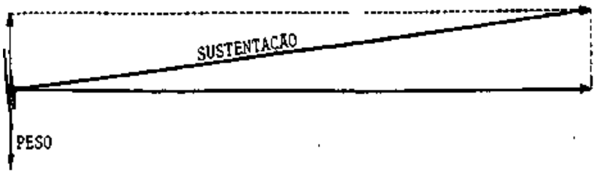


Figura 2-76 Curva com inclinação próxima a 90º

Até o momento, estudaram-se as curvas bem coordenadas, feitas por pilotos experientes; os mais novos podem cometer os erros a seguir descritos.

a) **Inclinação Exagerada**

A componente vertical (-W) é menor que o peso. A aeronave GLISSA, escorregando para o lado de dentro da curva, perdendo altitude.

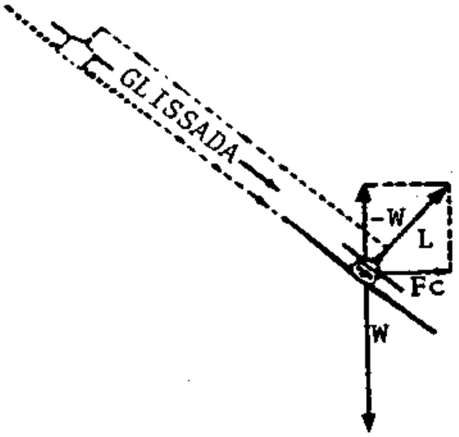


Figura 2-77 Glissagem - Erro de inclinação exagerada

b) **Inclinação Insuficiente**

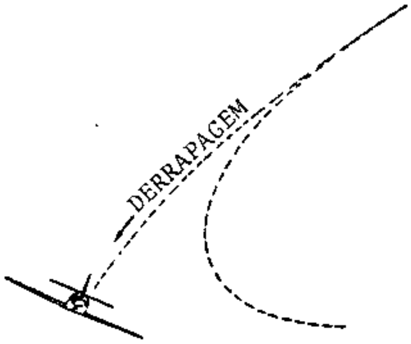


Figura 2-78 Erro de inclinação insuficiente

Neste caso, a força centrípeta é insuficiente, e a aeronave DERRAPA para fora da curva pretendida pelo piloto.

A derrapagem pode ser também provocada quando o piloto pisa um dos pedais, sem inclinar as asas. Para voar em curva, o piloto aumenta a sustentação da aeronave.

Com isso, ele aumenta também o arrasto. Este é o motivo por que a potência deve ser aumentada na medida em que o raio da curva diminui.

O menor raio possível é chamado RAIO LIMITE, conforme ilustra a figura 2-79, para o qual a potência aplicada é a máxima.

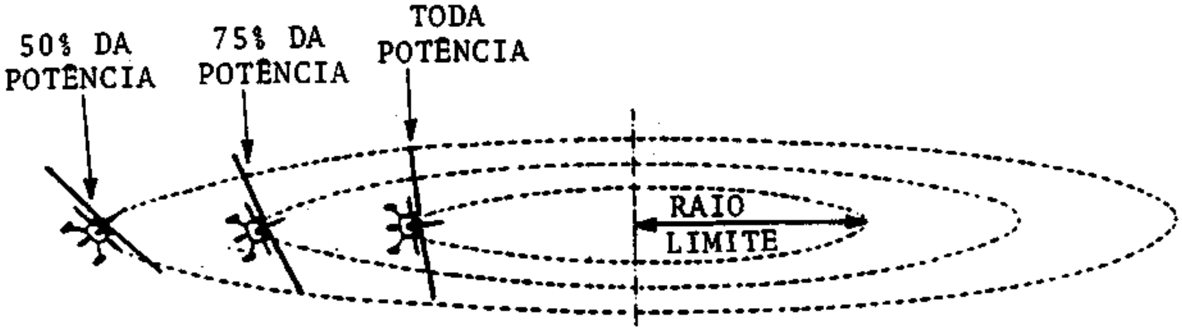


Figura 2-79 Potência máxima para o raio limite

Num avião fazendo curva em vôo horizontal, quatro fatos poderão ocorrer: o peso é sempre vertical e a sustentação perpendicular às asas; a tração será igual à resistência ao avanço, a fim de manter a velocidade constante; a centrífuga é horizontal e para fora; a centrípeta é a própria sustentação inclinada para dentro (decompor a sustentação em duas forças, uma vertical e outro horizontal, sendo esta última a centrípeta).

Na figura 2-80, vê-se um erro de pilotagem.

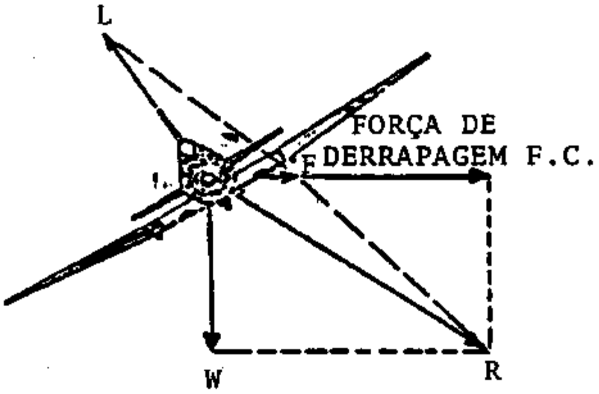


Figura 2-80 Curva muito apertada e com pouca inclinação

O piloto tenta fazer uma curva muito apertada e com pouca inclinação. Quando se compõe W com Fc, acha-se a resultante R. Esta, composta com L, nos dá F, que atua para fora, fazendo o avião derrapar.

Já na figura 2-81, vê-se outro erro agora o piloto inclinou, demais, para fazer uma curva muito aberta. Compostas as forças, ver-se-á que F puxa para dentro, fazendo o avião glissar.

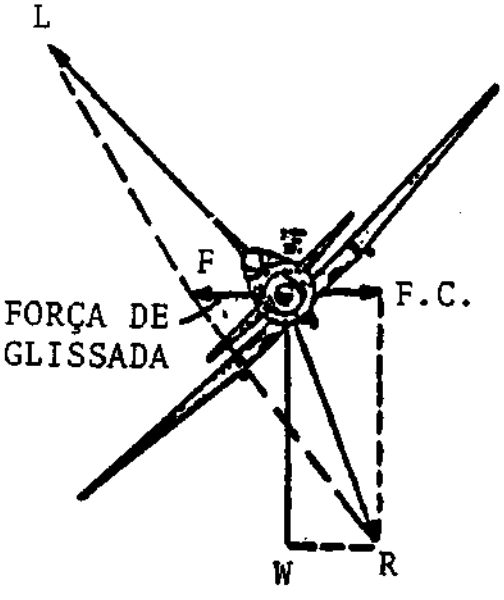


Figura 2-81 Inclinação exagerada para curva muito aberta

Na figura 2-82 verifica-se outro erro de pilotagem. A inclinação está correta para o raio da curva, porém, vê-se que R é maior do que L, o que faz o avião perder altura.

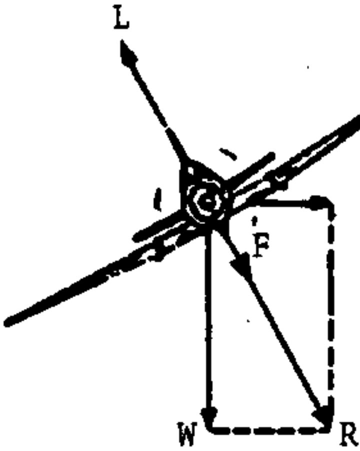


Figura 2-82 A resultante é maior que a sustentação

A curva perfeita é vista na figura 2-83 (inclinação correta e L = R). O avião não glissa, não derrapa e nem afunda.

Para isto, além da inclinação correta o piloto foi obrigado a aumentar ligeiramente o ângulo de ataque, de modo a aumentar a sustentação, para torná-la igual a R. Mas, com o aumento de ângulo de ataque, o piloto provocou também um aumento de resistência ao avanço, o que tem de ser compensado com um aumento de tração, pois caso contrário o avião desaceleraria, acabando por estolar.

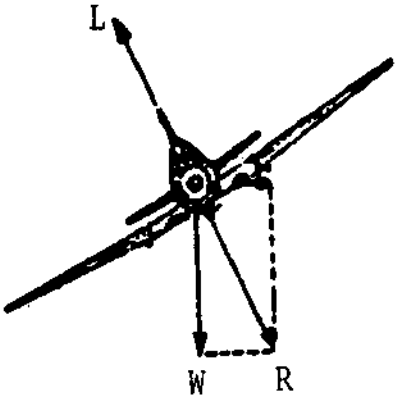


Figura 2-83 Situação de curva perfeita

Informações Gerais

O indicador de curva e derrapagem é na realidade uma combinação de dois outros instrumentos separados, um indicador de curva e um indicador de derrapagem (inclinação). São na realidade dois instrumentos independentes, montados na mesma caixa, pois o piloto faz uso deles conjuntamente quando necessita realizar uma curva inclinada.

Modelos mais antigos tinham o mecanismo giroscópico impulsionado por ar e os dos aviões modernos são elétricos. Ambos os tipos são similares em aparência e funcionam baseados no mesmo princípio.

Indicador de Derrapagem (Inclinação)

Na parte inferior existe um tubo de vidro curvado, contendo uma bola de vidro, aço ou ágata (material sintético). Este é o indicador de inclinação, às vezes, chamado de inclinômetro.

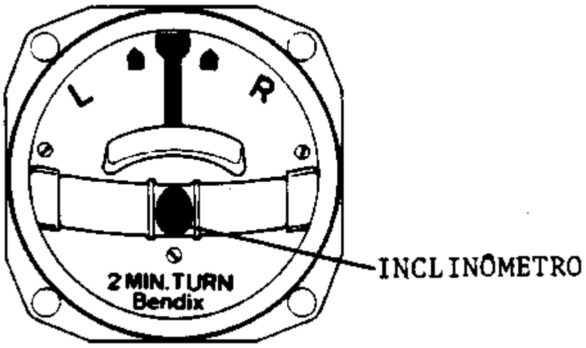


Figura 2-84 Indicador de inclinação ou inclinômetro

O piloto o usa para saber se o avião está glissando ou derrapando lateralmente durante uma curva inclinada. Também é empregado para saber se o avião está na posição horizontal.

O tubo está quase cheio de um líquido claro (querosene sem ácido) que serve para amortecer o movimento da bola. A câmara de ar existente no extremo do tubo, permite a contração e a dilatação do líquido em função da variação da temperatura.

Quando a asa do avião está na posição horizontal a gravidade mantém a bola no centro do tubo. Se uma ponta da asa estiver mais baixa do que a outra, a bola desliza para o lado da ponta mais baixa.

A figura 2-85 mostra como se comporta a bola em condições distintas de vôo.

Durante as curvas inclinadas, as forças da gravidade e centrífuga atuam sobre a bola ao mesmo tempo. Se o avião é inclinado na quantidade certa, ambas as forças que atuam sobre a bola são iguais e esta permanece no centro, conforme ilustra a figura 2-86.

Se a inclinação é excessiva a gravidade predomina sobre a força centrífuga e a bola desloca-se para o lado da glissagem.

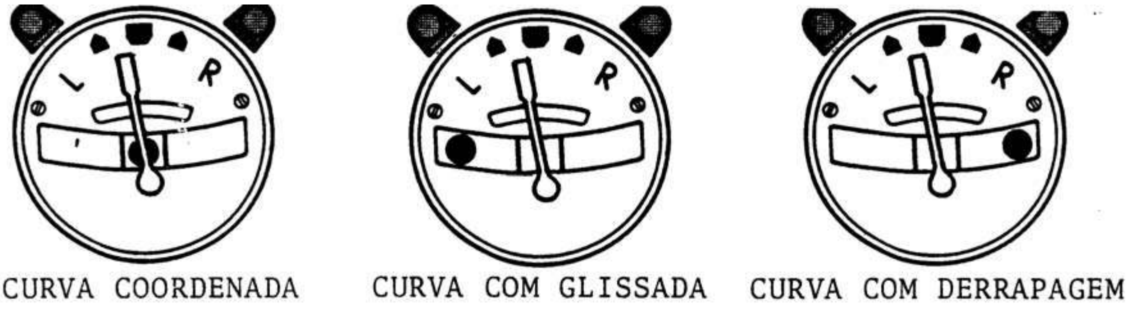


Figura 2-85 Indicações de um inclinômetro em situações distintas de vôo.

Se a inclinação não é suficiente, a força centrífuga predomina sobre a gravidade; então a bola desloca-se para o lado da derrapagem.

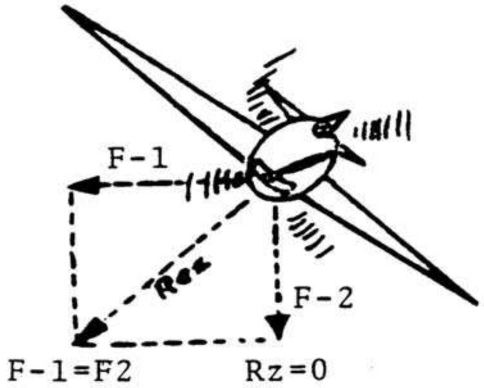


Figura 2-86 Aeronave inclinada na quantidade certa.

Indicador de Curva – Parte Externa

Este indicador é atuado pela parte giroscópica do instrumento. O ponteiro indica ao piloto a rapidez com que o avião faz a curva e se esta é para a esquerda ou para a direita. A parte superior do mostrador possui três marcas de referência.

Cada marca possui a mesma largura do ponteiro (5/32''). Os espaços que existem entre as marcas também são da mesma largura do ponteiro.

Cada marca e cada espaço representam certo regime de curva. Quando o avião encontra-se em vôo horizontal, o ponteiro alinha-se com a marca do centro.

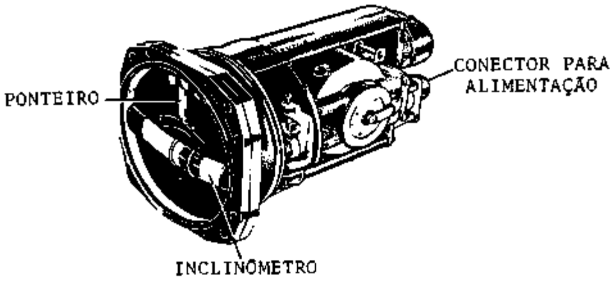


Figura 2-87 Indicador de curva – parte externa

Quando o avião faz uma curva, o ponteiro move-se na direção da curva. Se a curva é lenta, o ponteiro move-se numa pequena extensão. As curvas mais rápidas produzem um maior movimento do ponteiro. Para interpretar o regime da curva, observa-se a posição da agulha com relação às marcas e aos espaços.

Indicador de Curva – Parte Interna

Enquanto o avião estiver em vôo, o rotor também girará tendo seu eixo em posição horizontal.

Porém, quando o avião se inclina, o giroscópio muda de posição. O lado da inclinação depende da direção da curva. Se o avião faz uma curva para a direita, o giroscópio inclina-se para a esquerda, e se a curva é para a esquerda, o giroscópio se inclina para a direita. Um sistema de articulação transmite este movimento ao ponteiro, de maneira que este indique uma curva para a direita ou para a esquerda. Quando o giroscópio inclina-se, atua contra a tensão da mola centralizadora. A tensão é ajustada de maneira que a quantidade de desvio do ponteiro seja exatamente proporcional ao regime da curva.

Esta mola também devolve o giroscópio à posição neutra tão logo o avião retorne ao vôo em linha reta e horizontal.

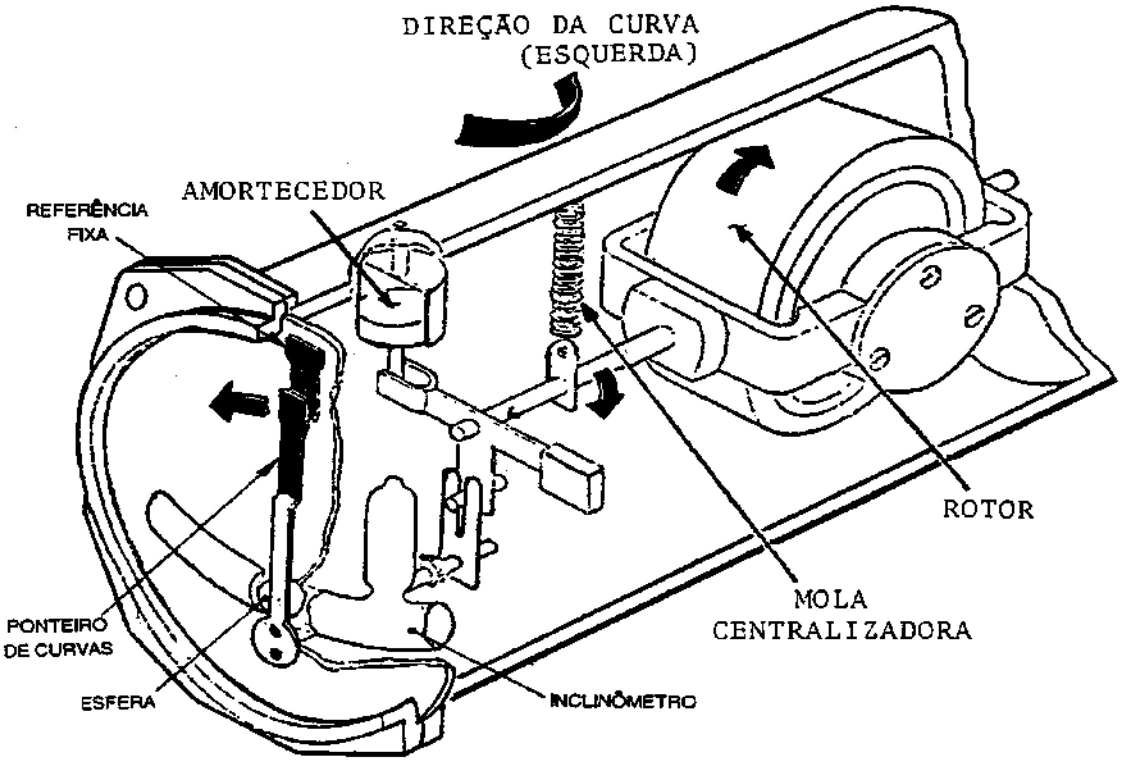

DIREÇÃO DA CURVA
(ESQUERDA)
AMORTECEDOR
REFERÊNCIA FIXA
ROTOR
MOLA CENTRALIZADORA
PONTEIRO DE CURVAS
ESFERA
INCLINÔMETRO

Figura 2-88 Indicador de curva – parte interna

Um amortecedor do tipo cilindro controla as oscilações do conjunto giroscópico.

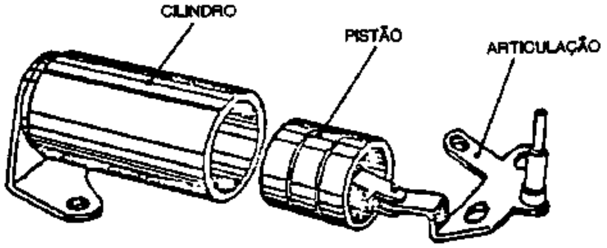

CILINDRO
PISTÃO
ARTICULAÇÃO

Figura 2-89 Amortecedor do conjunto giroscópico

Este sistema consiste de um cilindro e um pistão, unidos por uma articulação ao cardã que suporta o rotor.

Quando o giroscópio inclina-se, o pistão comprime o ar de dentro do cilindro e absorve as oscilações.

Também serve como freio do conjunto giroscópio, onde controla a velocidade com que o conjunto regressa a posição neutra depois de uma curva.

Isto é necessário pois impede que o ponteiro regresse com demasiada rapidez ou que passe pela marca do zero.

Neste instrumento o giroscópio gira ao redor do eixo transversal (lateral), numa armação pivotada ao redor do eixo longitudinal.

Montado deste modo, o giro responde somente ao movimento ao redor do eixo longitudinal, não sendo afetado por movimentos de guindada ou arfagem.

Movimentos de uma aeronave

Os movimentos de uma aeronave podem ser realizados em torno de três eixos que passam pelo centro de gravidade (CG):

a) eixo longitudinal;
b) eixo transversal ou lateral;
c) eixo vertical.

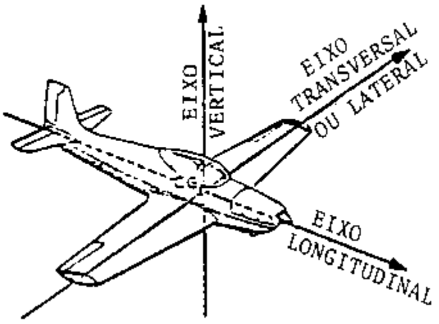


Figura 2-90 Eixos imaginários

O movimento em torno do eixo transversal chama-se arfagem ou tangagem. Ele pode ser efetuado em dois sentidos:

a) para cima (cabrar);
b) para baixo (picar).

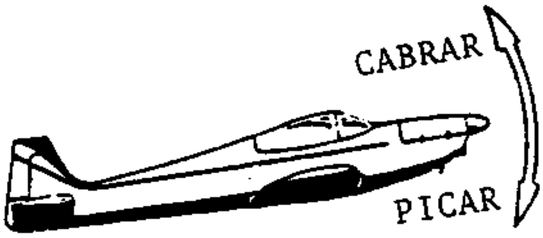


Figura 2-91Movimento de arfagem ou tangagem

O movimento em torno do eixo longitudinal chama-se rolagem, rolamento, bancagem ou inclinação lateral.

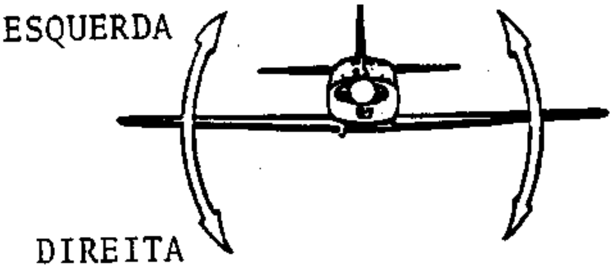


Figura 2-92 Movimento de rolagem ou inclinação lateral

O movimento em torno do eixo vertical chama-se guinada. Os movimentos de uma aeronave são controlados através de superfícies de controle ou superfícies de comando, que são a seguir descritos.

a) **PROFUNDOR** ou leme de profundidade, que comanda os movimentos de arfagem;
b) **AILERONS,** que comandam os movimentos de rolagem;
c) **LEME DE DIREÇÃO,** que comanda os movimentos de guinada.

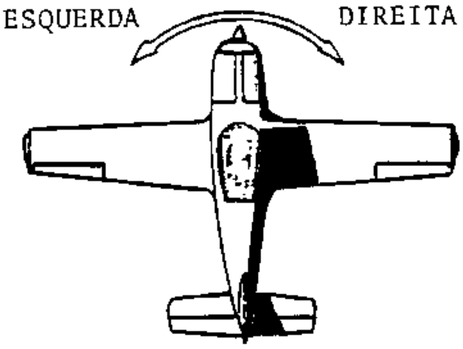


Figura 2-93 Movimento de guinada

Alguns indicadores de curva e derrapagem são construídos para serem usados em aviões a jato (motor a reação) enquanto outros são feitos para uso com motor convencional e turboélice.

A principal diferença consiste em que nos indicadores usados nos aviões a jato a sensibilidade é maior.

Pode-se identificar estes indicadores através da legenda “4 MIN TURN” inscrita na parte frontal do instrumento. Nos instrumentos menos sensíveis a legenda é “2 MIN TURN”.

No instrumento marcado “2 MIN TURN” quando a deflexão do ponteiro é igual à sua própria largura, a velocidade de curva é de 1 grau e 30 minutos por segundo, o que dá 360º em quatro minutos.

Com o ponteiro sobre o índice lateral, o avião estará fazendo uma curva de 3 graus por segundo, isto é, 360º em dois minutos.

Atualmente os instrumentos deste tipo, movidos a ar, estão sendo substituídos por giroscópios acionados eletricamente pois estes necessitam menos manutenção e também pesam menos.

ACELERÔMETRO

Aceleração – Conceitos

O acelerômetro indica a aceleração ao longo do eixo vertical do avião. Não responde à aceleração lateral ou longitudinal. Está graduado em unidades "g". Um "g" representa a aceleração da gravidade, ou seja, 32 pés por segundo = 9,81m/s^2.

Dito em outras palavras, 1g é a força exercida pela gravidade sobre o corpo em repouso.

Por exemplo, quando um avião está em repouso, a única força que atua sobre ele é a gravidade portanto, o acelerômetro deve marcar 1g positivo.

Assim antes de examinar o indicador e seu princípio de funcionamento, veja-se a força "g" e seu efeito sobre o avião e seus ocupantes. Devido à maneabilidade e às altas velocidades dos aviões modernos, existem forças e tensões que atuam sobre estes e seus tripulantes, cada vez que o avião sai do vôo horizontal. A mais violenta destas forças deve-se a guinadas, curvas e saídas de picadas e grandes velocidades. Portanto, qualquer manobra que produza uma força centrífuga causa uma tensão no avião e seus ocupantes.

A força centrífuga é aquela que impele para fora do centro de rotação. Esta força, da mesma forma com que a força com a qual a gravidade puxa as pessoas para a terra, pode ser expressa em qualquer das unidades de força comuns. Entretanto a unidade mais comumente usada é um múltiplo da força da gravidade, chamada "g".

Quando alguém está sentado em um avião na linha de vôo, esta pessoa sente-se atraída para o assento pela força de gravidade, que é uma força de 1g e é igual ao peso normal do corpo desta pessoa.

Sem a ação da gravidade, esta pessoa não teria peso (zero g). Dois "g" representariam uma força igual ao dobro de seu peso normal. Três "g" seriam três vezes este peso, etc.

Se uma pessoa sentasse em uma balança, durante o vôo, em um avião, ver-se-ia que o peso desta pessoa variaria de acordo com a manobra do avião.

A força "g", positiva, fez esta pessoa pesar mais; a força "g", negativa, a fez pesar menos.

A 2g positivos tem-se a sensação de uma força empurrando fortemente a pessoa contra o assento. A 3g está pessoa vai sentir braços e pernas muito pesados e seria muito difícil levantá-los e, talvez, até impossível. A força "g" positiva não permite a circulação do sangue na cabeça, de maneira que, entre 3 e 4g, dependendo da pessoa, tudo começa a parecer cinzento. Isto é conhecido como "visão cinza", causada pela diminuição de fluxo de sangue no cérebro. Entre 4 e 6g, a maioria das pessoas sofre uma cegueira momentânea total.

A força "g", negativa, produz efeito contrário; o corpo tende a levantar-se do assento e o sangue concentra-se no cérebro. À medida que a força negativa aumenta, enxerga-se tudo vermelho.

A roupa anti-g permite resistir às mudanças desta força. Há um efeito de forças na estrutura do avião. Uma carga "g" sobre o avião depende do tipo e duração da manobra, do peso e da força estrutural do avião. Uma carga "g" excessiva enfraquece, de tal forma que pode fazer o avião soltar as asas.

Alguns aviões resistem até 2,5g: outros aviões modernos de caça podem tolerar 15 g ou mais. Grandes cargas atuando na estrutura podem danificar instrumentos e prejudicar a tripulação. O piloto deve conhecer a resistência do seu avião, em unidade "g".

Isto é encontrado na ordem técnica do avião.

É importante saber, a todo o momento, a força "g" que o avião está suportando. Esta indicação é dada pelo acelerômetro.

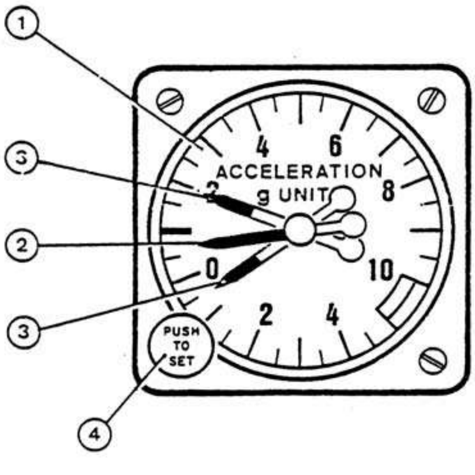


Figura 2-94 Acelerômetro

O acelerômetro (1) permite ao piloto restringir as manobras dentro das limitações do avião e a tripulação, consequentemente, será menos afetada. Este instrumento tem 3 ponteiros, o principal (2) dá uma indicação contínua das mudanças de aceleração, e os outros dois (3) indicam as leituras máximas, aproximadas durante o vôo ou em uma manobra específica.

Eles se mantêm fixos em sua indicação máxima, até que se lhes fixe de novo outra indicação, pressionando-se o botão no canto inferior esquerdo do instrumento (4). Está baseado no princípio de que um corpo em repouso tende a permanecer nesta condição, salvo se uma força exterior atuar sobre ele.

Quando o avião se mantém em vôo horizontal, a força exterior, que está atuando sobre a massa do acelerômetro, não é suficientemente grande para fazê-lo mudar de posição. Logo, os ponteiros permanecem parados na posição 1g.

Quando o avião começa a picar, a massa do acelerômetro tende a manter sua relação com o avião e o ponteiro indica a aceleração para baixo. Este movimento reposiciona a massa nos eixos em um ponto superior ao ponto médio, fazendo com que o ponteiro indique uma aceleração negativa, condição esta que se reflete na leitura negativa. Portanto, quando o avião sai de picada, todos os objetos no avião tendem a continuar movendo-se para baixo. Esta força para baixo atua outra vez sobre a massa no acelerômetro que agora dá uma leitura “g” positiva. Ao voltar à horizontal, a indicação volta a ser de 1g. O elemento sensível é um peso de bronze fosforoso, chamado massa. Esta massa está montada em um par de guias e se move para baixo e para cima, de acordo com as mudanças de aceleração.

Um sistema de polias transmite movimentos aos ponteiros. Uma das polias está fixada a um eixo que também sustenta o ponteiro principal e também uma mola principal.

Quando a massa se move, a polia-guia imprime movimento de rotação ao eixo.

Este movimento é controlado pela mola principal. O efeito restrito da mola faz com que a quantidade de movimento do ponteiro seja proporcional à força que atua sobre a massa.

Os ponteiros indicadores de aceleração máxima positiva e negativa estão montados em eixos ocos e separados, que giram com o eixo principal.

Um conjunto de engrenagens, uma para cada ponteiro, limita a rotação para uma só direção.

A quantidade de movimento dos ponteiros depende do número de dentes de engrenagem que tenha passado em relação ao eixo principal. Ao acionar o botão de ajustagem, os dentes das engrenagens são libertados e as molas fazem o ponteiro voltar à posição 1g.

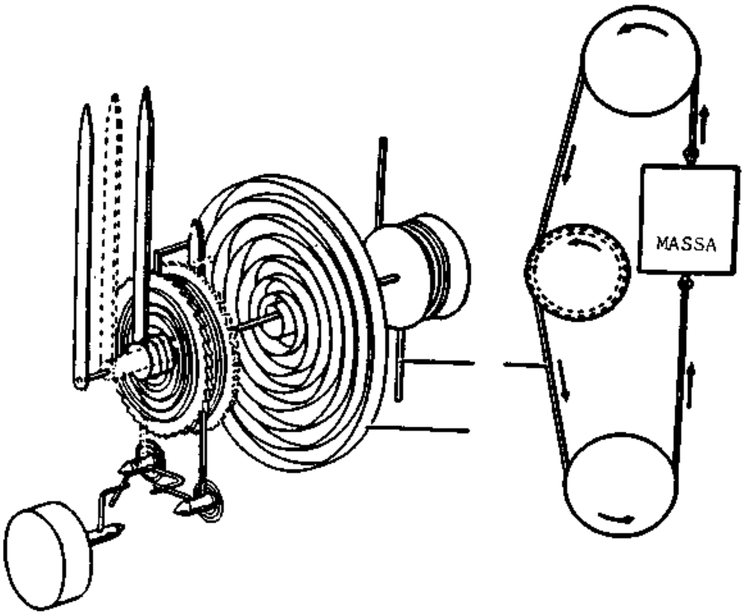


Figura 2-95 Mecanismo interno do acelerômetro

MAQUÍMETRO

Nos aviões a jato, é de grande importância ter, no painel, um instrumento, capaz de dar uma indicação de velocidade, quando o avião se aproxima, iguala ou excede a velocidade do som. O maquímetro é o instrumento que nos dá essa indicação e seu mostrador está graduado em número MACH.

Número MACH é igual a um (unidade), quando a velocidade real do avião atingir a velocidade do som.

É um instrumento que fornece a razão entre a velocidade do avião e a velocidade do som, para uma particular altitude e temperatura existente a qualquer tempo durante o vôo.

A finalidade deste instrumento é determinar a razão entre a velocidade do avião e a velocidade do som local, em qualquer situação, para o controle e segurança do vôo.

Quando um avião voa com velocidade igual a do som, dizemos que ele está com velocidade transônica; quando voando com velocidade inferior a do som, chamamos de velocidade subsônica quando está com velocidade acima do som, chamamos de velocidade supersônica. O empilhamento das partículas de ar adiante da aeronave, em deslocamento transônico, acarreta aumento da resistência ao avanço proporcional ao aumento de velocidade; esse fato dá origem àquilo que se chama de barreira-sônica.

A barreira-sônica indica uma região onde um grande aumento da potência será necessário para um pequeno avanço de velocidade e onde um misto de fluxos subsônicos e supersônicos irá criar dificuldades aos controles de qualquer aeronave comandada.

À medida que um avião se desloca supersônicamente, vai gerando, automaticamente, ondas de choque, da mesma forma que um navio vai gerando ondas com a proa na água.

Essas ondas de choque deslocam-se inicialmente com a velocidade da aeronave, isto é, com velocidade superior a do som porém à medida que vão se afastando, vão se transformando em simples ondas de pressão, com o deslocamento normal das ondas sonoras. A onda de choque é formada no ponto de maior espessura da aeronave.

Princípio de Funcionamento

A velocidade do som diminui com a redução da temperatura e da densidade do ar.

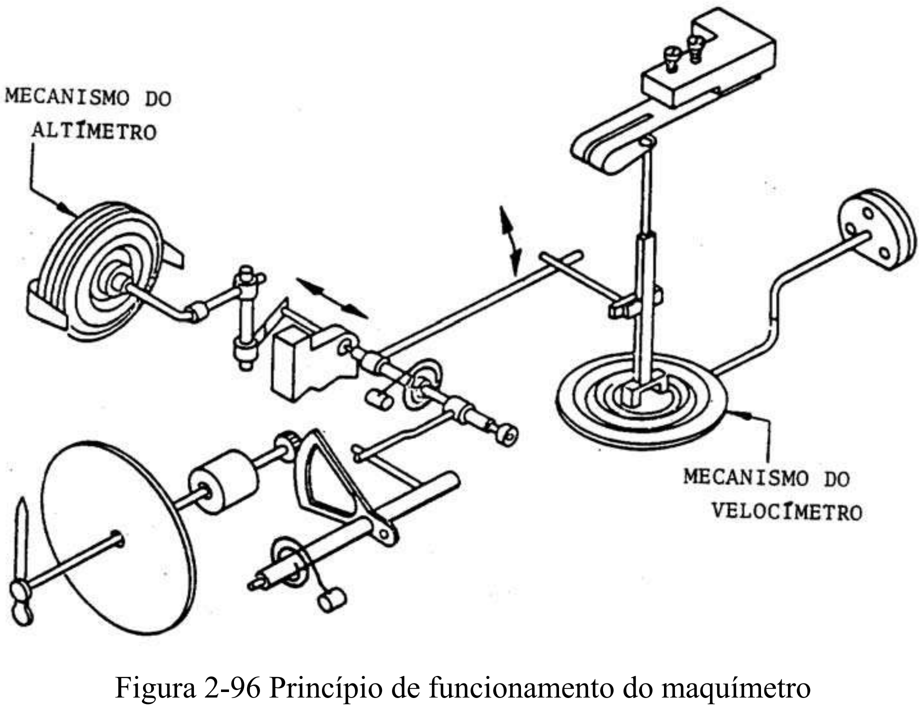


Figura 2-96 Princípio de funcionamento do maquímetro

A temperatura e a densidade do ar diminuem com o aumento de altitude portanto, a velocidade do som varia inversamente com a altitude.

Citamos alguns exemplos de velocidade do som com variações de temperatura:

a) a 0ºC, a velocidade do som é igual a 330,6 m/seg.
b)
c) a 15º, a velocidade do som é igual a 340m/seg
d)
e) a 30º, a velocidade do som é igual a 348,45 m/seg.

Podemos ver que a velocidade do som, em condições atmosféricas padrão é igual a 340 m/seg.

Sabemos que a velocidade indicada por um sistema de pressão diferencial (velocímetro) varia na razão inversa da altitude; e à medida que o avião sobe, vai aumentando a diferença entre a velocidade indicada e a verdadeira. Assim, necessário se faz aplicar, ao conjunto de pressão diferencial do machímetro, um sistema de compensação das variações de altitude.

Possui o machímetro, para efetuar esta compensação, uma cápsula aneróide que se distende ou se contrai com as variações de pressão, e neste movimento, por meio de um mecanismo, vai aumentar ou diminuir a amplitude do eixo no qual está fixo o ponteiro que desliza sobre o mostrador graduado em número MACH.

O indicador é ligado ao conjunto pitot-estático porque o seu funcionamento depende da pressão dinâmica e estática

A figura 2-90 mostra dois tipos de machímetros sendo que o “A” opera na faixa de 0.3 até 1.0 mach e em “B” este instrumento pode operar desde 0.5 até 1,5 mach.

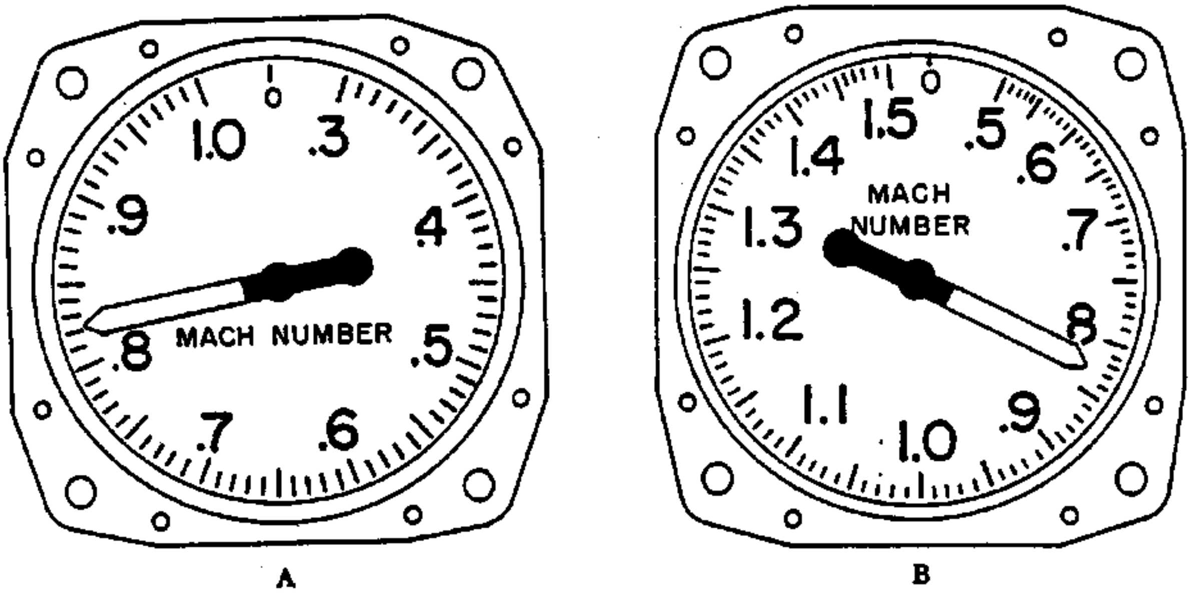


Figura 2-97 Dois tipos de maquímetro

CAPÍTULO 3

INSTRUMENTOS DE NAVEGAÇÃO

INTRODUÇÃO

A terra atua como um imenso ímã, com um pólo próximo ao pólo norte geográfico, e o outro extremo próximo ao pólo geográfico sul. Suspendendo-se um ímã de barra, de modo que o mesmo possa girar em qualquer direção ao redor do seu centro de gravidade, ele tomará uma posição com uma extremidade apontando o pólo magnético norte, e a outra apontando o pólo magnético sul.

Por esta razão, as extremidades dos imãs são conhecidas, respectivamente como indicador norte, ou extremidade N, e indicador sul ou extremidades S.

A força magnética que atua na extremidade N é igual e oposta à força que atua na extremidade S.

A posição tomada por um ímã de barra, suspenso livremente, dá a direção da força magnética.

Se a agulha magnética não sofresse a menor das forças externas, apontaria para o pólo magnético norte.

Os pólos magnéticos não estão localizados nos pólos geográficos da terra.

O pólo magnético do hemisfério norte está aproximadamente, na latitude de 71º N, e a longitude 96º, ao passo que o pólo magnético S está na latitude 73º S e na longitude 156º E.

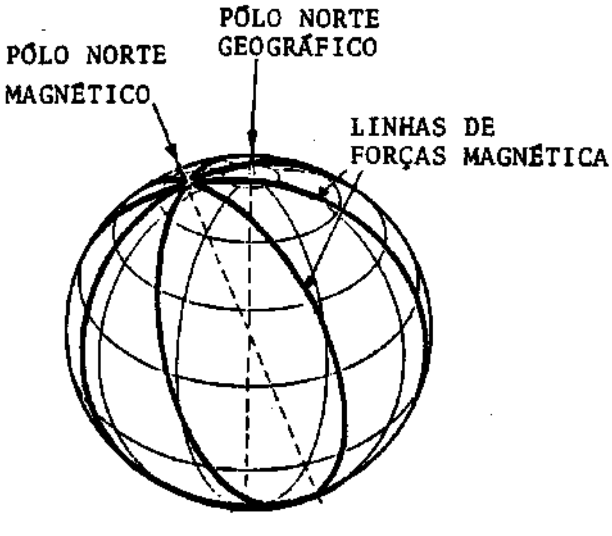


Figura 3-1 Localização dos pólos da terra

Definições

Latitude

É a distância, em graus, de qualquer ponto da Terra em relação à linha do Equador.

Longitude

É a distância, em graus, de qualquer ponto da Terra em relação ao meridiano de Greenwich.

Declinação

É o ângulo formado entre o plano do meridiano verdadeiro e uma linha que passa por uma agulha magnética que possa oscilar livremente, e que influenciada apenas pelo magnetismo terrestre. Tal declinação é denominada E ou O, conforme a direção de desvio da verdadeira linha norte. As declinações variam de acordo com o tempo e lugar.

Linhas isogônicas

Se a superfície da terra fosse composta de material homogêneo, então as linhas de força magnética seriam círculos máximos, ligando os pólos magnéticos. Mas a composição da crosta terrestre é tal que, na maioria das localidades, a direção das linhas de força magnéticas desvia-se consideravelmente da direção do círculo máximo. Felizmente, a ciência não somente localizou com precisão os pólos magnéticos, mas também determinou a direção das linhas de força magnética, em todas as partes da superfície da terra, de um modo bem aproximado. Além disso, foram calculadas as pequenas modificações de direção que ocorrem gradualmente. A linha imaginária que liga os pontos de igual declinação é conhecida como linha isogônica. A declinação magnética é igual em todos os pontos de uma linha isogônica.

BÚSSOLA MAGNÉTICA

A bússola é, simplesmente, uma agulha de aço, magnética, suspensa de modo a poder girar livremente num plano horizontal. A agulha da bússola coloca-se sempre na mesma direção que as linhas de forças magnéticas da terra, a menos que seja influenciada por magnetismo local.

A terra, sendo um enorme ímã, tem um pólo magnético norte e um pólo magnético sul.

Para evitar confusão, costuma-se chamar a ponta da agulha da bússola, que aponta para o pólo norte da terra, de ponta indicadora norte; e a outra, de ponta indicadora sul.

Os pólos magnéticos e geográficos não coincidem, de modo que a bússola, em geral, não aponta para o norte verdadeiro ou geográfico. Essa diferença em direção é denominada declinação.

A bússola magnética usada em avião consiste em uma caixa com um líquido, contendo uma rosa dos ventos, com um sistema de 2 agulhas magnetizadas, suspensas num suporte, de modo que se alinhem livremente por si, com o meridiano do campo magnético da terra.

As indicações do limbo e o marcador de referência, ou linha de fé, são visíveis através do vidro. Uma câmara de expansão e contração tem a finalidade de prever quanto à expansão e contração do líquido resultante das mudanças de altitude e temperatura.

O líquido também amortece as oscilações do limbo. Um sistema de iluminação é colocado na bússola. Cada uma das direções cardeais, Norte, Sul Leste e Oeste, está designada pelas letras iniciais.

As partes principais da bússola magnética são: a caixa de forma esférica ou cilíndrica, feita de material não magnético; o conjunto do mostrador que inclui o painel mostrador ou limbo, a linha de fé que é um arame fino, ou pedaço de material, fixo em relação à bússola, e por meio do qual se pode fazer a leitura do mostrador da bússola; o fluido amortecedor que enche completamente a caixa é querosene de absoluta transparência, isento de ácido, a câmara de compensação, local onde estão os ímãs compensadores; a montagem protetora contra vibração, que é a armação por meio do qual a bússola é colocada no painel e a lâmpada para iluminação do mostrador.

Numa bússola magnética, o movimento é obtido por meio de uma ou mais barras magnéticas fixas paralelamente numa armação.

Esta armação, ou conjunto de mostrador é fixa sobre um pivô, num ponto acima de seu centro de gravidade, de tal modo que se equilibre horizontalmente.

O movimento do conjunto é amortecido pelo líquido.

O líquido tem outras duas funções: uma é a de evitar a corrosão do pivô e de outras peças que estão no interior da caixa; a outra é de preservar o mancal de partículas insolúveis que ficam no fundo da caixa.

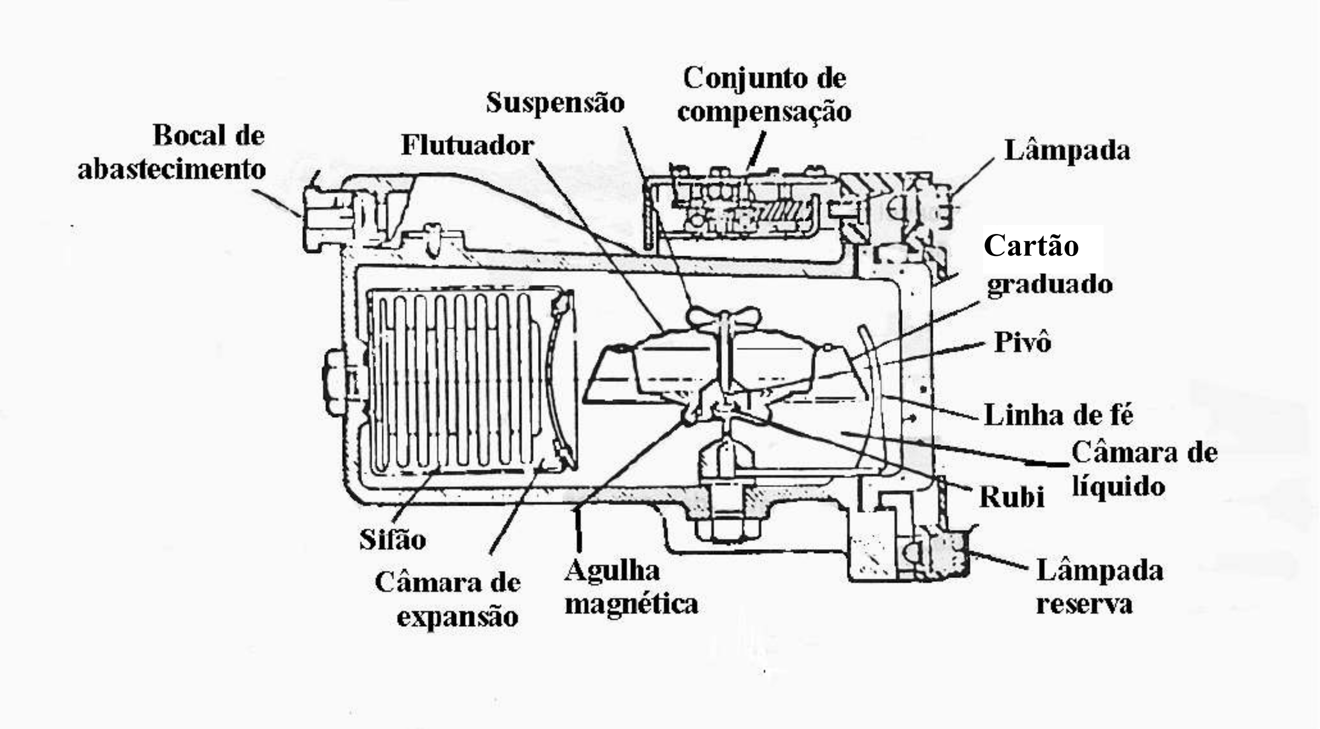


Figura 3-2 Mecanismo da bússola magnética

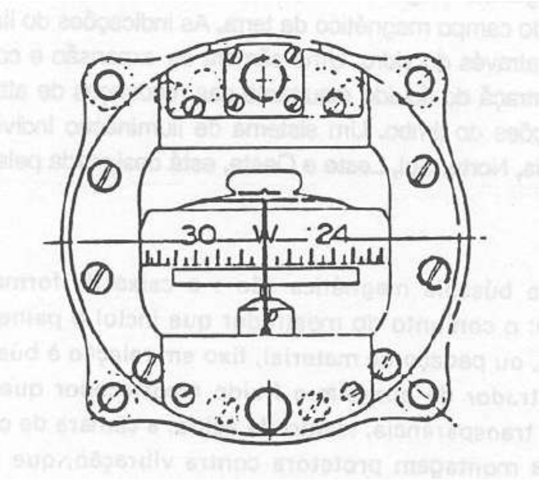


Figura 3-3 Bússola magnética

Instalação da Bússola

A bússola deve ser montada de tal maneira que uma linha passando pelo pivô do cartão e linha de fé fique paralela ao eixo longitudinal do avião. O suporte pivô do cartão deverá ficar perpendicular à linha do horizonte quando o avião estiver na posição de vôo nivelado.

A câmara compensadora da bússola e os parafusos de ajuste devem ser facilmente acessíveis.

As braçadeiras necessárias para a montagem de bússolas são feitas de latão, duralumínio ou outros materiais não magnéticos, e os parafusos de montagem para bússolas são feitos de latão.

Deve-se evitar campos magnéticos nas proximidades da bússola, quer de natureza permanente, ou causados pela proximidade de equipamento elétrico, rádio, armamento, ou particularmente de natureza variável, resultante de variações de fluxo da corrente em ligações elétricas, ou de posição dos trens de pouso.

Uma quantidade razoável de magnetismo permanente, nas proximidades da bússola, pode ser compensada, o que não acontece com o efeito dos campos magnéticos variáveis.

Antes da compensação, o máximo desvio da bússola não deve ser superior a 25º; depois de compensada os desvios não devem exceder a 10º.

Deve-se, durante a instalação da bússola, fazer o seguinte serviço de manutenção: substituição de lâmpadas defeituosas, verificação do sistema de iluminação quanto a ligação defeituosa, compensação e substituição de bússolas defeituosas.

As bússolas são removidas e substituídas por instrumentos em condições de uso, quando existir qualquer das seguintes condições:

– líquido turvo ou descorado, prejudicando a visibilidade;
– as marcações do cartão, ilegíveis, por estarem descoradas, desbotadas ou sem tinta luminosa;
– o limbo não girar livremente, num plano horizontal, quando o avião estiver em condição normal de vôo;
– a caixa rachada;
– a bússola não for sensível ou é errada no seu funcionamento, após os esforços para compensá-la;
– a linha de fé estiver frouxa ou fora de alinhamento.

Todas as bússolas instaladas em aviões são compensadas e as leituras registradas em cada período de mudança do motor, ou equipamentos elétricos, que possam afetá-las. No entanto, em qualquer ocasião que houver suspeita de erro na bússola, a mesma deve ser verificada e compensada.

O processo de compensação de erros da bússola, depois da instalação no avião, isto é, correção dentro dos limites justos de erros causados pelas influências magnéticas, obtenção e registros dos desvios finais nos vários pontos da bússola, é chamado de “compensação de bússola”.

As causas principais de ineficiência das bússolas nos aviões são as seguintes:

– instalação incorreta;
– vibração;
– magnetismo;
– erro de curva para o norte.

Os projetistas de aviões e instrumentos reduzem ou eliminam a falta de precisão das bússolas, por instalações defeituosas e vibrações.

Durante a construção do avião, a vibração e agitação das peças de aço, enquanto estão sendo forjadas, usinadas ou ajustadas em seu lugar, dão certa quantidade de magnetismo permanente, que é induzido pelo campo magnético da Terra. Quando o avião entra em serviço, este magnetismo permanente vai variar, devido às vibrações do motor, pousos, etc.

A mudança deste magnetismo permanente afeta a ação do campo magnético da Terra na bússola e desvia, do norte magnético, o limbo da bússola.

Outros desvios da bússola são motivados pelas correntes elétricas que fluem no sistema elétrico do avião, no equipamento rádio, em instrumentos elétricos e pela variação de posições das massas metálicas como trens de pouso, etc.

Os erros da bússola, motivados pelas influências magnéticas permanentes já mencionadas, quando não forem excessivos, podem ser corrigidos dentro de limites justos, pela aplicação apropriada de ímãs compensadores.

O erro de qualquer bússola é a diferença angular entre o norte verdadeiro e norte da bússola ou o ângulo entre o verdadeiro meridiano e um plano vertical, que passa através do comprimento da agulha da bússola. Este ângulo é a soma algébrica da variação e do desvio.

A variação é causada pelas influências magnéticas terrestres e é a diferença angular entre o norte verdadeiro e norte magnético, medido a partir do meridiano verdadeiro. É chamado "Oeste", quando o magnetismo terrestre atrai a agulha para a esquerda; "Este", quando a agulha é atraída para a direita ou Leste.

O desvio é causado pela influência magnética local do avião no qual a bússola está montada, e é a diferença angular entre o norte magnético e o norte da bússola.

A proa do avião pode ser lida, observando-se as indicações da bússola na rosa dos ventos, em referência à linha de fé, através de uma janela de vidro que está na frente da caixa da bússola.

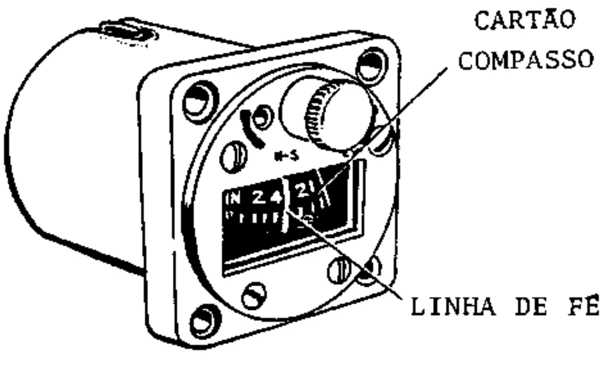


Figura 3-4 Indicações da bússola

Compensação da Bússola

A compensação nunca deve ser tentada perto de qualquer estrutura metálica, como hangares, fios elétricos, trilhos de ferrovias, condutores subterrâneos de aço ou qualquer objeto que possa ter influência magnética na bússola.

Na medida do possível, todos os objetos fixos ou móveis que contenham material de ferro devem ser colocados na posição a ser ocupada no avião. O pessoal encarregado da compensação não deve carregar instrumentos ou peças de aço nos bolsos, usando para os ajustes apenas a chave de fenda de latão.

Não deve haver aeronave por perto.

A compensação da bússola magnética é feita sempre que removida e reinstalada.

Procedimentos de Compensação

1. Rebocar a aeronave para a mesa de calibração de bússolas (Rosa dos Ventos).
2. Certificar-se de que não existe nenhuma outra aeronave nas proximidades, nem materiais ferromagnéticos.
3. Aproar a aeronave para o Norte (N) (0º na Rosa dos Ventos).
4. Certificar-se de que a linha de fé da bússola está alinhada com o Norte da Rosa dos Ventos e com o eixo longitudinal do avião.
   Nota: Ajustar a bússola, caso necessário, através dos parafusos de fixação.
5. Armar todos os disjuntores.
6. Ligar todos os rádios.
7. Anotar o valor, indicado pela bússola, nessa proa magnética, após sua estabilização.
8. Repetir a leitura para as proas de 90º, 180º e 270º sucessivamente.
9. Anotar as diferenças algébricas existentes nos quatro pontos cardeais (N-E-S-W).
10. Usando as fórmulas abaixo, calcular os coeficientes "B" e "C" substituindo as letras dos pontos

cardeais pelos valores das diferenças obtidas no item 9.

$$\text{COEF B}=\frac{(E)-(W)}{2}$$

$$\text{COEF C}=\frac{(N)-(S)}{2}$$

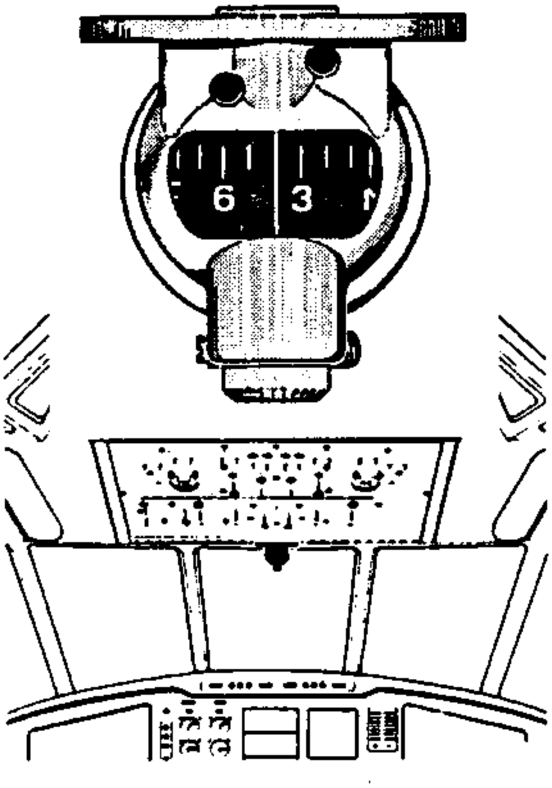


Figura 3-5 Localização da bússola

11. Direcionar a aeronave para o Norte.
12. Usando uma chave de fenda não magnética, somar algebricamente, através do parafuso N-S, o coeficiente "C" à leitura da proa magnética nesta direção.
13. Direcionar a aeronave para o Leste.
14. Usando uma chave de fenda não-magnética, somar, algebricamente, através do parafuso E-W, o coeficiente "B", à leitura da proa magnética nesta direção.

Nota

Somar algebricamente significa que o valor do coeficiente "B" ou "C" deve ser subtraído da leitura, se posistivo, ou, adicionado, se negativo. Ao girar os parafusos N-S e E-W para a direita, a indicação de proa aumenta, enquanto que, ao girá-los para a esquerda, a indicação diminui.

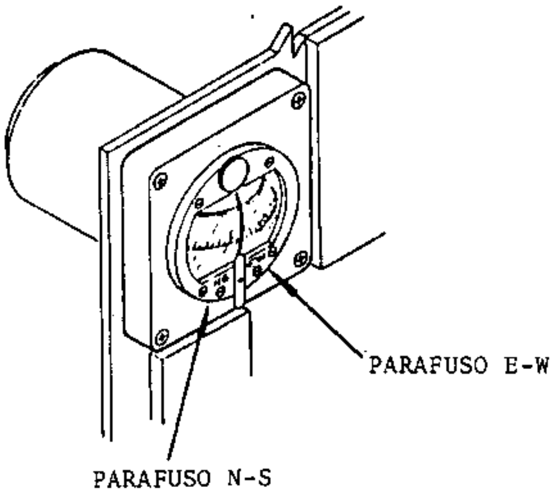


Figura 3-6 Compensação da bússola.

15. Movimentar a aeronave em intervalos de 30º, começando do zero (Norte).
16. Registrar os erros de bússola no cartão de compensação de bússola.

Nota: Embora a tolerância seja de 10 graus deve-se procurar corrigir o erro de modo a torná-lo o menor, praticamente, possível.

17. Colocar o cartão de compensação na posição, apropriada.
18. Desligar a alimentação da aeronave.

SISTEMA PICTORIAL DE NAVEGAÇÃO

Notas:

1. Neste capítulo que trata do sistema de bússola giromagnética estão incluídas também as informações sobre: giro direcional, indicador de curso (HSI) e indicador radiomagnético (RMI);

2. Com a finalidade de exemplificar a aplicação do sistema, em uma aeronave, foi escolhido o EMB-312 'TUCANO" o que não invalida as características principais que quaisquer sistema desta natureza deve conter. Esta aeronave está equipada com um sistema PN-101 da Collins.

Sistema Pictorial

Pictorial é um sistema primitivo onde as idéias são expressas por meio de desenhos das coisas ou figuras simbólicas.

O sistema de navegação pictorial substitui o quadro mental de navegação do piloto, por uma contínua apresentação visual da posição da aeronave.

O indicador de situação horizontal (HSI) apresenta, de forma pictórica, a posição da aeronave, a localização de uma determinada radial de VOR ou da trajetória de um pouso por instrumento.

As informações apresentadas no instrumento, apesar de pictóricas, não dão margem ao piloto para nenhuma dúvida e principalmente são captadas em um simples relance. O sistema pictorial de navegação (PN-101) tem a finalidade de fornecer o rumo magnético da aeronave, associado às informações dos sistemas VOR, LOC, GS e ADF. O sistema PN-101 COLLINS é composto pelas seguintes unidades:

• Detector de fluxo	323A-2G
• Unidade acoplada	328A-3G
• Giro direcional	332E-4
• Indicador de curso (HSI)	331A-3G
• Indicador	RMI 3115(AERONETICS)
• Amplificador servo	341C-1
• Adaptador de bandeira HDG	AE10003-001

A alimentação básica para o sistema é de 28 VCC da barra de emergência CC, através de um disjuntor de 4A e a alimentação de excitação dos transformadores e dos síncronos para os indicadores de curso e para os indicadores RMI é de 26 VCA 400 Hz, da barra de emergência CA, através de um disjuntor de 1A.

O disjuntor de 4A (CC) está localizado no painel de disjuntores do posto dianteiro; o de 1A (CA), no painel de disjuntores do posto traseiro.

Princípio de funcionamento do PN-101

O detector de fluxo 323A-2G excitado pela unidade aclopadora 328A-3G provê a informação de referência magnética terrestre, numa saída de 3 fios (síncrono), para síncrono de controle do cartão compasso.

A não concordância entre esta informação e o azimute do cartão compasso, gera um sinal de erro.

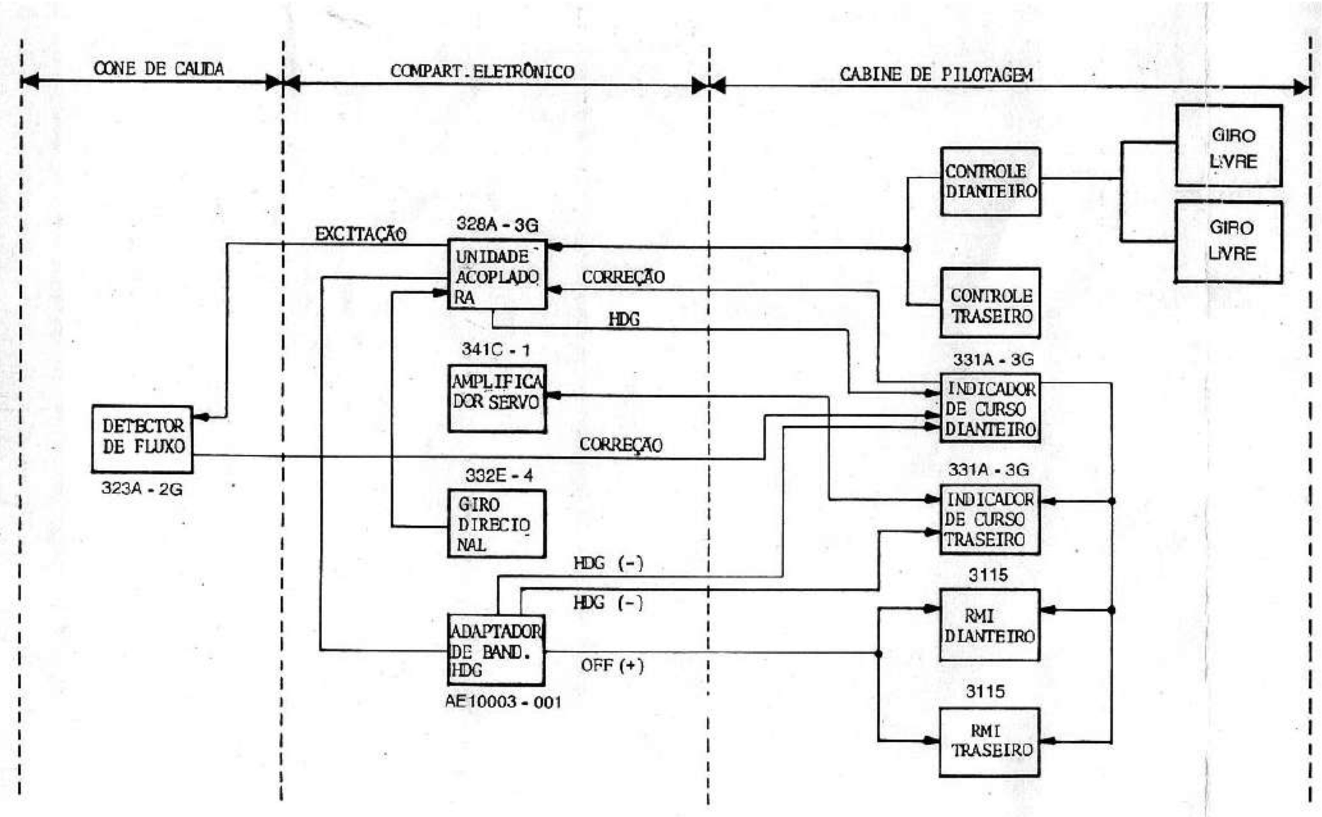

CONE DE CAUDA
COMPART. ELETRÔNICO
CABINE DE PILOTAGEM
GIRO LIVRE
GIRO LIVRE
CONTROLE DIANTEIRO
CONTROLE TRASEIRO
EXCITAÇÃO
328A - 3G
UNIDADE ACOPLADORA
CORREÇÃO
HDG
341C - 1
AMPLIFICADOR SERVO
331A - 3G
INDICADOR DE CURSO DIANTEIRO
DETECTOR DE FLUXO
323A - 2G
CORREÇÃO
332E - 4
GIRO DIRECIONAL
331A - 3G
INDICADOR DE CURSO TRASEIRO
HDG (-)
HDG (-)
3115
RMI DIANTEIRO
ADAPTADOR DE BAND. HDG
AE10003 - 001
OFF (+)
3115
RMI TRASEIRO

Figura 3-7 Localização dos componentes do Sistema PN – 101

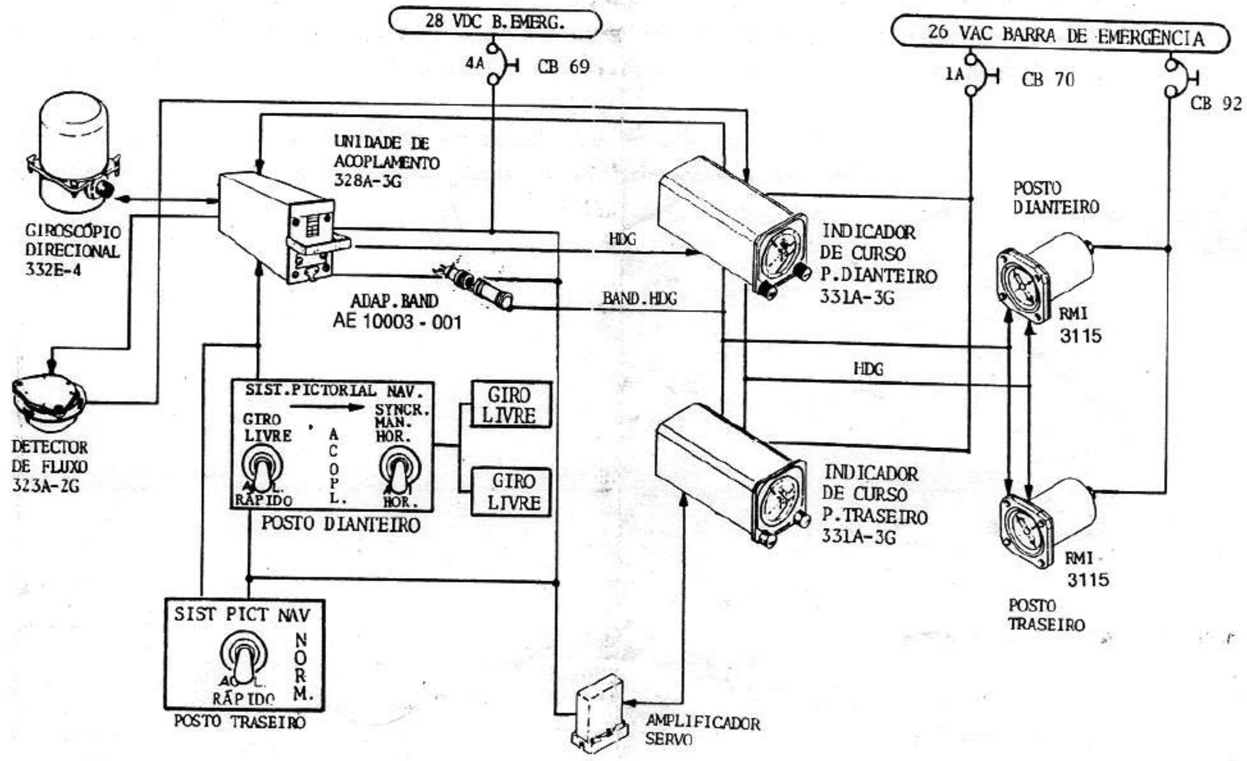

28 VDC B.EMERG.
4A
CB 69
26 VAC BARRA DE EMERGENCIA
1A
CB 70
CB 92
UNIDADE DE ACOPLAMENTO 328A-3G
GIROSCÓPIO DIRECIONAL 332E-4
HDG
BAND.HDG
ADAP.BAND AE 10003 - 001
INDICADOR DE CURSO P.DIANTEIRO 331A-3G
POSTO DIANTEIRO
RMI 3115
HDG
DETECTOR DE FLUXO 323A-2G
SIST.PICTORIAL NAV.
GIRO LIVRE
SYNCR. MAN. HOR.
ACOPL.
A. RÁPIDO
A. HOR.
POSTO DIANTEIRO
GIRO LIVRE
GIRO LIVRE
INDICADOR DE CURSO P.TRASEIRO 331A-3G
RMI 3115
POSTO TRASEIRO
SIST PICT NAV
NORM.
A. RÁPIDO
POSTO TRASEIRO
AMPLIFICADOR SERVO

Figura 3-8 Componentes do Sistema PN – 101

O sinal de erro é amplificado e detectado em fase na unidade acopladora. O sinal amplificado, detectado em fase e restringindo, é utilizado para reposicionar o síncrono diferencial.

O síncrono diferencial (acoplamento do giro direcional ao cartão compasso do HSI) gera um sinal de compensação com relação ao giro, para o transformador de controle do cartão compasso do HSI.

O transformador de controle produz um sinal que após ser amplificado na unidade acopladora é aplicado ao motor do cartão compasso. O cartão compasso é então girado para a posição correta.

O giro direcional é acoplado ao transformador de controle do cartão através do síncrono diferencial da unidade acopladora. Qualquer mudança na informação do giro é imediatamente apresentada no cartão compasso do HSI

Unidades do Sistema

Detector de Fluxo (323A-2G)

O detector de fluxo (323A-2G) fornece a proa magnética da aeronave.

Essa unidade é usualmente localizada na ponta da asa ou na parte traseira da fuselagem da aeronave, onde as perturbações produzidas pelos motores e sistema elétrico são menores. Acessórios de compensação reduzem qualquer erro induzido na unidade.

O detector de fluxo é constituído de um elemento sensor suportado pendularmente, com o propósito de detectar a componente vertical do campo magnético local, somente na posição ereta.

O elemento sensor está localizado dentro de um compartimento hermético e cheio de um fluído especial.

Os sinais de saída são fornecidos através de uma conexão a três fios, tipo síncrono. A figura 3-9 apresenta o esquema elétrico da válvula detectora de fluxo.

Características

Entrada (excitação) ...	26 VCA, 400Hz monofásica.
Saída (sinal)	trifásica (SINCRO) de 800Hz
Temperatura	-55 a + 70º C
Variações	± 15% de freqüência e tensão.

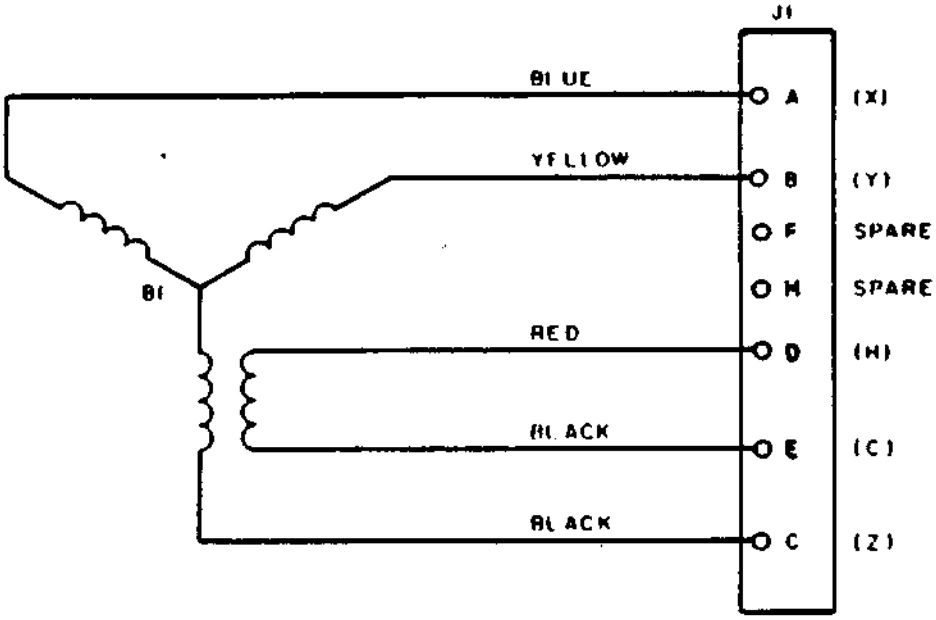

J1
BLUE
YELLOW
RED
BLACK
BLACK
B1
A
B
F
H
D
E
C
(X)
(Y)
SPARE
SPARE
(H)
(C)
(Z)

Figura 3-9 Esquema elétrico da válvula detectora de fluxo.

Operação do detector de fluxo

As figuras 3-10, 3-11 e 3-12 apresentam a válvula detectora de fluxo.

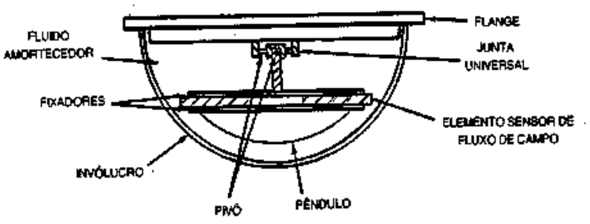

FLANGE
FLUIDO AMORTECEDOR
JUNTA UNIVERSAL
FIXADORES
ELEMENTO SENSOR DE FLUXO DE CAMPO
INVÓLUCRO
PIVÔ
PÊNDULO

Figura 3-10 Válvula detectora de fluxo

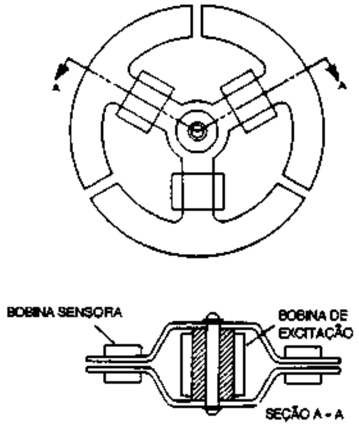

A
A
BOBINA SENSORA
BOBINA DE EXCITAÇÃO
SEÇÃO A - A

Figura 3-11 Posicionamento das 3 bobinas

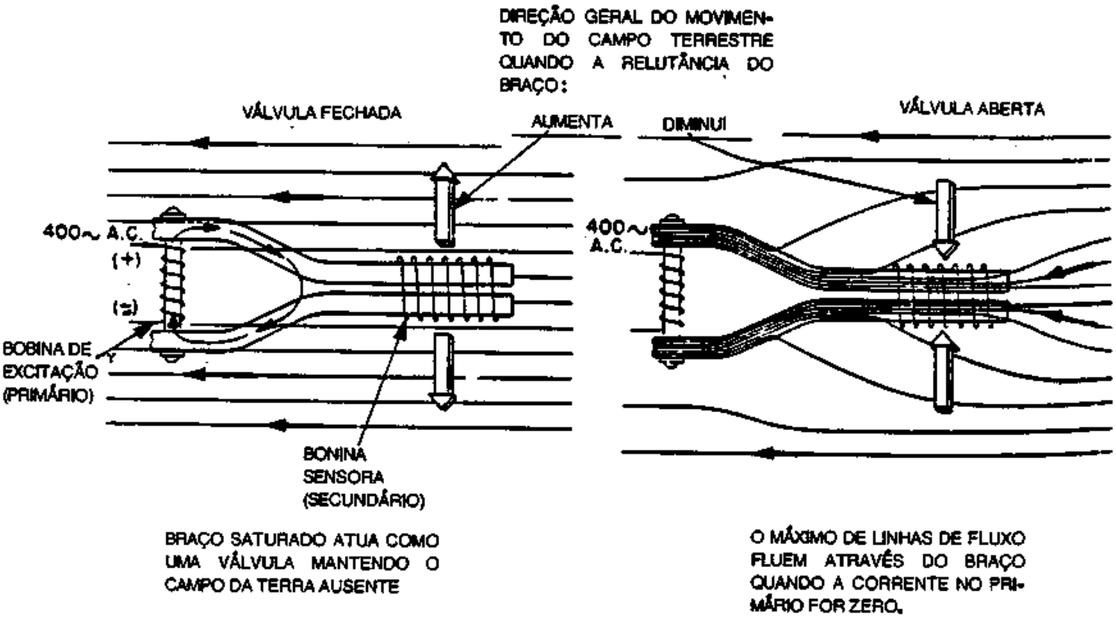

DIREÇÃO GERAL DO MOVIMENTO DO CAMPO TERRESTRE QUANDO A RELUTÂNCIA DO BRAÇO:
VÁLVULA FECHADA
AUMENTA
DIMINUI
VÁLVULA ABERTA
400~ A.C.
(+)
(±)
400~ A.C.
BOBINA DE EXCITAÇÃO (PRIMÁRIO)
BONINA SENSORA (SECUNDÁRIO)
BRAÇO SATURADO ATUA COMO UMA VÁLVULA MANTENDO O CAMPO DA TERRA AUSENTE
O MÁXIMO DE LINHAS DE FLUXO FLUEM ATRAVÉS DO BRAÇO QUANDO A CORRENTE NO PRIMÁRIO FOR ZERO.

Figura 3-12 Deslocamento das linhas de fluxo

Uma bobina enrolada em volta do centro da válvula de fluxo é excitada por 400Hz AC cujo campo periodicamente satura os braços de armação. Na figura 3-13, o avião do ponto A é direcionado para o norte e as linhas de fluxo do campo da terra são interceptadas pela armação. Todas passam pela perna A, parte delas saem através da perna B e parte através da perna C. Quando o avião faz a curva tomando o rumo Oeste, as linhas de fluxo mudarão nas três pernas da armação. As bobinas de captação são enroladas em volta de cada perna da armação e, durante a parte do ciclo de excitação quando a armação não está saturada, as linhas de fluxo da terra passam através da bobina e induzem uma tensão. Durante esta parte do ciclo, quando a armação está saturada, as linha do fluxo são rejeitadas. Esta aceitação e rejeição do fluxo da terra, geram uma tensão nos três enrolamentos, que difere com cada rumo.

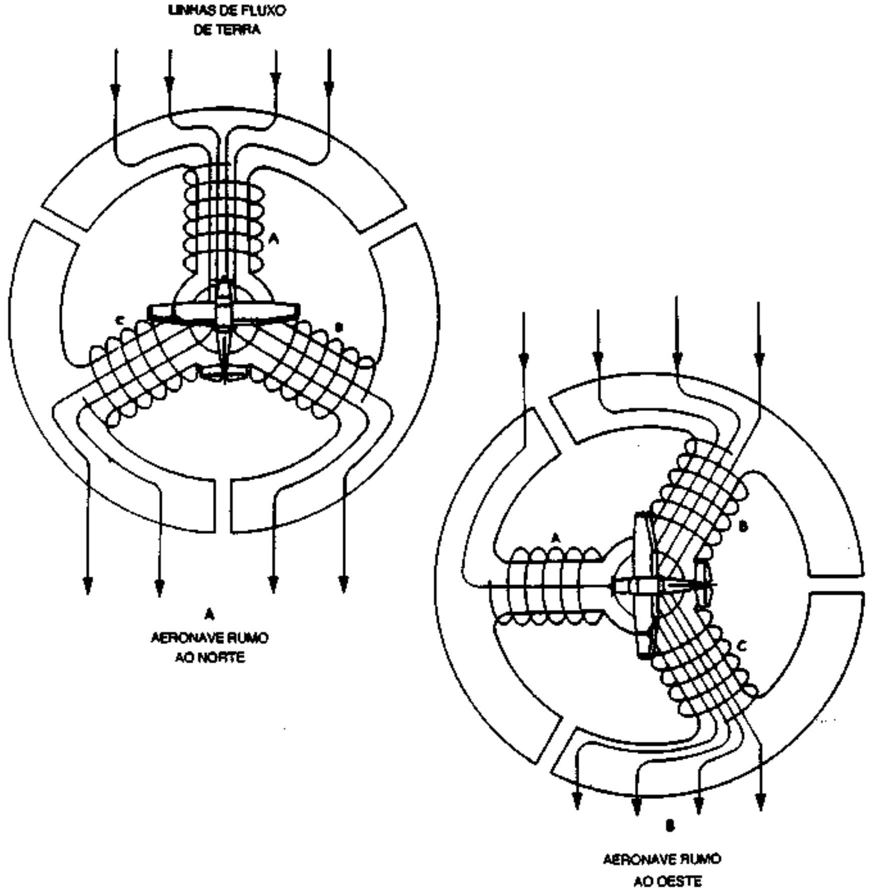


Figura 3-13 Interceptação das linhas de fluxo do campo da terra pela armação

Olhando o circuito básico da bússola giroscópica escrava na figura 3-14, vemos que o sinal do campo magnético da terra que uma tensão no estator de três fases da válvula de fluxo. Isto é transportado para o estator do controle do giroscópico escravo, onde a voltagem no rotor é amplificada e enviada para a fase variável do motor torque escravo de duas fases. Isto produz uma força precessiva sobre o giro direcional e o faz girar. Ao girar, ele movimenta o rotor do controle giroscópico, e quando estiver exatamente na mesma relação para seu estator como o campo da terra está para o estator na válvula de fluxo, o motor de torque escravo pára sua força sobre a suspensão cardan giroscópica, e o giroscópio deixa de precessar. Unido também ao giroscópio está o rotor do indicador. Este é um sistema *Autosyn* e o mostrador no indicador gira para indicar ao piloto a relação entre a proa do avião e o campo magnético da terra.

O diretor de fluxo é usado como transmissor de sinal para diversos componentes do avião (bússola elétrica, RMI, indicador de curso, etc).

Funciona aproveitando as linhas de força magnéticas da Terra e eletricamente através de bobinas colocadas a 120° uma da outra. Produz variações de sinais em função da mudança de rumo da aeronave com relação ao pólo norte magnético da terra.

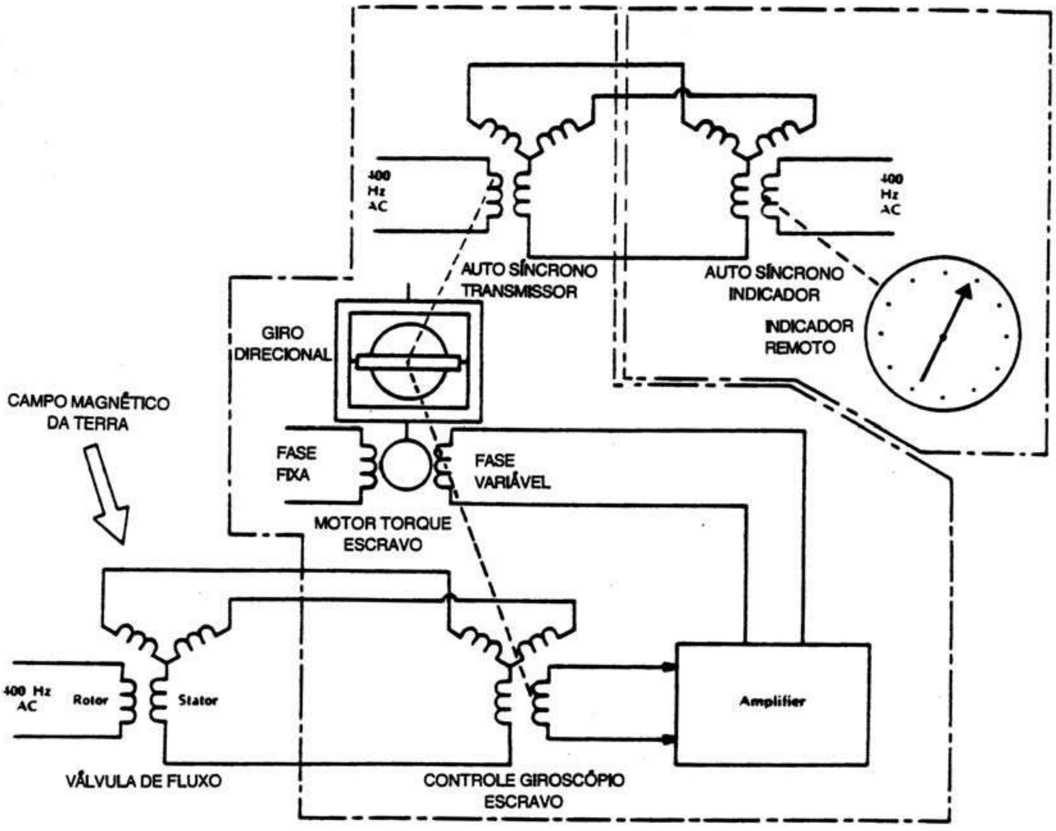

400 Hz AC
AUTO SÍNCRONO TRANSMISSOR
AUTO SÍNCRONO INDICADOR
400 Hz AC
INDICADOR REMOTO
GIRO DIRECIONAL
CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA
FASE FIXA
FASE VARIÁVEL
MOTOR TORQUE ESCRAVO
400 Hz AC
Rotor
Stator
Amplifier
VÁLVULA DE FLUXO
CONTROLE GIROSCÓPIO ESCRAVO

Figura 3-14 Circuito elétrico da bússola giroscópica

O detector é constituído de: compensador, pêndulo e conjunto de transmissão.

O detector é capaz de captar as linhas magnéticas da terra e possibilitar a indicação do ângulo formado entre a direção dessas linhas e a direção da rota de um objeto qualquer (aeronave).

Em conjunto com os outros componentes do Sistema PN 101, o detector de fluxo possibilita a transmissão e indicação de uma direção segura para uma aeronave orientando o vôo. Entre os vários tipos de detector existem poucas diferenças tanto física, quanto funcionalmente. Geralmente as diferenças se acham na estrutura do centro saturado ou nos terminais conectores. O elemento sensitivo consiste de um reator saturado que forma o síncrono, peso de prumo e cobertura.

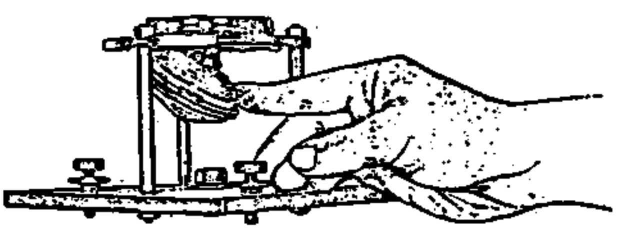


Figura 3-15 Elemento móvel pendular

O peso de prumo sob a base do elemento fornece ereção por gravidade.

Uma vez que o detector é sujeito à força de aceleração (durante o vôo), a saída é um valor médio e usado somente para uma informação relativamente a longo prazo.

O elemento sensitivo é suportado de maneira pendente das placas de montagem e fechado por cobertura em forma de concha cheia de líquido (geralmente óleo hidráulico).

As conexões elétricas são feitas através de um bloco de terminais de conectores.

A figura 3-16 mostra um diagrama das ligações às bobinas do Síncrono e a bobina L4 instalada no elemento móvel pendular, que fica escravizado pelo gravidade.

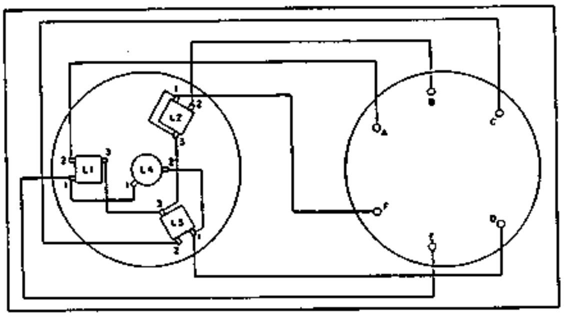

L1
L2
L3
L4
1
2
3
A
B
C
D
E
F

Figura 3-16 Ligações às bobinas

O compensador é responsável pela compensação de pequenas variações das linhas magnéticas, devido a fatores como: desequilíbrio na cabeça do pêndulo ou atrito nos eixos do pêndulo (causados por sujeira, ferrugem, discrepância no líquido de amortecimento, etc).

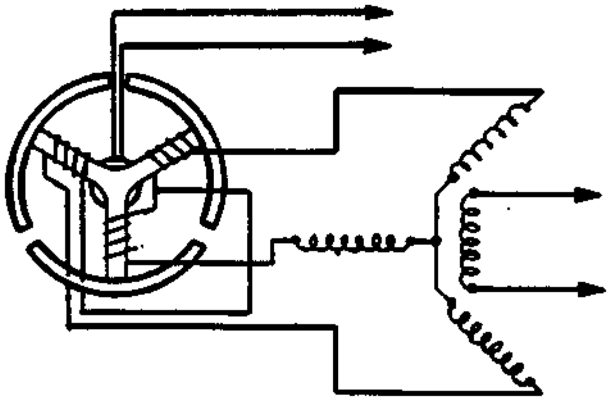


Figura 3-17 Compensador

O compensador é constituído de pares de ímãs que são movidos através dos parafusos de compensação N-S, E-O que ficam visíveis no compensador.

Na figura 3-18, o conjunto de compensação está ausente, mas vêem-se os orifícios por onde seria introduzida a chave para compensação (esta chave deve ser material amagnético).

Panes Prováveis com o Detector

a) Pequenas defasagens; causadas por interferências magnéticas externas, eixos do pêndulo com folga, desequilíbrio da cabeça de chumbo, sujeiras nos eixos do pêndulo ou líquido insuficiente no depósito.

b) Grandes defasagens (ou giro incessante); ruptura na bobina do Síncrono, falta completa de líquido no depósito ou eixo do pêndulo quebrado.

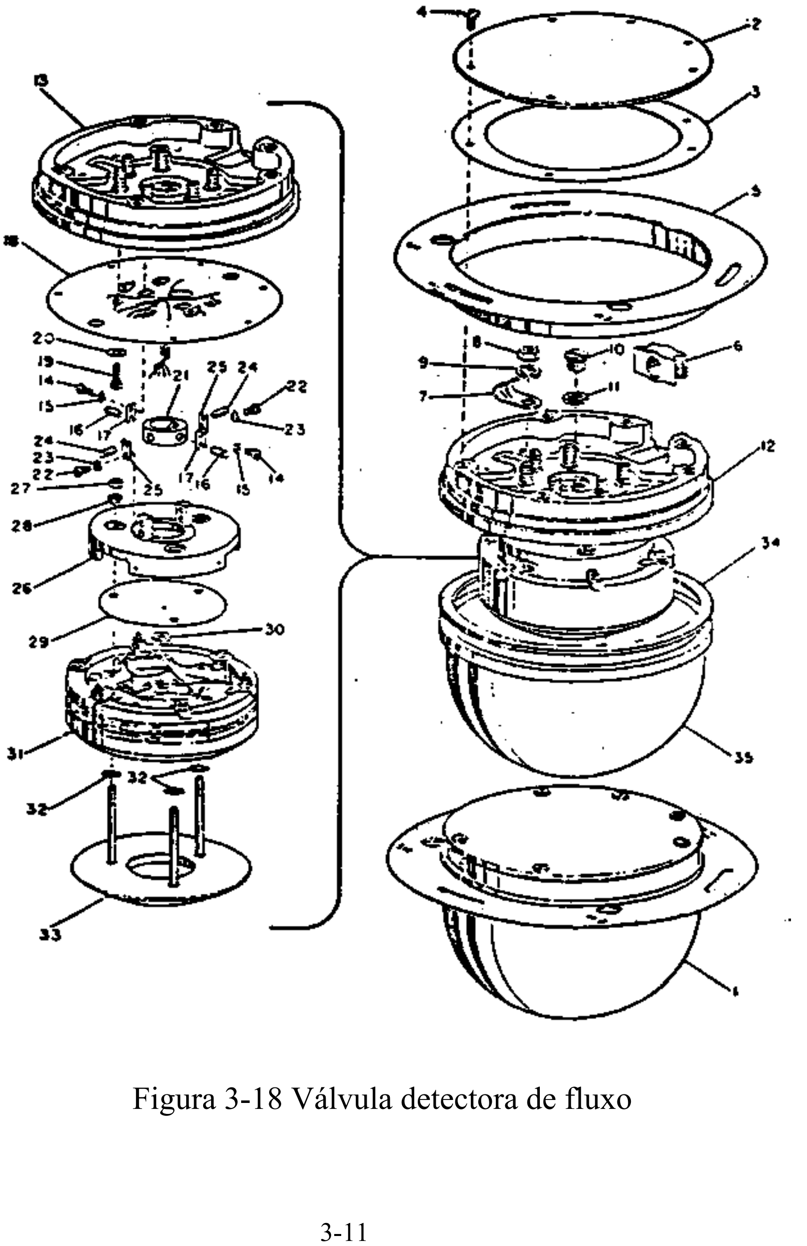


Figura 3-18 Válvula detectora de fluxo

c) Qualquer defasagem pode ocorrer se houver material magnético ou motores elétricos, nas imediações do detector. Razão pela qual o mesmo deve ser instalado em locais determinados pela engenharia da aeronave.

Reparos e Manutenção

a) Reparos em pista. Na pista não se pode fazer qualquer reparo no detector de fluxo. Tendo em vista a falta de meios e testadores. Pode-se, no entanto, fazer manutenção e inspeção externa como uma observação nas conexões e fios de cablagem, inspeção visual no estado de conservação do depósito de óleo quanto a rachaduras e vazamento – muito cuidado deve se ter caso tenha que transportar o detector até a seção, por causa do delicado sistema de pêndulo.

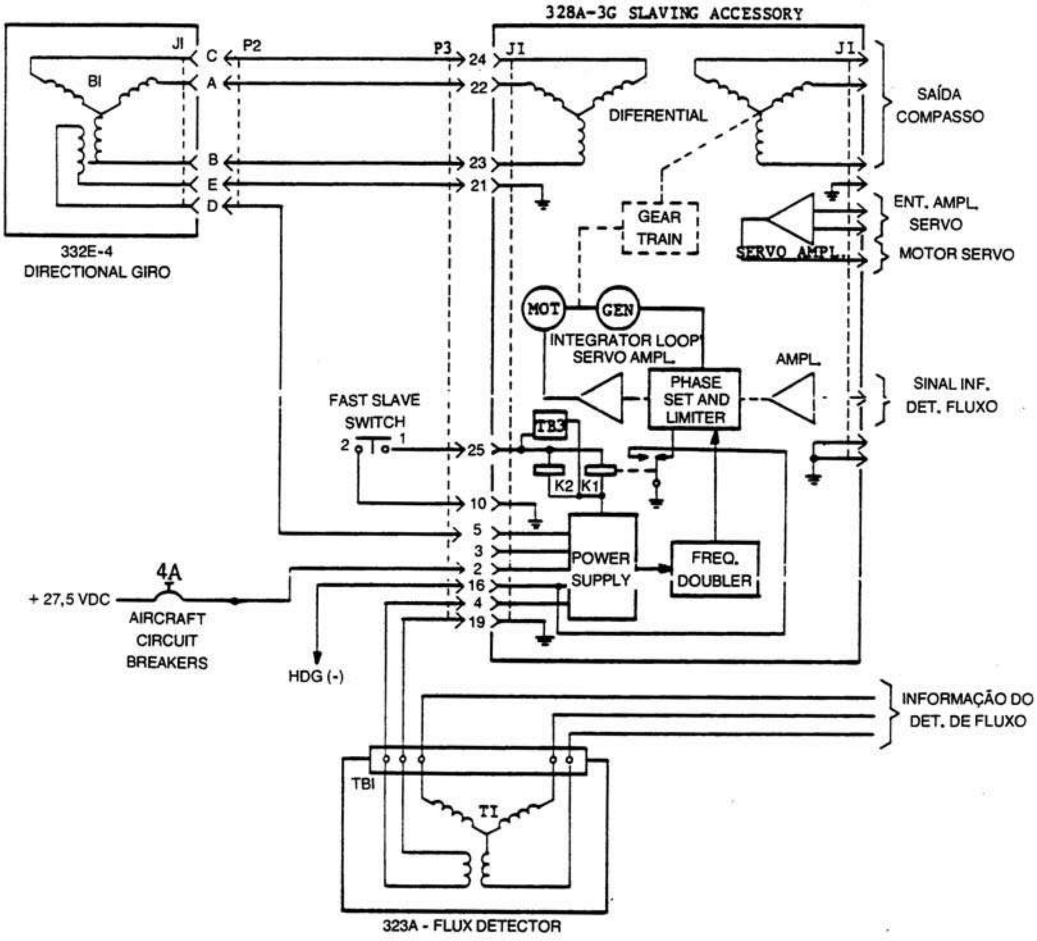
Unidade Acopladora (328A-3G)

"*Slaving Accessory*"

A unidade acopladora contém os circuitos eletrônicos e os dispositivos eletromecânicos para integrar as informações do detector de fluxo e as do giro direcional.

Possui também um amplificador servo para atuar o motor do indicador de curso (cartão compasso). A combinação dos sinais de erro do detector de fluxo e do giro direcional produzem uma saída giroestabilizada para o indicador de curso.

A fonte de força interna produz 26 VCA e 115 VCA 400 Hz para excitação (giro e detector) e alimentação do motor de giro 332E-4. O circuito de acoplamento rápido é automaticamente ativado quando aplicada energia ao sistema. Após um minuto é desativa, retornando à condição normal. A falta de energia por mais de um minuto coloca o sistema na operação de acoplamento rápido.



328A-3G SLAVING ACCESSORY
JI
C
A
B
E
D
P2
P3
BI
24
22
23
21
25
10
5
3
2
16
4
19
JI
JI
DIFERENTIAL
SAÍDA COMPASSO
ENT. AMPL. SERVO
MOTOR SERVO
GEAR TRAIN
SERVO AMPL.
332E-4
DIRECTIONAL GIRO
MOT
GEN
INTEGRATOR LOOP SERVO AMPL.
AMPL.
PHASE SET AND LIMITER
SINAL INF. DET. FLUXO
FAST SLAVE SWITCH
2
1
TB3
K2
K1
POWER SUPPLY
FREQ. DOUBLER
4A
+ 27,5 VDC
AIRCRAFT CIRCUIT BREAKERS
HDG (-)
INFORMAÇÃO DO DET. DE FLUXO
TBI
TI
323A - FLUX DETECTOR

Figura 3-20 Esquema elétrico da unidade de controle e acoplamento

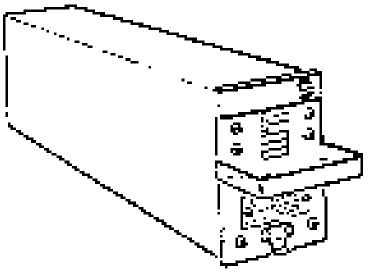


Figura 3-19 Unidade de controle e acoplamento

Os interruptores "ACOPL, RÁPIDO", localizados (um em cada posto) permitem o acoplamento manual rápido, quando requerido.

A sincronização rápida automática é aplicada por um minuto na razão de 300º por minuto e a sincronização normal, após 1 minuto, é feita na razão de 3º por minuto.

A sincronização manual é efetuada pelos interruptores do sistema PN-101, localizados na parte inferior de cada posto de pilotagem, para a posição "ACOPL.RÁPIDO'.

Nesta condição o circuito limitador é removido, permitindo um aumento na razão de correção, ou seja, uma rápida correção manual.

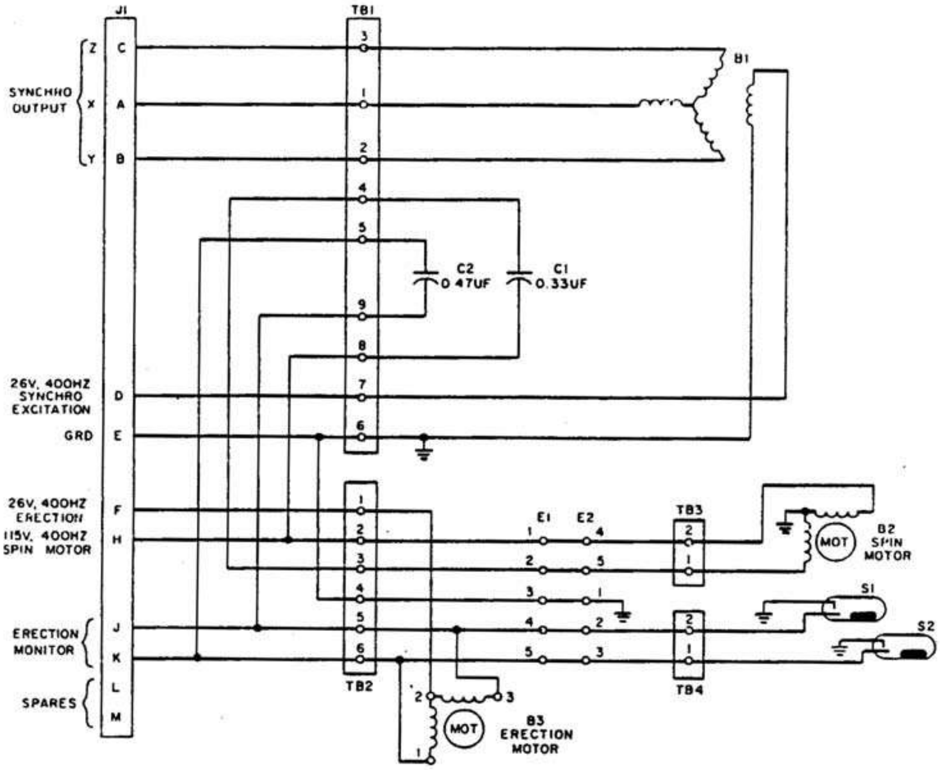
Unidade Acopladora – 328A-3G

Alimentação	27V CC 2,6 A
Temperatura	-55 a + 70º c
Altitude	-1.000 a + 40.000 pés

GIRO DIRECIONAL (332E-4)

O giro direcional 332E-4 fornece um sinal de saída direcional dinâmico. O sinal de saída é obtido por um transmissor síncrono o qual será acoplado ao "gimbal" do giro.

O rotor do giro é acionado eletricamente por 115 VCA 400 Hz. O "gimbal" é eregido pelo motor de torque, alimentado por 26 VCA.



J1
TB1
B1
SYNCHRO OUTPUT
Z
X
Y
C
A
B
3
1
2
4
5
9
8
7
6
C2 0.47UF
C1 0.33UF
26V. 400HZ SYNCHRO EXCITATION
D
GRD
E
26V. 400HZ ERECTION
F
115V. 400HZ SPIN MOTOR
H
ERECTION MONITOR
J
K
SPARES
L
M
TB2
E1
E2
TB3
TB4
MOT
B2 SPIN MOTOR
S1
S2
MOT
B3 ERECTION MOTOR

Alimentação	26 V CA 400 Hz, monofásico 115 V CA 400 Hz, monofásico
Temperatura	-55 a + 70º c
Altitude	- 1.000 a + 40.000 pés
Razão de desvio	12º/h em condições normais 30º/h sob condições extremas

Figura 3-21 Giro Direcional – 332E-4

Descrição

Tem a função de manter um rumo fixo estável e independente dos movimentos de uma aeronave.

Ele confirma indiretamente os sinais do detector de fluxo que orientam o indicador do curso.

Sua posição direcional acompanha a direção das linhas de força da terra, por meio de sinais do detector de fluxo e devido à própria rigidez giroscópica.

O giro direcional é operado com 115 volts e 26 volts, 400 Hz supridos pela unidade de acoplamento.

Retirando-se a capa protetora do mecanismo interno a qual é fixada através de parafusos de fenda, nota-se o anel de borracha teflonada muito resistente ao calor e que tem função de isolar o mecanismo. Ao se recolocar, o Teflon deverá ser impregnado com silicone para melhor aderência.

O mecanismo interno do giro é constituído de 2 (dois) anéis “gimbal”, e um rotor, (são todos intersustentados por rolamentos em eixos de precisão).

Na parte inferior do giro, encontram-se o alojamento do motor síncrono e parte do motor de torque, além de 2 (dois) capacitores para defasar as correntes para o enrolamento do rotor giroscópio e enrolamento do motor de torque.

O rotor giroscópico é de aço na periferia e deve ser balanceado sempre que faça recuperação no instrumento.

Dois protetores do estator são encaixados no rotor sob pressão. Sempre que haja superaquecimento no rotor por causa de imperfeições no mecanismo, acarretará folgas irreparáveis nos protetores que sendo de alumínio, deverão ser trocados.

Os rolamentos do rotor também serão substituídos por ocasião de recuperação da unidade de giro direcional. A fiação, em geral, é recoberta com teflon, para que resista melhor às altas temperaturas.

O conjunto de giro deve ser perfeitamente equilibrado; o que é conseguido, colocando-se o rotor bem centralizado e finamente equilibrado através do “sem-fim”.

Espaçadores são usados para se conseguir um ajuste perfeito, com folgas realizadas com o indicador de folgas, no conjunto de anéis “gimbal”.

Duas chaves de mercúrio se localizadas na parte inferior do anel interno, têm a função de “liga-desliga” do motor de torque.

No anel exterior, existe um aro de cobre que em conjunto com o motor de torque – através de indução deste faz a correção da deriva porventura existente durante o funcionamento. Este motor é alimentado por 26 V 400 Hz.

Um batente é usado para evitar giro próximo a 180º no anel que sustenta o rotor giroscópico.

Funcionamento

O giroscópio ao receber a corrente elétrica de 115 V.400 Hz proveniente do *SLAVING*, adquire um campo elétrico em seu estator, campo este que gira a uma velocidade constante.

O rotor de aço que envolve o estator vai aos poucos adquirindo velocidade, na tentativa de acompanhar a velocidade do campo. Por volta de 2 (dois) minutos depois de ligado, o rotor estará girando em mais ou menos 23.000 RPM.

Esta rotação dará ao rotor, a rigidez suficiente para operar em conjunto com os sinais provenientes do gerador de fluxo e enviar ao *SLAVING* qualquer sinal acarretado por mudanças de direção no curso.

O giroscópico sendo montado universalmente, pode girar com o anel interno em torno de qualquer eixo horizontal. Porém, a ação da chave de mercúrio localizada na parte inferior do anel “gimbal” interno aciona o motor de torque que manterá esse anel numa posição tal que o rotor estará sempre com o eixo na horizontal.

O conjunto “anel interno-rotor” estando pivotado no anel externo, permanecerá fixo, possibilitando ao conjunto total tomar qualquer posição com relação ao azimute.

Qualquer variação na posição do conjunto interno com relação à proa em que o giro direcional foi instalado, será eletricamente enviado ao *SLAVING* como sinal de síncrono.

O rotor do síncrono do giro direcional, instalado no mesmo eixo do anel gimbal externo, permanece fixo quando a aeronave muda de rumo, enquanto o estator deste síncrono envia a variação de sinal para o *SLAVING*.

Manutenção e Testes

Os giroscópios direcionais são desmontados em laboratório para reparação total. Na pista, eles só podem ser inspecionados superficialmente quanto a frenagem do plugue, parafusos soltos no suporte e mau funcionamento.

Depois de desmontado, todas as peças são inspecionadas e limpas com freon ou benzina – existem máquinas ultrassônicas próprias para limpezas mais profundas.

As peças danificadas são substituídas por outras de mesmo PN e as recuperáveis são trabalhadas de acordo com ordens técnicas específicas.

O rotor (considerado o "coração" da unidade) recebe tratamento especial quanto à manutenção e testes.

Mesmo que a causa da desmontagem seja "tempo de uso do equipamento", o rotor tem que ser balanceado, pois um rotor desbalanceado irá causar vibrações, ruídos indesejáveis, desgastes nos rolamentos e principalmente diminuirá consideravelmente a vida do conjunto giro.

O balanceamento só é executado depois de inspecionados as fiações, rolamentos, eixo e protetores.

Instalado, o rotor sofrerá ensaio de 72 horas a fim de amaciamento dos mancais. Neste período qualquer pane, se manifestará.

No final das 72 horas a velocidade do rotor deve ser confirmada em 23.000 RPM.

Ao desligar a energia para o rotor, o mesmo deverá girar por um tempo de no mínimo 3 minutos.

Se isso não acontecer, certamente o rotor será aquecido demasiadamente fazendo com que as folgas padrão tenham sido reduzidas, produzindo atrito demasiado nos rolamentos.

Sendo comprovado que o rotor está em condições, ele e o anel gimbal interno serão montados no anel gimbal externo, através dos rolamentos – esses rolamentos são menos precisos que aqueles do rotor, e podem ser usados novamente caso estejam em condições.

Espaçadores são utilizados para conseguir um ajuste perfeito com folgas confirmadas com o indicador de folgas do conjunto de anéis "gimbal".

Em seguida o mesmo é feito entre os anéis e a carcaça.

Uma inspeção é feita nas fiações de cobertura teflonada que geralmente não se danificam com o tempo. Também deve ser feita inspeção e teste nos motores síncronos e de torque, bem como na eficiência das chaves de mercúrio.

Finalmente depois de feita a montagem da cobertura, o giro direcional será testado em todas as posições possíveis de operação.

PRINCÍPIOS DO VOR

As estações do VOR fornecem orientação de navegação em rota. Estas estações operam na faixa de freqüência de 108:00 a 117:95 MHz e são auto-identificadas pela transmissão de um grupo de três letras em código Morse, ou em alguns casos por modulação de voz.

O conceito de operação VOR é baseado na geração de radiais, ou rumos magnéticos, por uma estação transmissora de terra e uma receptora a bordo do avião. A seção de instrumentação receptora do avião determina qual a radial de passagem através da posição do avião.

A radial é determinada pelo ângulo medido entre o norte magnético e o avião com relação a uma estação de VOR. O rumo magnético do avião para a estação é, consequentemente, a recíproca da radial.

A estação de VOR produz o padrão de irradiação das radiais pela transmissão de um sinal referência de 30 Hz e um sinal da fase variável de 30 Hz para comparação no receptor de bordo.

O sinal de referência de 30 Hz está contido na subportadora de freqüência modulada (FM) de 9960 Hz que varia de 9480 a 10440 Hz numa razão de 30 Hz.

O sinal de fase variável de 30 Hz é uma componente de amplitude moduladora (AM) do sinal RF da estação VOR. Este sinal é gerado pela rotação do padrão de transmissão, mecanicamente ou eletronicamente a 1800 revoluções por minuto (30 por segundo).

A transmissão da identificação da estação em código Morse ou em voz é também uma componente AM.

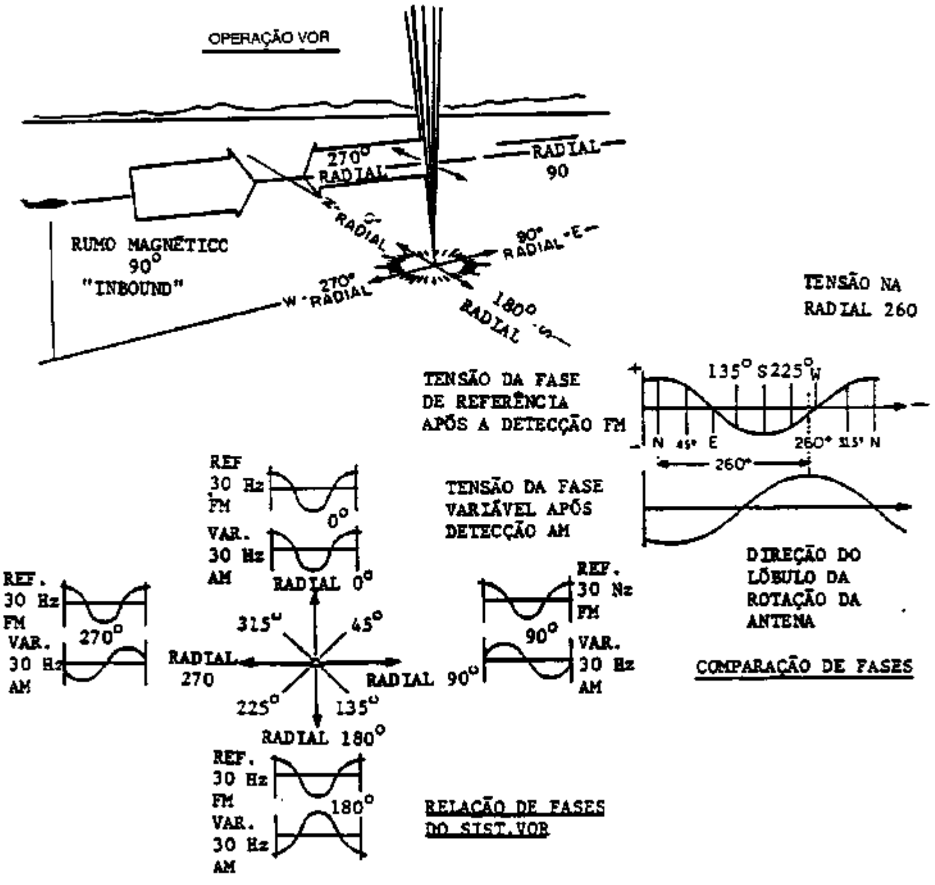

OPERAÇÃO VOR
270°
RADIAL
RADIAL
90
RUMO MAGNÉTICO
90°
"INBOUND"
RADIAL 0°
90° RADIAL E
270° W RADIAL
180° RADIAL S
TENSÃO NA
RADIAL 260
TENSÃO DA FASE
DE REFERÊNCIA
APÓS A DETECÇÃO FM
135° S 225° W
N 45° E 260° 315° N
260°
TENSÃO DA FASE
VARIÁVEL APÓS
DETECÇÃO AM
DIREÇÃO DO
LÓBULO DA
ROTAÇÃO DA
ANTENA
COMPARAÇÃO DE FASES
REF
30 Hz
FM
0°
VAR.
30 Hz
AM
RADIAL 0°
315°
45°
REF.
30 Hz
FM
270°
VAR.
30 Hz
AM
RADIAL
270
RADIAL 90°
225°
135°
REF.
30 Nz
FM
90°
VAR.
30 Hz
AM
RADIAL 180°
REF.
30 Hz
FM
180°
VAR.
30 Hz
AM
RELAÇÃO DE FASES
DO SIST. VOR

Figura 3-22 Princípios do VOR

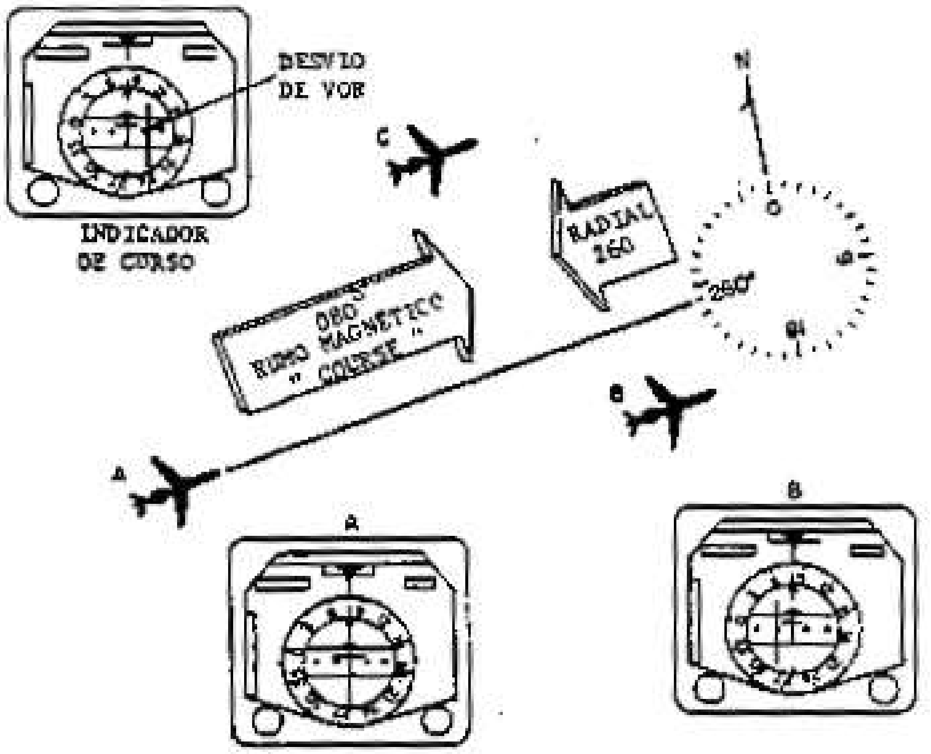

DESVIO
DE VOR
INDICADOR
DE CURSO
C
N
RADIAL
260
080°
RUMO MAGNÉTICO
"COURSE"
260°
B
A
A
B

Figura 3-23 Operação VOR

SISTEMA DE POUSO POR INSTRUMENTOS

Basicamente, o sistema pode ser dividido em três partes, muito embora, segundo a definição acima, bastariam apenas duas, correspondentes às informações vertical e horizontal.

O primeiro sub-sistema é denominado localizador de pista (*localizer*) e consiste de um transmissor localizado no eixo da pista e próximo à extremidade oposta àquela em que a aeronave pousa na pista. Veja a figura 3-24.

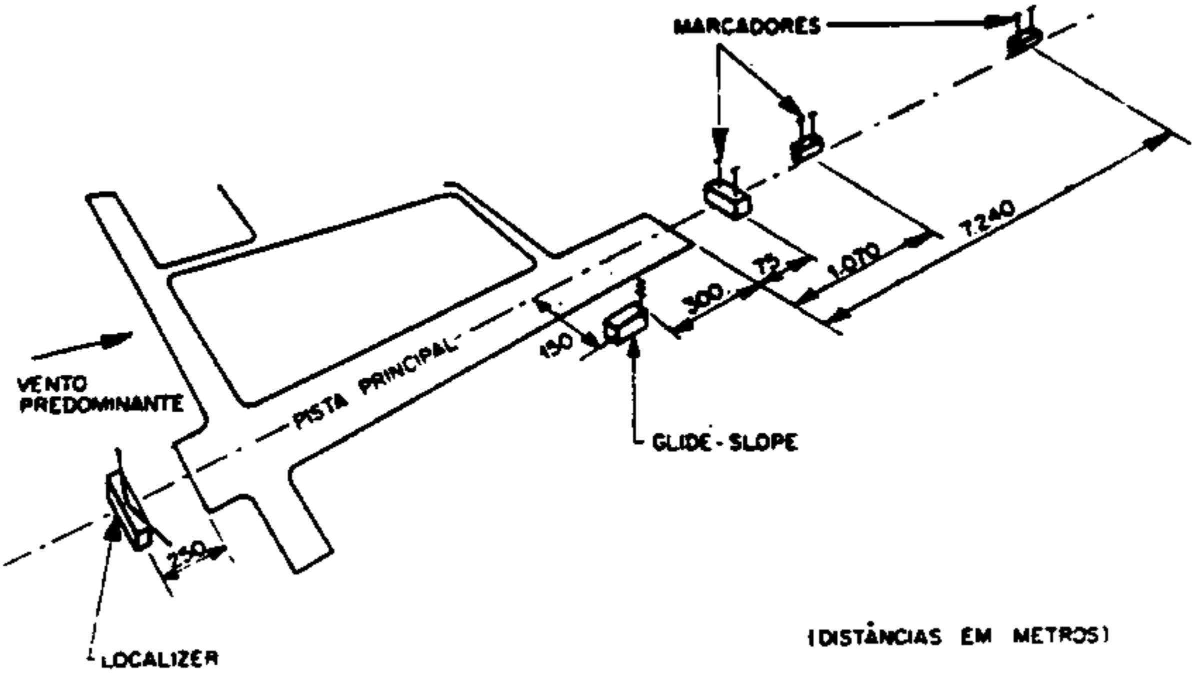

MARCADORES
7240
1070
75
300
150
250
GLIDE - SLOPE
PISTA PRINCIPAL
VENTO PREDOMINANTE
LOCALIZER
(DISTÂNCIAS EM METROS)

Figura 3-24 Componentes do Sistema de Pouso por Instrumentos

Uma portadora de VHF (faixa de 108,1 a 111, 95 MHz) modulada por um tom de 90 Hz e outro de 150Hz é transmitida por um conjunto de antenas dispostas de tal modo que toda a energia ficará concentrada num estreito feixe vertical perpendicular ao eixo da pista. Ver a figura 3-25.

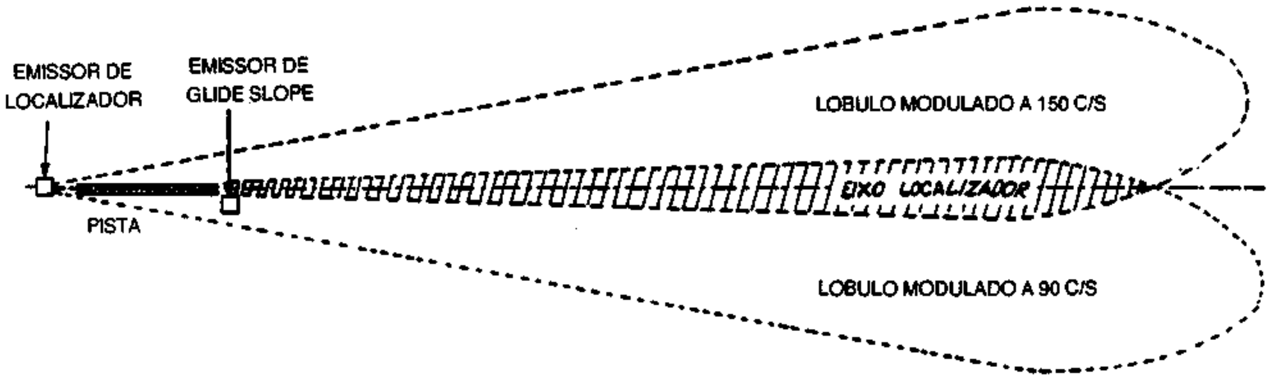

EMISSOR DE LOCALIZADOR
EMISSOR DE GLIDE SLOPE
PISTA
LOBULO MODULADO A 150 C/S
EIXO LOCALIZADOR
LOBULO MODULADO A 90 C/S

Figura 3-25 Sistema "Localizador de Pista"

Um receptor localizado à direita do centro do feixe receberá o sinal transmitido de tal modo que um dos tons áudio predomina sobre o outro e vice-versa.

Quando o receptor estiver alinhado com o centro do feixe os dois tons se anulam. Deste modo, o piloto está sendo continuamente informado sobre sua posição em relação ao eixo da pista.

Ver a figura 3-26.

O segundo sub-sistema é denominado ângulo de planeio (glide slope ou glide path), sendo constituído por um transmissor localizado ao lado da pista e próximo à cabeceira de aproximação (figura 3-27).

A portadora está situada numa faixa de UHF (329,15 a 335 MHz) e também é modulada por dois tons de áudio: 90 a 150 Hz.

O sistema de antenas é disposto de tal modo que a informação é transmitida segundo um estreito feixe que pode ser assemelhado a um plano inclinado, em relação à pista, de um ângulo igual àquele segundo o qual a aeronave deve descer. Na realidade, existem dois feixes, como veremos mais adiante, mas somente um deles nos interessa.

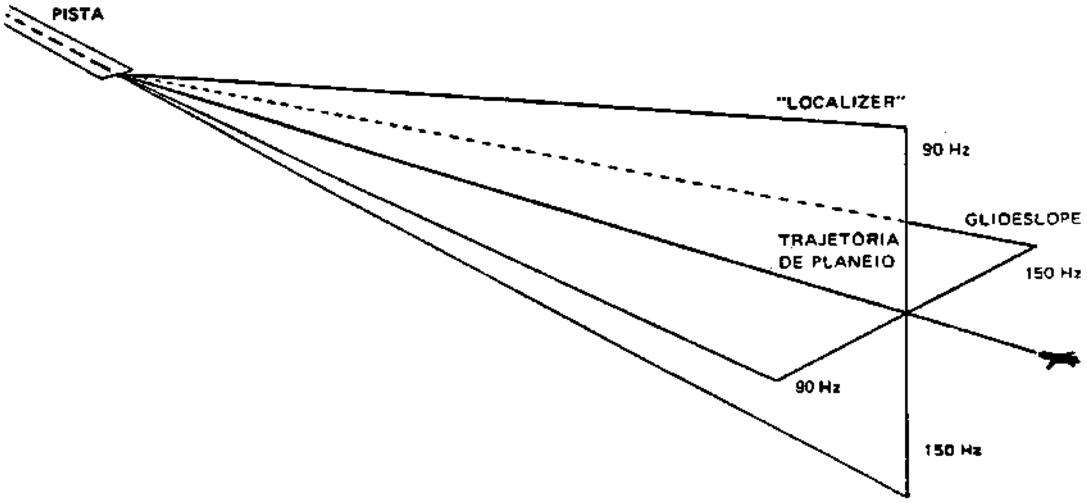

PISTA
"LOCALIZER"
90 Hz
GLIDESLOPE
TRAJETÓRIA DE PLANEIO
150 Hz
90 Hz
150 Hz

Figura 3-26 Trajetória de Planeio

Analogamente ao que foi explicado em relação ao *localizer*, um receptor situado abaixo do feixe receberá um dos sinais de áudio predominado sobre o outro vice-versa.

Se estiver exatamente no centro do feixe os dois tons se anulam. Assim sendo, o piloto pode verificar a qualquer instante sua posição em relação ao plano de descida. Tendo em vista o exposto anteriormente, podemos concluir que as informações fornecidas pelos dois subsistemas determinam a trajetória correta que a aeronave deve seguir: a reta de interseção dos dois planos, conforme está ilustrado na figura 3-27.

.

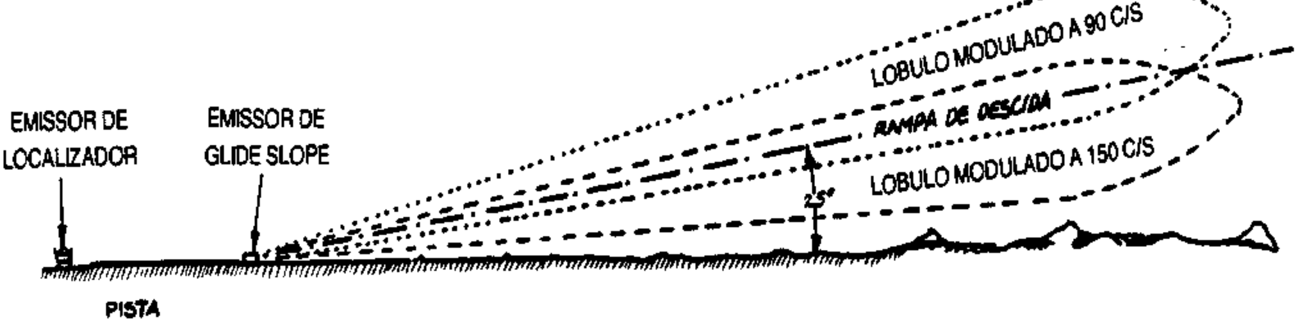

EMISSOR DE LOCALIZADOR
EMISSOR DE GLIDE SLOPE
LOBULO MODULADO A 90 C/S
RAMPA DE DESCIDA
LOBULO MODULADO A 150 C/S
2,5°
PISTA

Figura 3-27 Sistema "Ângulo de Planeio"

Finalmente, resta o terceiro sub-sistema, o de "marcadores de pista" (*Marker Beacons*), constituído de três transmissores alinhados com o eixo da pista, conforme ilustrado na figura 3-28. Os três marcadores, conhecidos como externo, médio e interno, operam numa única freqüência (75MHz), sendo que cada portadora é modulada por um tom de áudio diferente: 3.000 Hz para o interno, 1.300Hz para o médio e 400Hz para o externo.

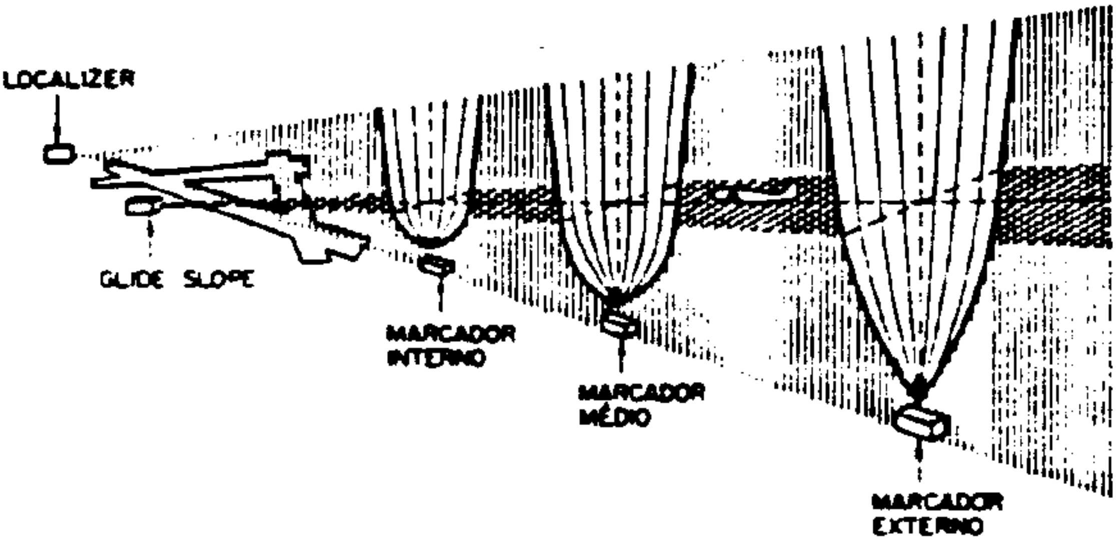

LOCALIZER
GLIDE SLOPE
MARCADOR INTERNO
MARCADOR MÉDIO
MARCADOR EXTERNO

Figura 3-28 Sistemas "Marcadores de Pista"

Os respectivos sistemas de antena são tais que a energia é concentrada segundo um feixe cônico de pequena abertura e, conseqüentemente, o receptor de bordo só acusa a presença do sinal quando a aeronave está bloqueando o respectivo marcador.

Como as distâncias entre os marcadores e a cabeceira de aproximação da pista são padronizadas internacionalmente, os marcadores indicam ao piloto o progresso da aeronave ao longo da perna final.

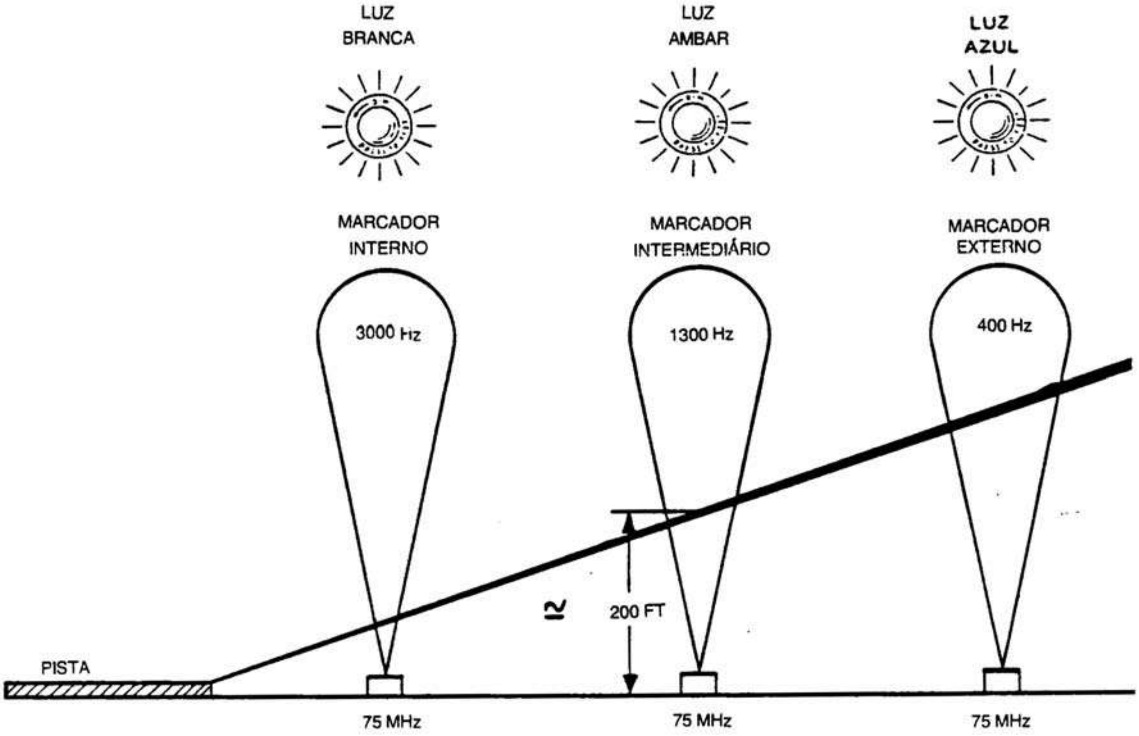

LUZ BRANCA
LUZ AMBAR
LUZ AZUL
MARCADOR INTERNO
MARCADOR INTERMEDIÁRIO
MARCADOR EXTERNO
3000 Hz
1300 Hz
400 Hz
≃
200 FT
PISTA
75 MHz
75 MHz
75 MHz

Figura 3-29 Indicadores dos Sistemas "Marcadores de Pista"

INDICADOR DE CURSO (HSI) – 331A-3G

Os indicadores de curso (*Horizontal Situation Indicator* - HSI), montados nos painéis principais (dianteiro e traseiro), mostram a posição geográfica do avião, de uma panorâmica plana em função do rumo escolhido, em relação a uma estação de VOR ou de ILS.

O indicador de curso fornece indicações do sistema de bússola giromagnética. Além de dar a proa magnética e uma visão plana da situação da navegação, o indicador de curso também fornece saída sincronizada para dois “RMI’s” (um em cada posto de pilotagem).

No indicador de curso a posição da seta indicadora de curso, combinada com os sinais do VIR31A, é analisada pelo mecanismo elétrico interno; disso resulta uma apresentação pictorial da posição do avião por meio da barra de desvio e do ponteiro “*TO-FROM*”.

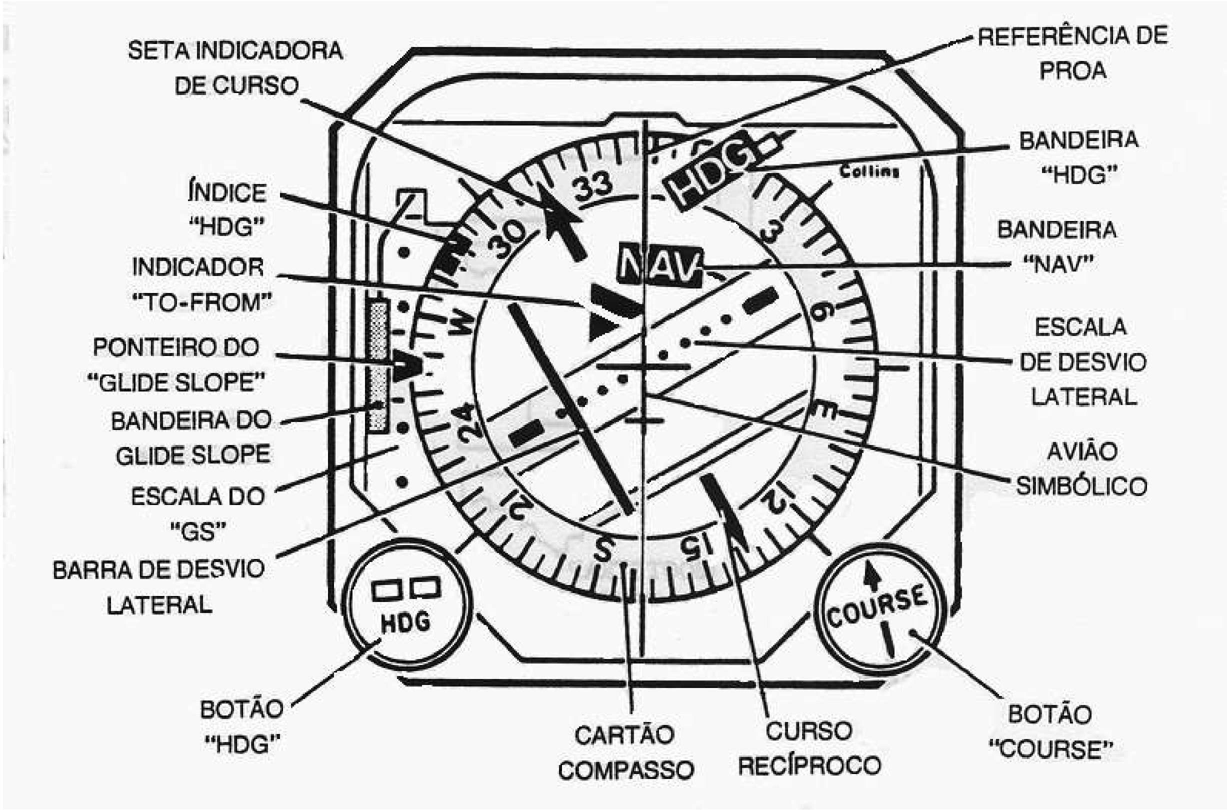

SETA INDICADORA DE CURSO
ÍNDICE "HDG"
INDICADOR "TO-FROM"
PONTEIRO DO "GLIDE SLOPE"
BANDEIRA DO GLIDE SLOPE
ESCALA DO "GS"
BARRA DE DESVIO LATERAL
BOTÃO "HDG"
CARTÃO COMPASSO
CURSO RECÍPROCO
BOTÃO "COURSE"
REFERÊNCIA DE PROA
BANDEIRA "HDG"
BANDEIRA "NAV"
ESCALA DE DESVIO LATERAL
AVIÃO SIMBÓLICO
HDG
NAV
Collins
33
30
W
24
21
S
15
12
E
6
3
COURSE

Figura 3-30 Indicador de Curso (HSI)

Características do indicador de curso 331A-3G

Controles........... Botão HDG com razão de 6:1
Botão COURSE com razão de 6:1
Alimentação............................26 V CA 400Hz
28 V CC para iluminação
Temperatura................................ -30 a + 50° C
Altitude............................. -1.000 a 40.000 pés

Entradas

Indicador *TO FROM*...….......200µA 200 ohms
Barra de desvio lateral...120µA p/0,5 polegadas; 1000 ohms
Ponteiro do GS..............150µA(deflexão total); 1000 ohms
Bandeira NAV........... desaparecimento 200µA ±20µA; 1000 ohms
Bandeira HDG.............desaparecimento 2 mA; 1000 ohms
Bandeira GS.......desaparecimento 200 ± 10µA e no batente fora da visão a 245 ± 12µA; 1000 ohms
Sensibilidade da bússola..... opera com sinal de erro mínimo de 1 grau

Descrição do indicador de curso (HSI)

O indicador de curso (HSI) 331A-3G apresenta uma vista plana pictorial do avião com relação ao norte magnético associado ao sistema VOR ou ao ILS.

O rumo e o curso selecionados são lidos sobre o cartão compasso. Um amplificador remoto, localizado na unidade acopladora, é usado para o acionamento do motor servo do cartão compasso.

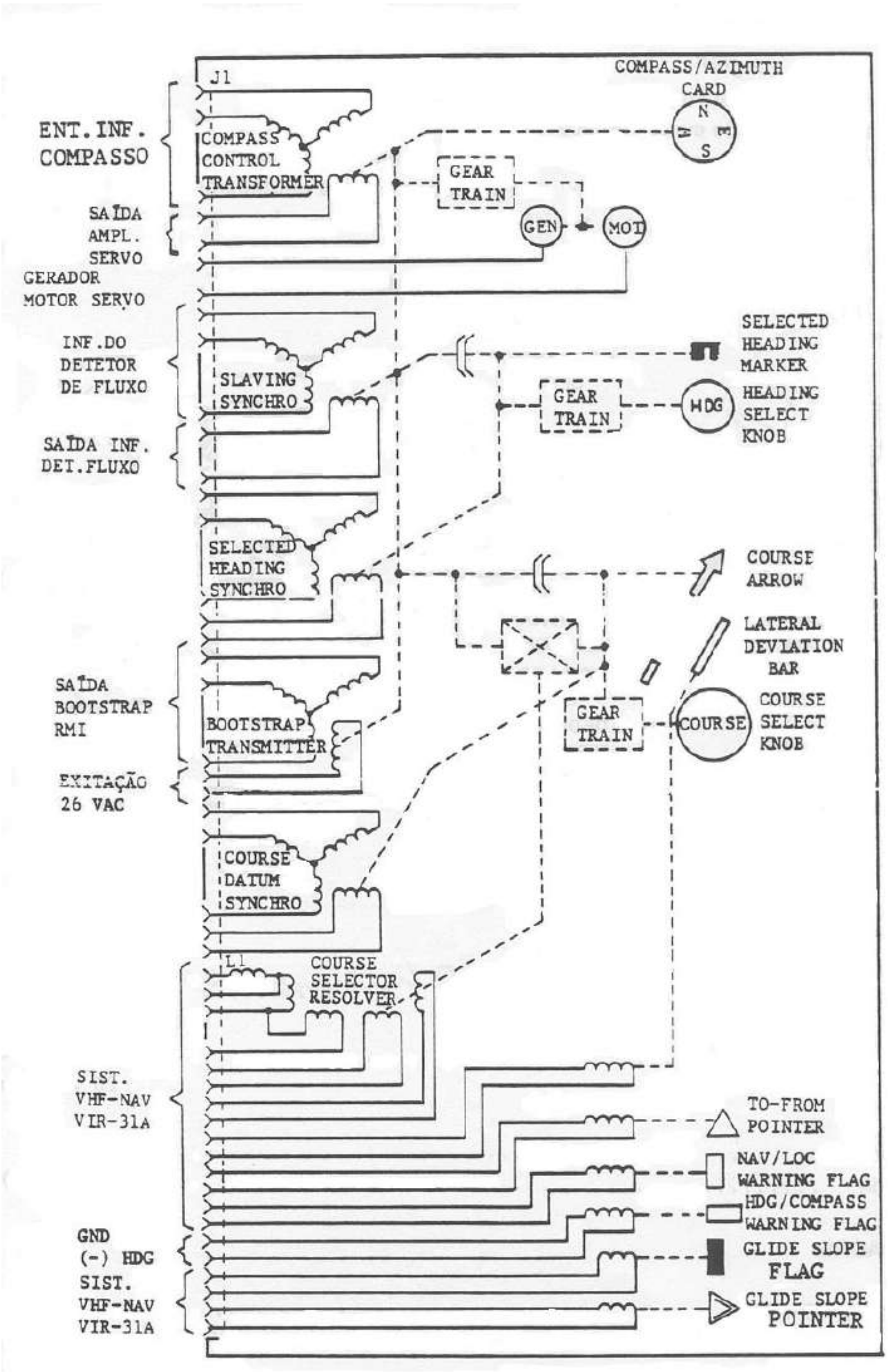
O indicador possui um síncrono para o *COURSE* e um para rumo magnético HDG, destinados aos sistemas de controle automático de vôo; um transformador *BOOTSTRAP* destinado a outros indicadores repetidores de rumo magnético; um transformador de controle do cartão compasso e de acoplamento HDG do giro direcional; e um síncrono escravo dos sinais do detector de fluxo.

Os indicadores e alarmes do HSI são: desvios de VOR e LOC, desvios de GS, indicador *TO FROM*, bandeiras de falha HDG, NAV e GS. O curso (VOR e LOC) e o rumo HDG são selecionados manualmente pelos botões COURSE e HDG na razão de 6:1.

A rotação CW do botão também causa a rotação CW da seta ou do índice HDG.

Referência de Proa

É uma linha fixada ao vidro do instrumento; serve para referenciar a proa magnética em que o avião se encontra.


J1
COMPASS/AZIMUTH CARD
N
E
S
W
ENT. INF. COMPASSO
COMPASS CONTROL TRANSFORMER
GEAR TRAIN
GEN
MOT
SAÍDA AMPL. SERVO
GERADOR MOTOR SERVO
INF. DO DETETOR DE FLUXO
SLAVING SYNCHRO
SELECTED HEADING MARKER
GEAR TRAIN
HDG
HEADING SELECT KNOB
SAÍDA INF. DET. FLUXO
SELECTED HEADING SYNCHRO
COURSE ARROW
LATERAL DEVIATION BAR
SAÍDA BOOTSTRAP RMI
BOOTSTRAP TRANSMITTER
GEAR TRAIN
COURSE
COURSE SELECT KNOB
EXITAÇÃO 26 VAC
COURSE DATUM SYNCHRO
L1
COURSE SELECTOR RESOLVER
SIST. VHF-NAV VIR-31A
TO-FROM POINTER
NAV/LOC WARNING FLAG
HDG/COMPASS WARNING FLAG
GND (-) HDG
GLIDE SLOPE FLAG
SIST. VHF-NAV VIR-31A
GLIDE SLOPE POINTER

3-31 Diagrama bloco do indicador de curso - HSI

Bandeira HDG

Quando presente no indicador, alerta que o rumo magnético apresentado no cartão compasso não é válido, em conseqüência da desenergização do sistema PN-101, falha interna ou em operação giro livre.

Cartão Compasso

Fornece a orientação magnética com referência ao norte magnético. É giroestabilizado pelo sistema de bússola magnética PN-101.

Índice "HDG"

Posicionado pelo botão HDG serve como referência de proa selecionada a ser voada.

Botão "HDG"

Permite girar, manualmente, o índice HDG na periferia do cartão compasso para o rumo magnético desejado.

O ajuste do índice HDG por este botão não afeta a indicação magnética no cartão compasso.

Avião Simbólico

É uma miniatura de avião fixada ao vidro do instrumento representando a posição do avião com relação às demais informações do indicador de curso.

Bandeira NAV

Aparece sempre que o sistema de VHF-NAV estiver desligado, em operação anormal ou recebendo um sinal inadequado do sistema de terra VOR ou LOC. Portanto a indicação da barra de desvio lateral não é válida.

Barra de Desvio Lateral

É a parte central da seta indicadora de curso. Tem a finalidade de mostrar os desvios da radial selecionada ou os desvios de uma trajetória do localizador do sistema ILS.

A posição do avião em relação à radial ou ao feixe de LOC é representada pela posição do avião simbólico (miniatura de avião) em relação à barra de desvio lateral.

Para manter-se na radial indicada pela seta indicadora de curso, a barra de desvio lateral deve ser mantida alinhada com a seta.

Seta Indicadora de Curso

É posicionada sobre o cartão compasso pelo botão COURSE, serve para indicar a radial ou curso de LOC publicado de um sistema ILS.

Botão "*Course*"

É usado para posicionar a seta indicadora de curso (radial de um VOR ou o curso de LOC) sobre o cartão compasso.

Curso Recíproco

É a extremidade traseira da seta indicadora de curso, portanto, também posicionada pelo botão COURSE, com o propósito de indicar sobre o cartão compasso o curso recíproco.

Indicador *"To-From"*

Indica se a estação de VOR sintonizada está à frente ou atrás do avião, ou seja, qual extremidade da seta indicadora de curso aponta para a estação VOR evitando-se, deste modo, a ambigüidade de informação do sistema VOR.

Ponteiro do *"Glide Slope"*

Quando o sistema VHF-NAV estiver sintonizado para ILS e recebendo sinais adequados do transmissor de *GLIDE SLOPE* indicará a posição do feixe de GS com relação à trajetória de planeio do avião.

Bandeira do *"Glide Slope"*

A bandeira do *Glide Slope* cobre o ponteiro e a escala do GS com o sistema VHF-NAV desenergizado, não sintonizado em ILS, com pane no receptor GS e quando recebendo sinais não confiáveis.

Escala de Desvio Lateral

A escala de desvio lateral tem a finalidade de apresentar a quantidade de graus em que o avião se encontra com relação a uma radial selecionada ou com relação ao curso do

LOCALIZER sintonizado. Operando em VOR, cada ponto na escala de desvio lateral, representa, aproximadamente, 2º. Em operação ILS, cada ponto indica 0,5º.

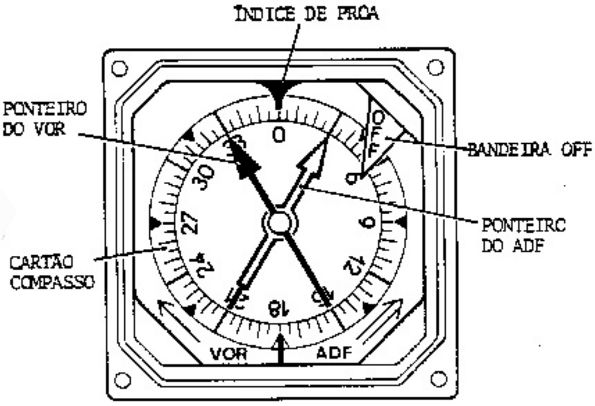
Escala do "GS"

A escala do *GLIDE SLOPE* indica a quantidade de graus em que a trajetória de planeio do avião está do centro do feixe do GS. Cada ponto na escala do GS vale, aproximadamente 0,35.

INDICADOR RADIOMAGNÉTICO - RMI (3115)

Cada painel principal (dianteiro e traseiro) possui um RMI com dois ponteiros; um de barra simples (fino) e um de barra dupla (grosso) e ainda um cartão compasso (limbo móvel da bússola giromagnética), giroestabilizado pelo sistema PN-101

Uma marca fixa na parte superior do instrumento, denominada índice de proa, e é referência da proa magnética do avião, quando lida sobre o cartão compasso.


ÍNDICE DE PROA
PONTEIRO DO VOR
BANDEIRA OFF
PONTEIRC DO ADF
CARTÃO COMPASSO
VOR
ADF

Indicador Radiomagnético - RMI

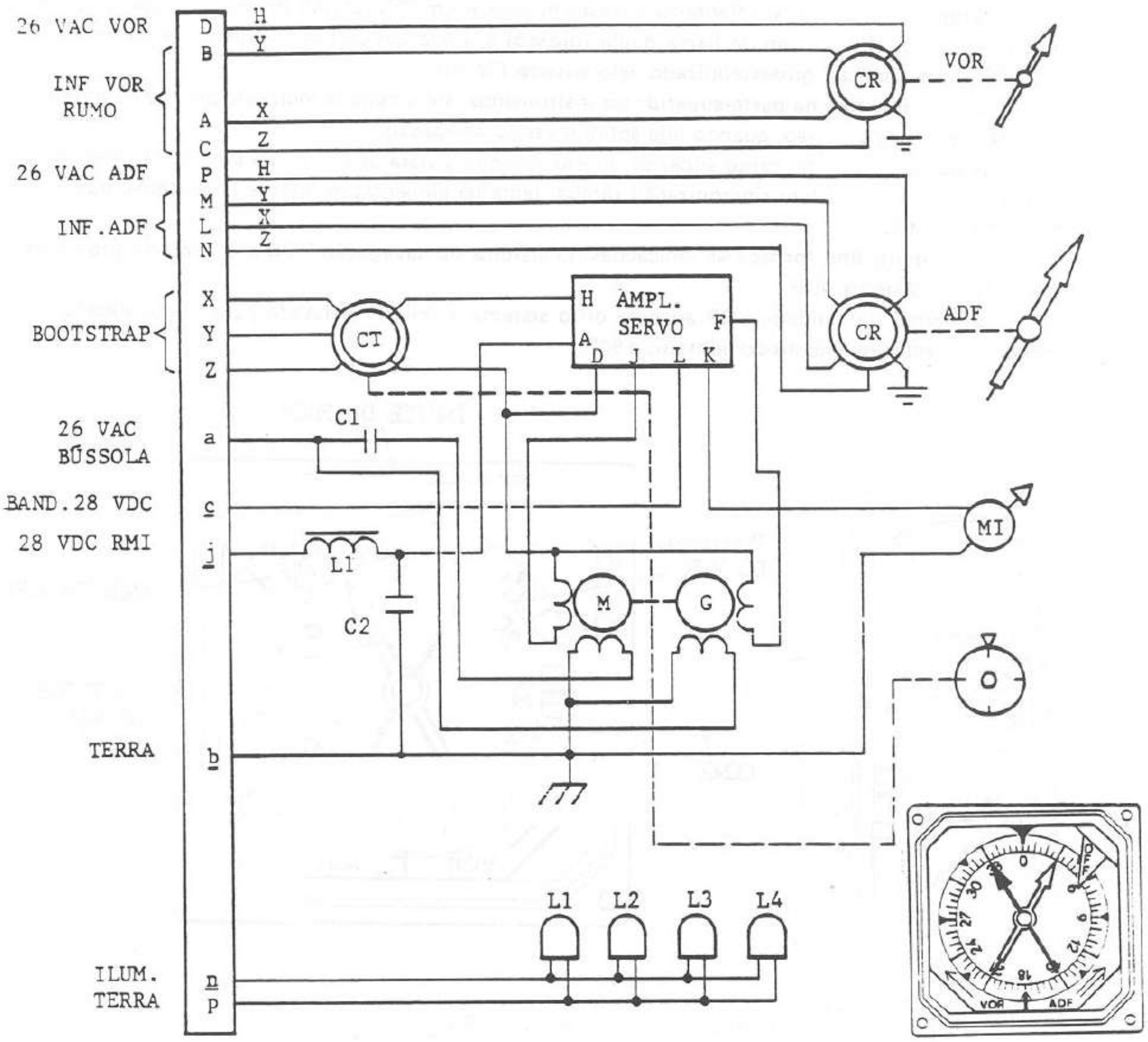

26 VAC VOR
INF VOR RUMO
26 VAC ADF
INF.ADF
BOOTSTRAP
26 VAC BÚSSOLA
BAND.28 VDC
28 VDC RMI
TERRA
ILUM.
TERRA
D
B
A
C
P
M
L
N
X
Y
Z
a
c
j
b
n
p
H
Y
X
Z
H
Y
X
Z
CR
VOR
CR
ADF
CT
H AMPL. SERVO
A
F
D J L K
C1
L1
C2
M
G
MI
L1
L2
L3
L4

Figura 3-33Diagrama do Indicador Radiomagnético

A bandeira OFF no canto superior direito, quando à vista, indica que a informação magnética do cartão não é válida (em sincronização rápida, falha na alimentação interna do sistema, operação em giro livre etc). O ponteiro fino fornece as indicações do sistema de navegação VOR e o ponteiro grosso informações do sistema ADF

Um sinal de validade VOR ausente ou o sistema VHF-NAV selecionado para a modalidade ILS provocará o estacionamento do ponteiro a 90º.

Características do Indicador RMI – 3115

Alimentação...............26 VCA 400Hz, 150 mA
27,5 VCC, 550 mA
Iluminação.......................................0 a 28 VCC
.
Temperatura........................ -30 a + 20.000 pés
Altitude............................-1000 a + 20.000 pés
Ponteiro ADF................ sinal síncrono trifásico
excitação 26 VCA, 400Hz
Ponteiro VOR............ sinal de seno/coseno onda
quadrada
Entrada do Cartão Compasso ......síncrono X,Y
Bandeira OFF ....27 VCC

Amplificador Servo – 341C-1

O 341C-1 COLLINS é um amplificador servo transistorizado, tendo a função de amplificar a tensão de erro do transformador de controle do cartão compasso, a um nível suficiente, para o motor do cartão compasso do HSI do posto traseiro.

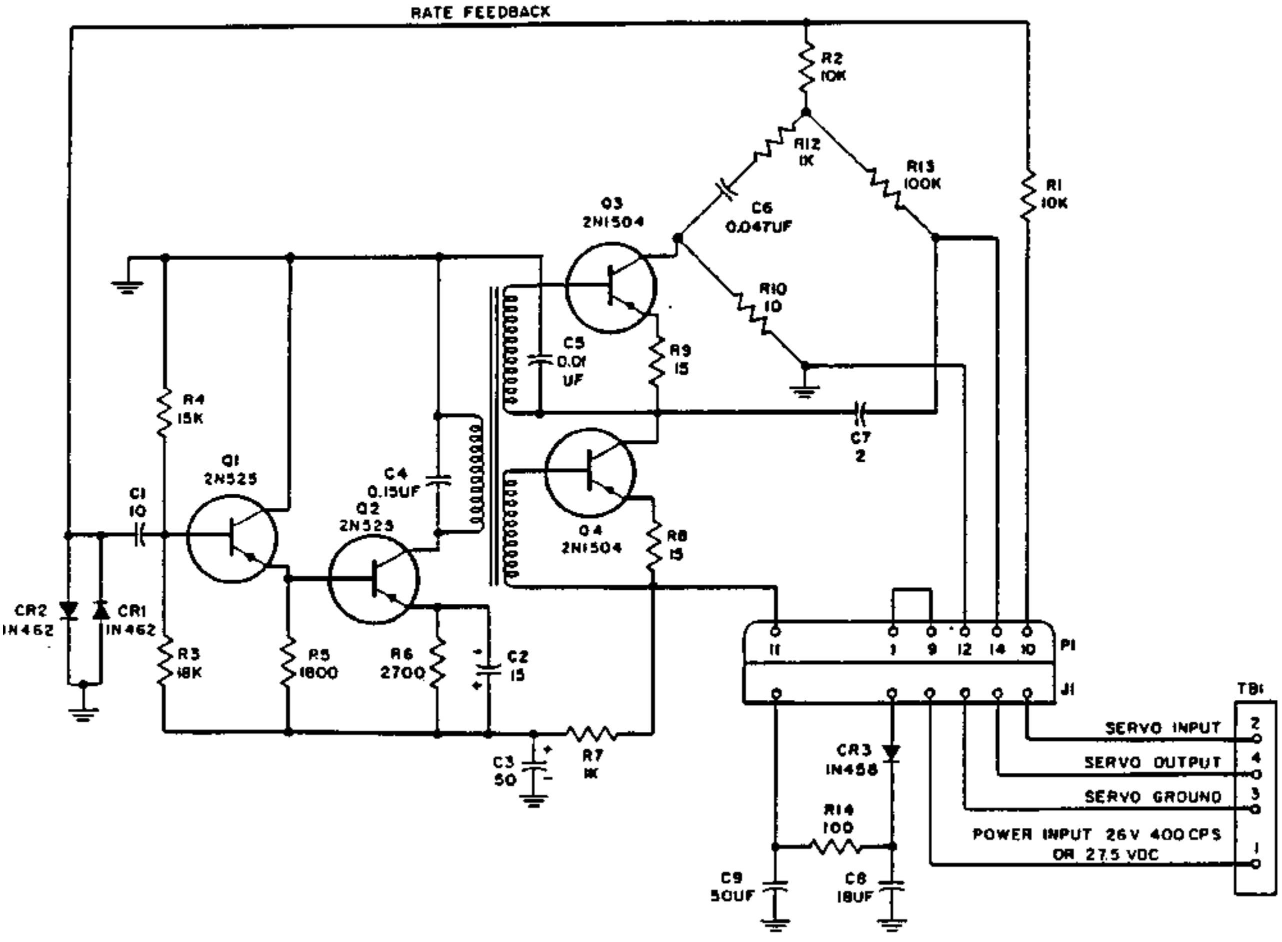

RATE FEEDBACK
R2 10K
R12 1K
R13 100K
R1 10K
C6 0.047UF
Q3 2N1504
R10 10
C5 0.01 UF
R9 15
R4 15K
Q1 2N525
C4 0.15UF
C1 10
Q2 2N525
C7 2
Q4 2N1504
R8 15
CR2 1N462
CR1 1N462
R3 18K
R5 1800
R6 2700
C2 15
11 1 9 12 14 10
P1
J1
TB1
C3 50
R7 1K
CR3 1N458
R14 100
C9 50UF
C8 18UF
SERVO INPUT 2
SERVO OUTPUT 4
SERVO GROUND 3
POWER INPUT 26V 400CPS OR 27.5 VDC 1

Figura 3-34 Diagrama do Amplificador Servo – 341C-1

Alimentação	28 VDC
Temperatura	-40 a + 55º C
Altitude	30.000 pés

Adaptador de Bandeira (AE 10003-001)

O adaptador de bandeira AE 10003-001 adapta a saída de alarme HDG da unidade acopladora 328A-3G para dois indicadores de curso (HSI) 331A –3G e dois indicadores RMI 311

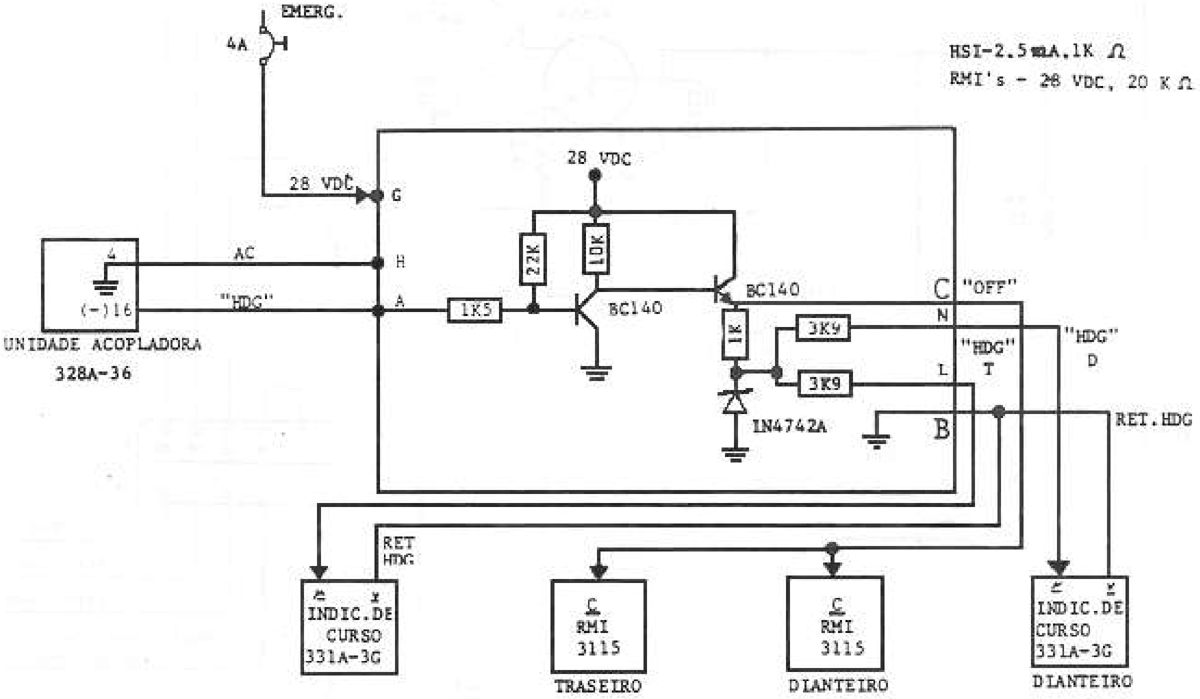

EMERG.
4A
HSI-2.5mA.1K Ω
RMI's - 28 VDC, 20 K Ω
28 VDC
28 VDC
G
H
A
AC
"HDG"
4
(-)16
UNIDADE ACOPLADORA
328A-36
1K5
22K
10K
BC140
BC140
1K
3K9
3K9
1N4742A
C
N
L
B
"OFF"
"HDG"
T
"HDG"
D
RET.HDG
RET
HDG
INDIC.DE
CURSO
331A-3G
RMI
3115
TRASEIRO
RMI
3115
DIANTEIRO
INDIC.DE
CURSO
331A-3G
DIANTEIRO

Figura 3-35 Diagrama do adaptador de bandeira

Interruptores de Sincronismo Manual

A sincronização lenta do limbo de bússola será permanente, enquanto o avião for operado normalmente.

Poderá, no entanto, haver precessão do giro, o que ocasionará erros na indicação.

Este erro pode ser corrigido instantaneamente, por meio do sistema de acoplamento rápido, calcando-se o botão de ACOPLAMENTO RÁPIDO.

O sistema de acoplamento rápido é um conjunto de 2 interruptores. O interruptor esquerdo (GIRO DIREC) tem 3 posições.

Na posição ACOPL (central), o giroscópio fica sincronizado pela válvula de fluxo ao campo magnético do local; na posição LIVRE (para cima) o sistema é operado como giro direcional livre, devendo o piloto fazer as correções usuais; na posição ACOPL RÁPIDO (para baixo) efetua-se o acoplamento rápido para corrigir a precessão do giro, ocasionada por manobras anormais da aeronave ou para sincronização rápida do sistema, após operação na posição LIVRE. O interruptor direito (SINCR MANUAL) é utilizado quando o interruptor esquerdo (GIRO DIREC) estiver na posição LIVRE e possui 3 posições.

Na posição HORÁRIO (para cima), o cartão de bússola (limbo) gira no sentido horário e na posição ANTI-HOR (para baixo), o cartão de bússola (limbo) gira no sentido anti-horário.

Estas duas posições são momentâneas e, cessada a atuação sobre o interruptor, este retorna à terceira posição (central).

Procedimentos Operacionais

Quando o sistema de bússola giromagnética PN-101 for energizado, no indicador de curso 331^{A}-3G, a bandeira HDG desaparecerá após um minuto. Se a bandeira HDG aparecer, as indicações do cartão compasso devem ser consideradas inválidas e a energia do sistema deve ser removida. A barra de desvio lateral, o ponteiro GS e o indicador TO FROM continuam fornecendo sua informações.

Em condições normais de vôo a indicação do rumo magnético e os erros do giro direcional são corrigidos na razão de 3º por minuto.

à terceira posição (central).

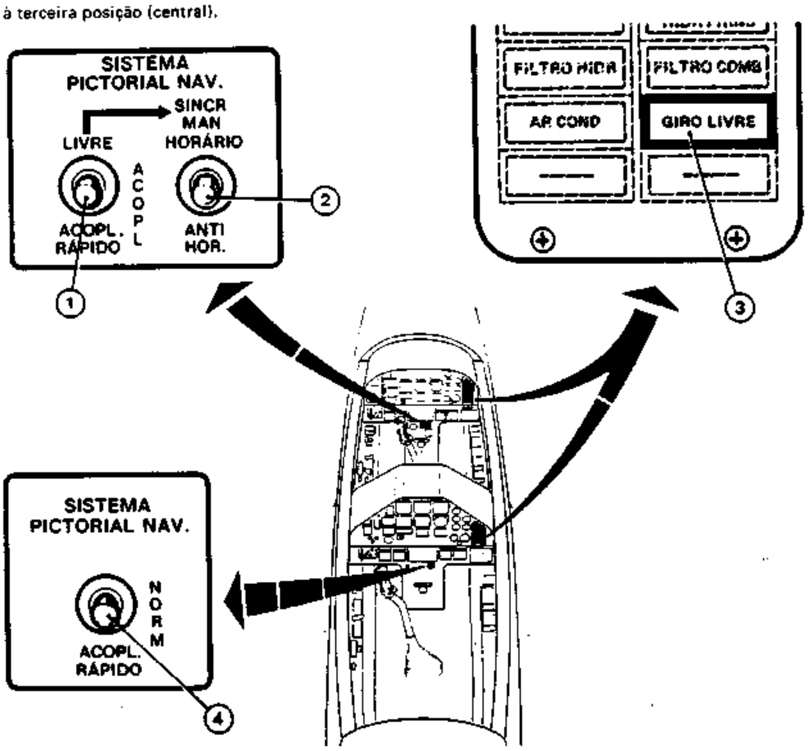

SISTEMA PICTORIAL NAV.
SINCR MAN
LIVRE
HORÁRIO
ACOPL
ACOPL. RÁPIDO
ANTI HOR.
①
②
FILTRO HIDR
FILTRO COMB
AR COND
GIRO LIVRE
③
SISTEMA PICTORIAL NAV.
NORM
ACOPL. RÁPIDO
④

Figura 3-36 Interruptores de sincronismo

Para o acoplamento manual rápido o interruptor deve ser mantido na posição ACOPL. RÁPIDO, neste caso o cartão gira na razão de 300º por minuto. Se a bandeira NAV aparecer, o sistema VHF NAV estará desligado, com funcionamento anormal, sintonia imprópria, ou ainda recebendo um sinal não confiável.

No entanto o funcionamento do cartão compasso fornecendo normalmente o rumo magnético do avião.

Se a bandeira do "*glide slope*" aparecer durante uma operação ILS, o sinal recebido não será confiável ou o sistema de bordo não estará operando normalmente, entretanto as partes referentes ao LOC e ao HDG não serão afetadas.

Compensação do sistema PN-101

Informações Gerais

A compensação deve ser feita na rosa dos ventos ou com uma bússola padrão com visor, numa área livre de interferências magnéticas. A fonte não deverá ficar próxima às pontas das asas do avião. Os três parafusos de fixação do detector de fluxo deverão estar apertados; o dianteiro em zero graus permite ajuste de até 10º para cada lado.

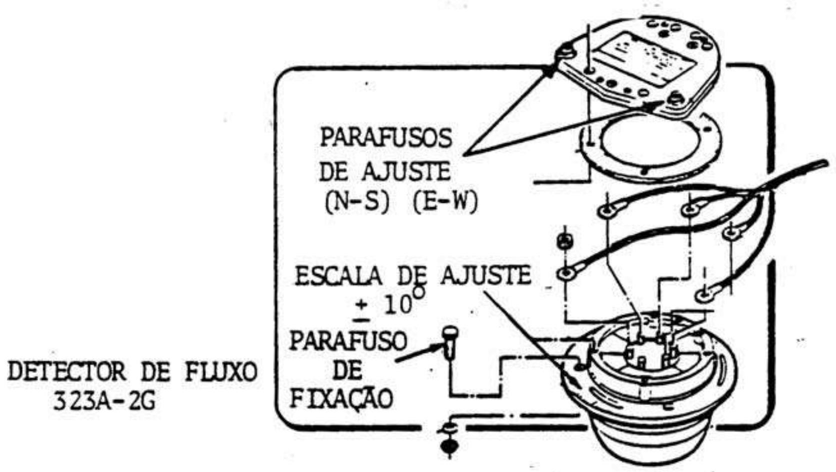

PARAFUSOS DE AJUSTE (N-S) (E-W)
ESCALA DE AJUSTE ± 10°
PARAFUSO DE FIXAÇÃO
DETECTOR DE FLUXO 323A-2G

Figura 3-37 Detector de fluxo

Anote os rumos magnéticos dados pelos cartões do HSI e do RMI com a proa do avião em 0º, 90º, 180º e 270º observando o desaparecimento da bandeira HDG, no HSI e o tempo de espera de um minuto.

A primeira compensação deverá ser feita nos três parafusos de fixação do detector de fluxo, de modo que a diferença fique o mais próximo possível de zero. O coeficiente para esta correção deverá ser obtido pelo cálculo:

$$\frac{(N) + (E) + (S) + (N)}{4}$$

Para a segunda compensação, o avião deverá ser girado novamente para 0º, 90º, 180º e 270º, anotar as diferenças algébricas em cada um dos rumos e ajustar o parafuso N-S (proa NORTE) e E-W (proa ESTE) no detector de fluxo. Após a compensação gire o avião de 30 em 30º e anote os erros existentes no cartão de correção correspondente.

CAPÍTULO 4

INSTRUMENTOS DO MOTOR

INDICADOR DE TORQUE

O sistema de indicação de torque pode ser elétrico ou eletrônico (esta classificação é puramente didática).

Abordar-se-ão aqui somente estes dois tipos (os mais usais) apesar de existirem vários outros.

4 Elétrico – Descrição Geral

O sistema de indicação de torque do motor, é constituído de um torquímetro hidro-mecânico, integral à caixa de redução do motor, que fornece a um transmissor, sob a forma de pressão de óleo, a indicação precisa do torque produzido pela turbina de potência. O transmissor de torque converte o valor da pressão em sinais elétricos que, por sua vez, são transmitidos ao indicador. O indicador é convenientemente graduado de modo a apresentar a informação recebida diretamente em unidades de torque (lb.ft).

5 Torquímetro

O mecanismo do torquímetro consiste de um cilindro e de um pistão, que delimitam um espaço denominado câmara de torquímetro e de uma válvula de êmbolo e respectiva mola. Este conjunto encontra-se integralmente incorporado à caixa de redução do motor, sendo acionado pela engrenagem anular do primeiro estágio de redução. A engrenagem anular é provida, em sua superfície exterior, de dentes de traçado helicoidal, engrenados em dentado semelhante, usinado na parte interna da caixa de redução. Desse modo, qualquer tendência da engrenagem anular, em girar, resulta em um deslocamento axial da mesma.

Este movimento axial é transmitido ao pistão, que se encontra encostado à face da engrenagem que por sua vez, atua a válvula do conjunto contra a ação da sua mola.

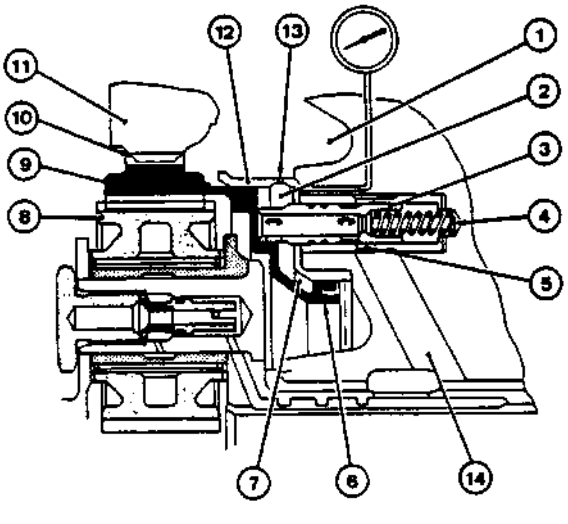
O deslocamento do êmbolo da válvula provoca a abertura de um orifício calibrado, que permite a entrada de um fluxo de óleo pressurizado na câmara do torquímetro.

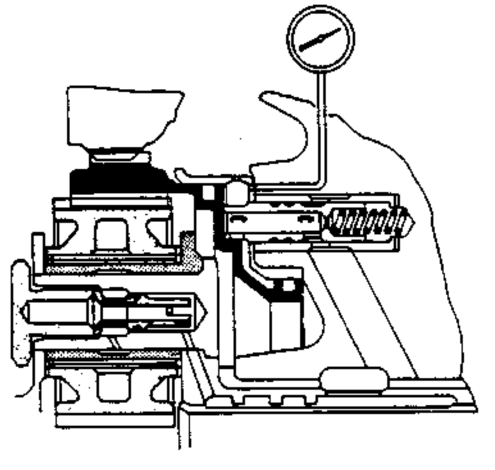
O movimento do êmbolo da válvula é interrompido quando a pressão de óleo da câmara do torquímetro equilibra o torque que está sendo absorvido pela engrenagem anular.

Qualquer alteração na potência do motor provocará um desequilíbrio do sistema e fará com que o ciclo seja novamente iniciado, até que o equilíbrio seja novamente restabelecido. O bloqueio hidráulico do sistema é evitado por meio da sangria de uma pequena quantidade de óleo, da câmara do torquímetro, para o interior da caixa de redução, através de um orifício existente na parte superior do cilindro.

Como a pressão externa e a pressão existente no interior da caixa de redução podem diferir a afetar a pressão total exercida sobre o pistão do torquímetro, a pressão interna é também medida.

A diferença entre a pressão do torquímetro e a pressão da caixa de redução, indica exatamente o valor do torque produzido.





1. Óleo sob pressão na caixa de redução
2. Óleo sob pressão na câmara do torquímetro
3. Pistão da válvula
4. Mola
5. Orifício dosador
6. Pistão do torquímetro
7. Câmara do torquímetro
8. Engrenagem planetária do 1º estágio de redução
9. Engrenagem anular do 1º estágio de redução
10. Dentes helicoidais
11. Carcaça da caixa de redução
12. Cilindro do torquímetro
13. Orifício de sangria
14. Óleo sob pressão do sistema lubrificador do motor

Figura 4-1 Mecanismo do Torquímetro

Estas duas pressões são dirigidas, através de passagens internas, para duas tomadas localizadas na carcaça dianteira da caixa de redução, de onde são feitas as ligações para o transmissor de torque.

Transmissor de Torque

O transmissor é uma unidade sensora selada, do tipo relutância variável, provida de uma tomada para a linha de pressão proveniente da câmara do torquímetro e de um receptáculo para o conector da cablagem elétrica que o supre com 26 VCA 400 Hz e o liga aos indicadores. A pressão interna da caixa de redução é recebida através do adaptador ao qual se acha acoplado.

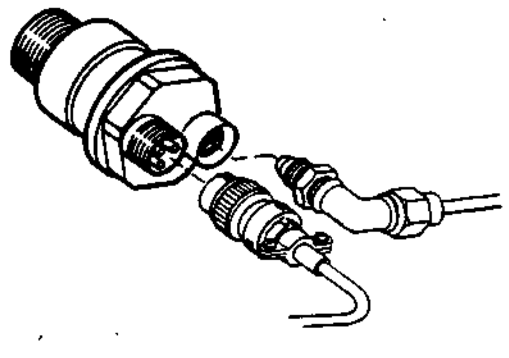


Fig. 4-2 Transmissor de torque

O transmissor incorpora um diafragma, que move uma armadura magnética através de dois enrolamentos estacionários, sempre que as pressões aplicadas ao transmissor variam.

A diferença entre estas pressões, proporcional ao torque do motor, atua sobre o diafragma, alterando o valor da relutância relativa dos enrolamentos do transmissor e produzindo um sinal de tensão correspondente àquele diferencial, que é transmitido ao indicador.

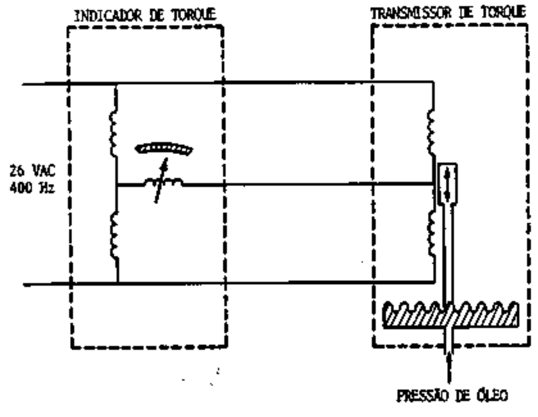


Figura 4-3 Circuito elétrico de indicação de torque

O indicador é uma unidade selada, provida de dois enrolamentos fixos, com tensão constante (26 VCA/400 Hz), que formam, juntamente com os enrolamentos do transmissor, uma ponte de corrente alternada (CA), e de um enrolamento móvel, usado como galvanômetro, que recebe o sinal (tensão) proveniente do transmissor e desloca o ponteiro do indicador proporcionalmente ao sinal recebido.

O mostrador do instrumento apresenta uma escala periférica, graduada em lb.ft

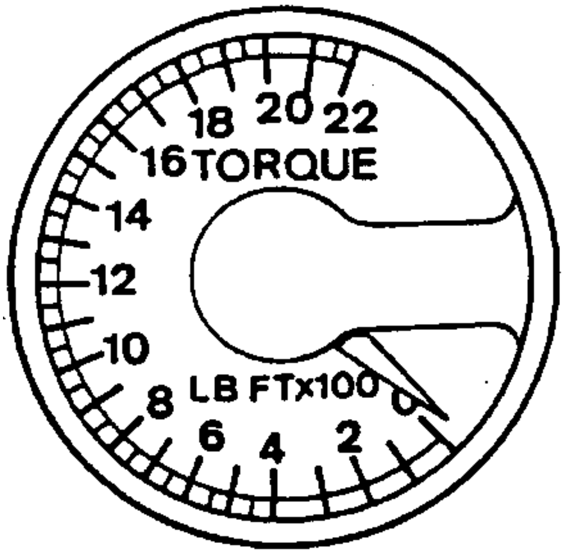

18
20
22
16
TORQUE
14
12
10
8
LB FTx100
0
6
4
2

Figura 4-4 Indicador de torque do motor

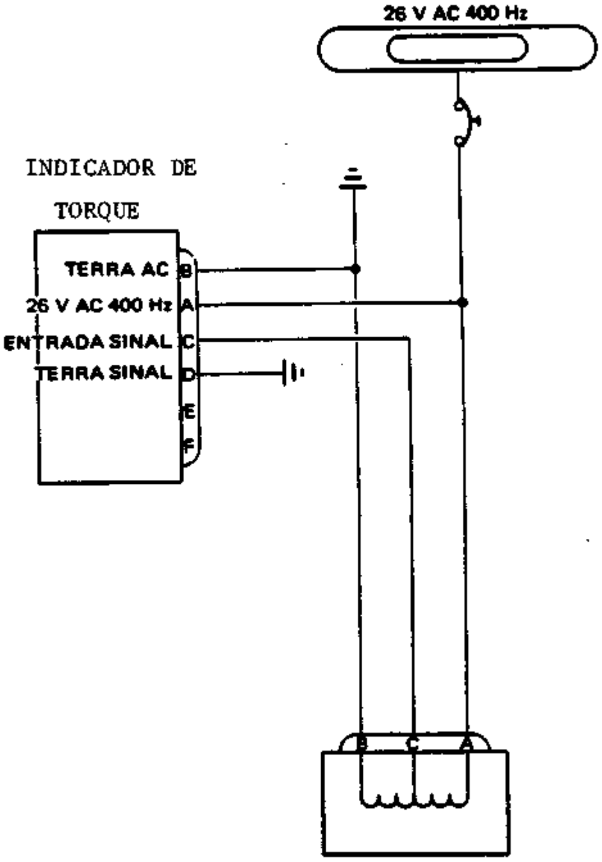

26 V AC 400 Hz
INDICADOR DE TORQUE
TERRA AC
26 V AC 400 Hz
ENTRADA SINAL
TERRA SINAL
B
A
C
D
E
F
B C A
TRANSMISSOR DE TORQUE

Figura 4-5 Diagrama esquemático do sistema de indicação de torque

Eletrônico – Descrição Geral

A medição do torque baseia-se no princípio da diferença de fase dos sinais gerados pelos anéis dentados do torquímetro. Os sinais (de diferença de fase e de temperatura) captados pelo sensor de torque são processados na SCU e transformados em sinal de tensão. Este sinal, que é proporcional ao torque desenvolvido pelo motor, é enviado ao indicador de torque.

A Unidade Condicionadora de Sinais (SCU) possui, em sua parte inferior, um conector de caracterização, usado para sua calibragem durante testes de fabricação do motor.

Esta calibração serve para ajustar o sinal de torque a um valor nominal, compensando as diferenças de fabricação e composição de material com que é feito o eixo de torque. Essa calibração não deve ser alterada durante procedimentos de manutenção da aeronave.

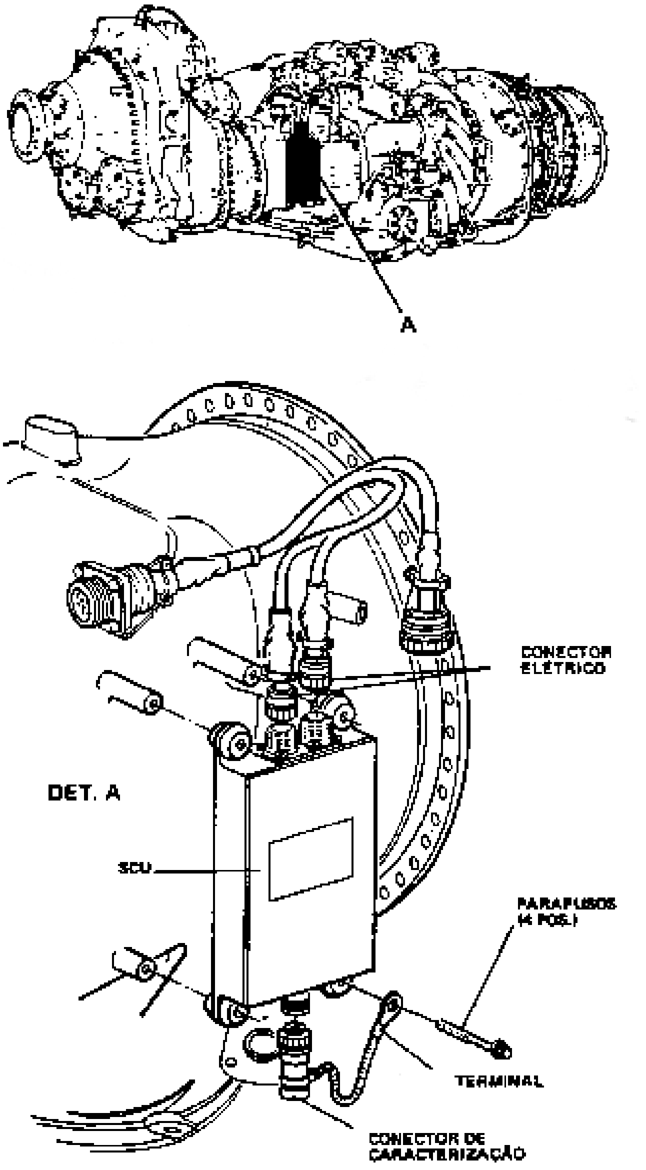

A
CONECTOR ELÉTRICO
DET. A
SCU
PARAFUSOS (4 POS.)
TERMINAL
CONECTOR DE CARACTERIZAÇÃO

Figura 4-6 Unidade Condicionadora de Sinais (SCU)

Torquímetro

O conjunto de eixos do torquímetro é composto de dois eixos coaxiais. O elemento central (eixo de torque) interconecta o eixo da turbina de potência ao eixo de entrada da caixa de redução, através de acoplamento tipo diafragma.

A extremidade posterior do elemento externo (eixo de referência) é fixada à extremidade posterior do eixo de torque, sendo a extremidade dianteira livre. Tanto o eixo de torque quanto o de referência são providos, em suas extremidades dianteiras, de anéis dentados, cujos dentes dos dois eixos é proporcional ao torque do motor.

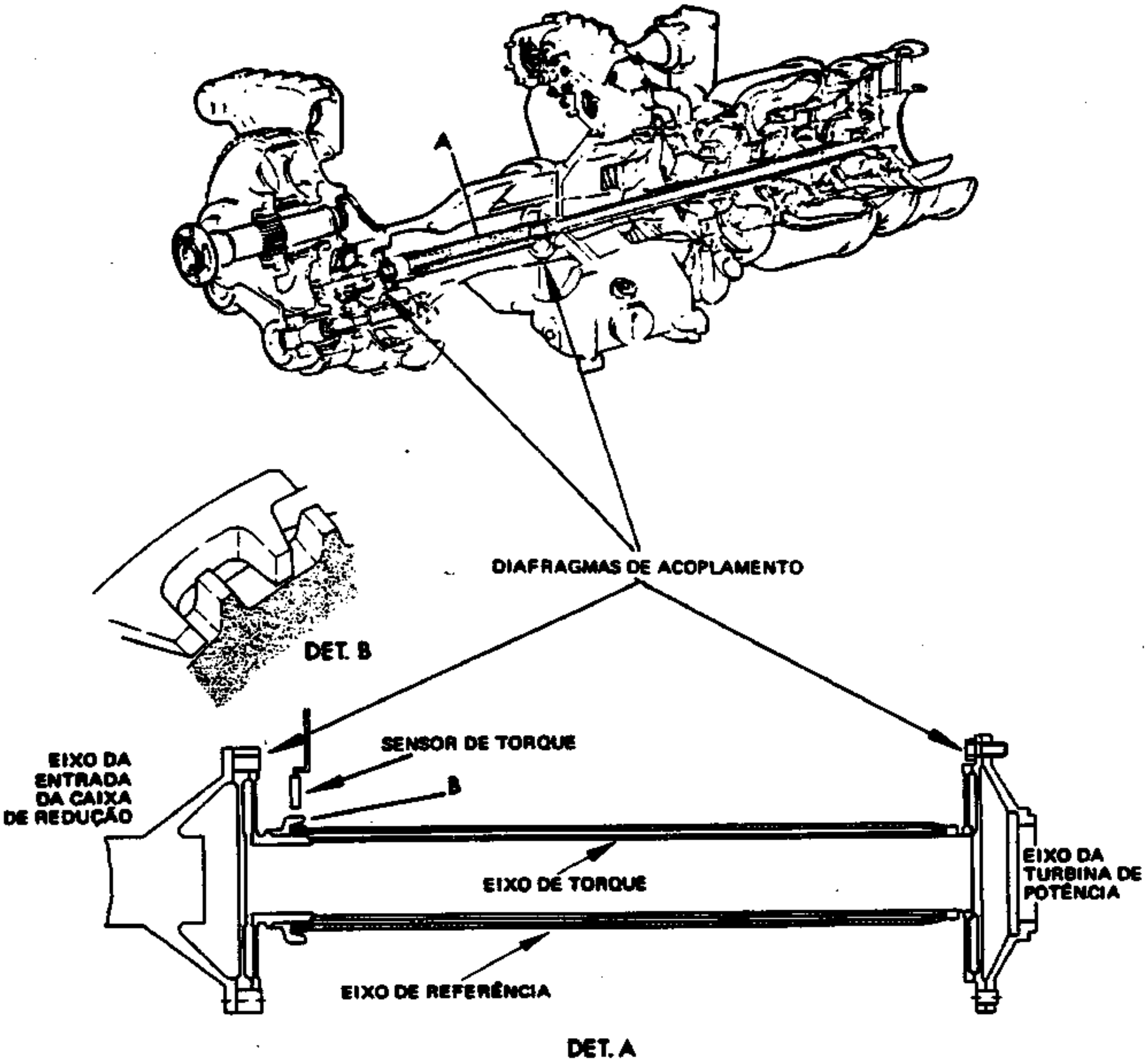

A
DIAFRAGMAS DE ACOPLAMENTO
DET. B
SENSOR DE TORQUE
B
EIXO DA ENTRADA DA CAIXA DE REDUÇÃO
EIXO DE TORQUE
EIXO DA TURBINA DE POTÊNCIA
EIXO DE REFERÊNCIA
DET. A

Figura 4-7 Localização do Torquímetro

O sensor de torque penetra na carcaça dianteira de entrada de ar até próximo aos anéis dentados do torquímetro, captando a diferença de fase entre os anéis e enviando estes sinais à SCU. O sensor mede também a temperatura do ar na região do torquímetro, a fim de corrigir o efeito da temperatura, que tem influência na torção do eixo do torque.

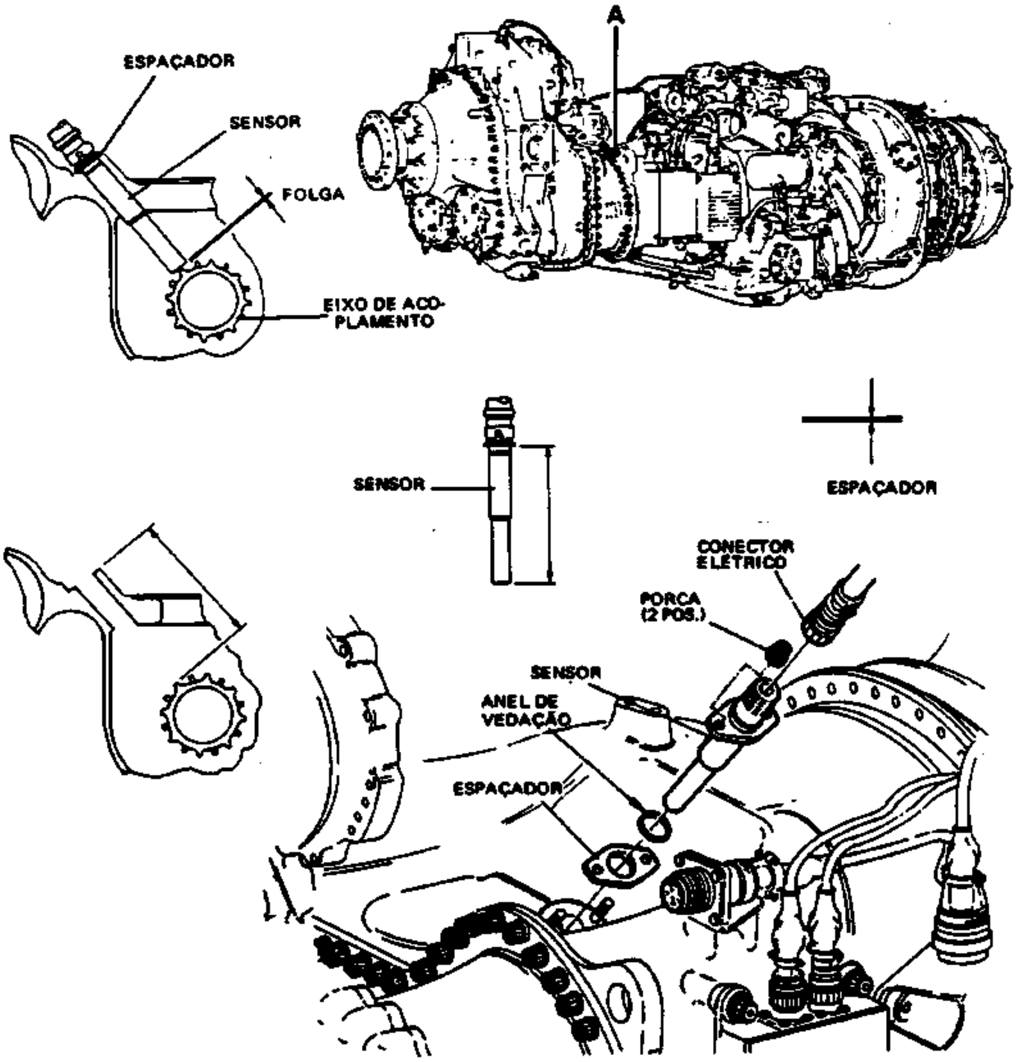

A
ESPAÇADOR
SENSOR
FOLGA
EIXO DE ACOPLAMENTO
SENSOR
ESPAÇADOR
CONECTOR ELÉTRICO
PORCA (2 POS.)
SENSOR
ANEL DE VEDAÇÃO
ESPAÇADOR

Figura 4-8 Localização do sensor de torque

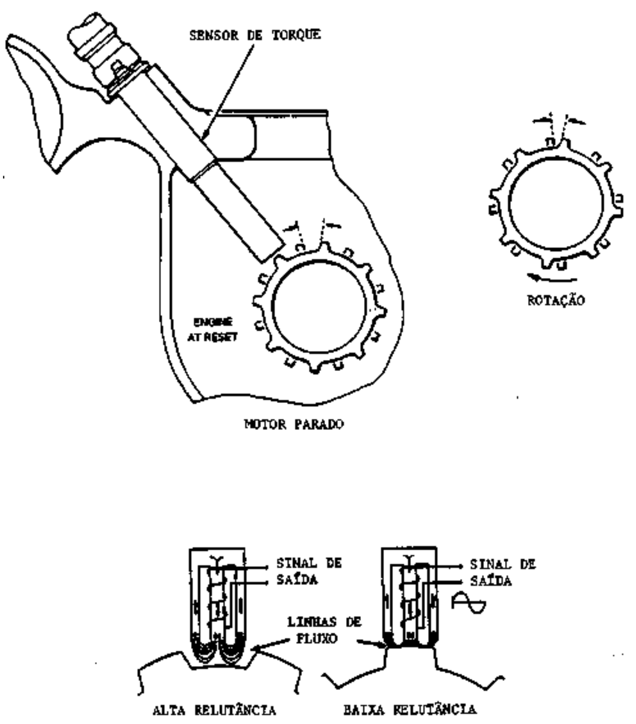

SENSOR DE TORQUE
ENGINE AT RESET
MOTOR PARADO
ROTAÇÃO
SINAL DE SAÍDA
LINHAS DE FLUXO
SINAL DE SAÍDA
ALTA RELUTÂNCIA
BAIXA RELUTÂNCIA

Figura 4-9 Sensor de torque

Operação do Sistema

O indicador de torque e a unidade condicionadora de sinais (SCU) são alimentados com 28 VCC. A diferença entre os sinais fornecidos pelos pontos de alta e baixa relutância, gerados pelos eixos de torque e de referência, é percebida pelo sensor de torque que os envia à SCU.

Na SCU este sinal sofre uma compensação por efeito da variação de temperatura e também por características de usinagem das engrenagens.

Tanto a dilatação por aumento da temperatura como a variação da largura do dente da engrenagem na usinagem podem ser vistas erroneamente pelo sensor de torque, como variação do torque o que daria ensejo de uma indicação errada no mostrador. A SCU transforma o sinal de entrada numa tensão de 0 a 5 VCC proporcional ao torque do motor.

O sinal CC, após processado, é enviado ao indicador.

O sinal de torque de entrada é enviado ao processador de entrada e, em seguida, ao amplificador servo. Este sinal é filtrado de modo que somente a componente CC é enviada ao sistema servo.

O amplificador servo compara a posição do ponteiro de torque relativo ao sinal CC e movimenta proporcionalmente o motor CC.

Caso o sinal de entrada seja inválido, obter-se-á uma indicação de zero.

A falha de alimentação ocorrerá numa indicação abaixo de zero e o indicador digital apagar-se-á.

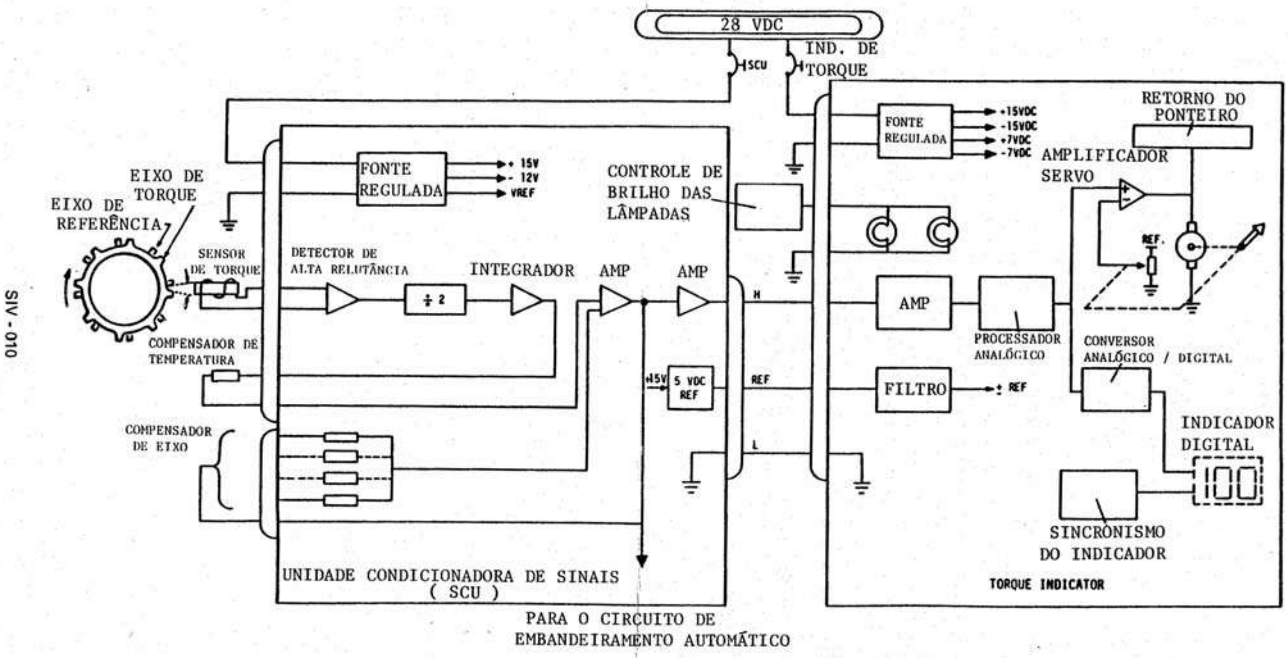

28 VDC
SCU
IND. DE TORQUE
EIXO DE TORQUE
EIXO DE REFERÊNCIA
SENSOR DE TORQUE
FONTE REGULADA
+ 15V
- 12V
VREF
CONTROLE DE BRILHO DAS LÂMPADAS
DETECTOR DE ALTA RELUTÂNCIA
÷ 2
INTEGRADOR
AMP
AMP
COMPENSADOR DE TEMPERATURA
+15V
5 VDC REF
COMPENSADOR DE EIXO
UNIDADE CONDICIONADORA DE SINAIS (SCU)
PARA O CIRCUITO DE EMBANDEIRAMENTO AUTOMÁTICO
SIV - 010
H
REF
L
FONTE REGULADA
+15VDC
-15VDC
+7VDC
-7VDC
RETORNO DO PONTEIRO
AMPLIFICADOR SERVO
REF.
AMP
PROCESSADOR ANALÓGICO
CONVERSOR ANALÓGICO / DIGITAL
FILTRO
REF
INDICADOR DIGITAL
100
SINCRONISMO DO INDICADOR
TORQUE INDICATOR

Figura 4-10 Diagrama do circuito eletrônico de indicação de torque

INDICADORES DE TEMPERATURA

Observação: a descrição detalhada do bulbo sensor de temperatura e do funcionamento do circuito da ponte de Wheatstone pode ser vista neste manual no IINDICADOR DE TEMPERATURA DO AR EXTERNO.

O sistema de indicação de temperatura do óleo consiste basicamente de uma ponte de Wheatstone, instalada no interior do indicador, sendo um dos braços da ponte formado pelo bulbo resistivo, sensível à temperatura.

O sensor é instalado (normalmente) na linha da pressão de óleo.

Elemento Sensível (Bulbo)

O elemento sensível à temperatura ou captador é feito de um enrolamento de fio de níquel puro especialmente selecionado para tal fim. O níquel é usado por ser um material altamente sensível às variações de temperatura, ou seja, tem sua resistência variada com a mínima mudança de temperatura.

Em cada lado do enrolamento há uma tira de mica e uma de prata. As tiras de prata atuam como condutores de calor e transmitem rápida e uniformemente as mudanças de temperatura ao fio de níquel.

O isolamento de mica impede que haja curto-circuito entre as tiras de prata e o tubo de proteção em que está encerrado o elemento sensível. O tubo de proteção é feito de Monel (liga de níquel e cobre) e é soldado com solda de prata a uma cabeça sextavada, a qual é equipada com os pinos de ligação para os fios de conexão do sistema.

O bulbo é sempre colocado em local apropriado e onde se capta a temperatura a ser medida e indicada.

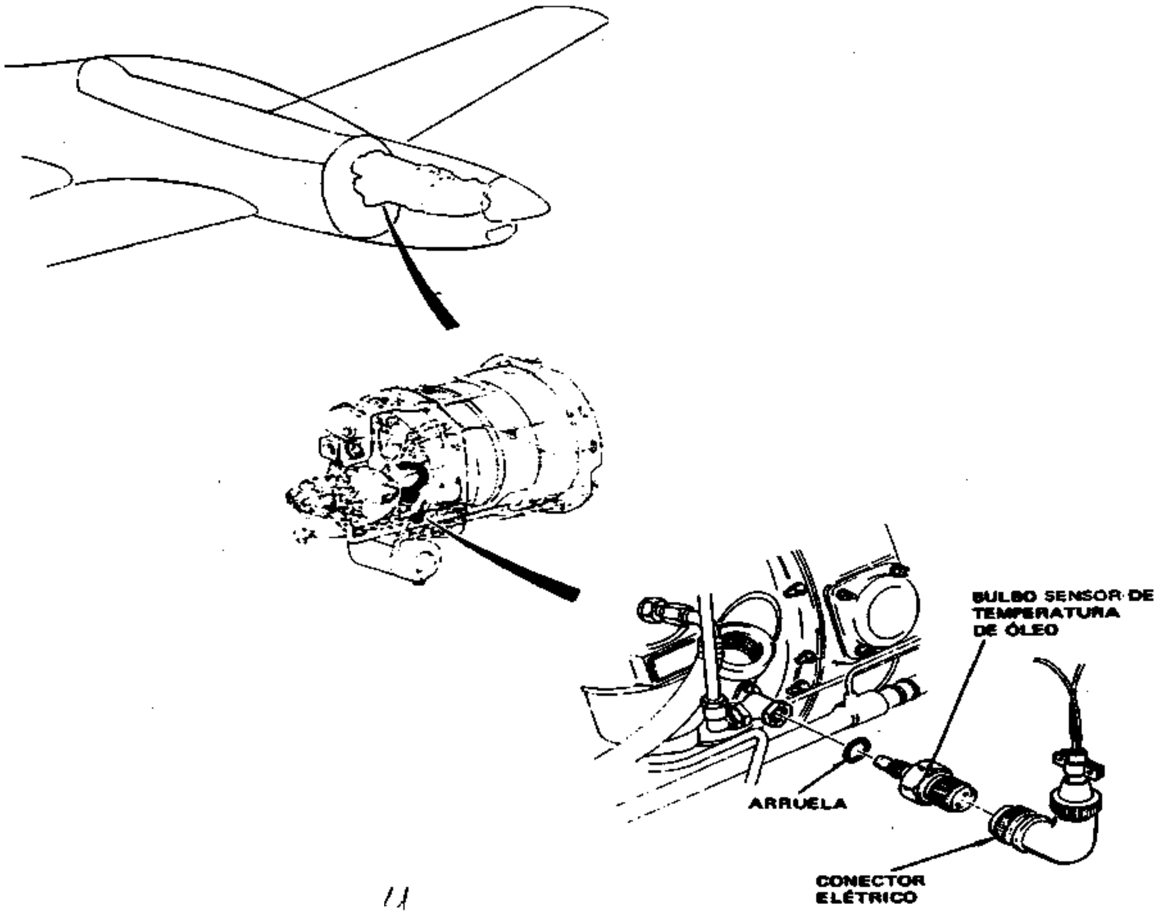

BULBO SENSOR DE TEMPERATURA DE ÓLEO
ARRUELA
CONECTOR ELÉTRICO

Figura 4-11 Localização do sensor de temperatura (bulbo)

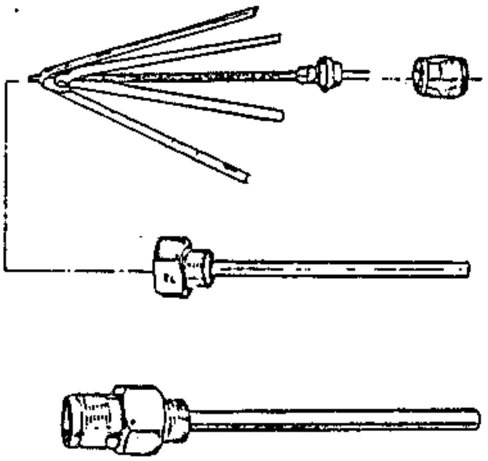


Figura 4-12 Elemento sensível à temperatura

Circuito Ponte de Wheatstone

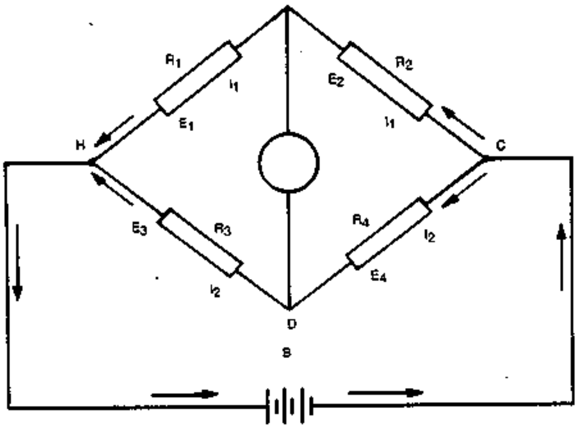

R1
I1
E2
R2
E1
I1
H
C
E3
R3
R4
I2
E4
I2
D
B

Figura 4-13 Diagrama de um circuito Ponte de Wheatstone

O circuito em ponte é composto de 4 resistências instaladas na forma apresentada na figura 4-13.

Os cantos opostos do paralelogramo assim formado (E eD) são ligados a um galvanômetro (G) e os outros dois cantos (H e C) aos bornes de uma bateria (B) ou a outra fonte de energia elétrica. Quando o conjunto é percorrido por uma corrente elétrica e, desde que o potencial nos pontos E e D seja o mesmo, a ponte estará em equilíbrio e o galvanômetro não registrará passagem de corrente.

Desde que a ponte se desequilibre, ou melhor, desde que o potencial nos pontos E e D seja diferente, haverá tendência em restabelecer o equilíbrio, e a corrente circulará do ponto do potencial mais elevado para o de potencial menos elevado e neste caso o galvanômetro acusará a passagem da corrente.

Conclui-se que, quando o galvanômetro intercalado no circuito de ponte não registra corrente entre os pontos E e D, ela estará em equilíbrio e neste caso a razão dos braços HE e EC será igual à razão dos braços HD e DC.

Assim sendo, deve haver proporcionalmente uma relação determinada entre as resistências dos 4 braços da ponte, posto que a intensidade da corrente que circula pelos 2 lados é a mesma.

Veja-se qual a relação que deve existir entre as quatro resistências da ponte a fim de que ela permaneça em equilíbrio.

Chamando de R1, R2, R3 e R4 as resistências dos braços HE, EC, HD e DC; 11 e 12 as intensidades das correntes que circulam por HEC e HDC; E1, E2, E3 e E4 as tensões correspondentes aos quatro resistores, ter-se-á de acordo com a Lei de Ohm que:

$$E_1 = I_1 \times R_1$$

$$E_2 = I_1 \times R_2$$

$$E_3 = I_2 \times R_3$$

$$E_4 = I_2 \times R_4$$

Como o potencial dos condutores HD e HE no ponto H é o mesmo, porque este ponto é comum a ambos e como admite-se que a ponte se achava em equilíbrio, conclui-se que a DDP E_1 entre H e E é igual a E_3, diferença de potencial entre H e D.

Seguindo-se um raciocínio análogo, chega-se à conclusão de que E_2 é igual a E_4.

Pode-se então escrever:

$$I_1 \times R_1 = I_2 \times R_3$$

$$I_1 \times R_2 = I_2 \times R_4$$

Dividindo-se estas duas igualdades uma pela outra, membro a membro, ter-se-á:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4}$$

Esta será, portanto a condição que deve ser cumprida para que a ponte permaneça em equilíbrio, isto é, a fim de que o galvanômetro não acuse passagem de corrente.

Sendo assim pode-se determinar o valor da resistência de um dos braços da ponte, desde que sejam conhecidas as dos outros três.

Funcionamento do Termômetro Tipo Ponte

A medição de temperatura por variação de resistência pode ser feita através da ponte de Wheatstone e um galvanômetro.

O circuito apresentado na figura 4-14 opera baseado no princípio de controle de fluxo de corrente que passa através do indicador (galvanômetro), variando-se a resistência de um braço da ponte.

Se a corrente circulante por R_1/R_3 for a mesma de R_2/X a ponte estará balanceada e a tensão no ponto B será a mesma do ponto C. Nenhuma corrente fluirá através do indicador.

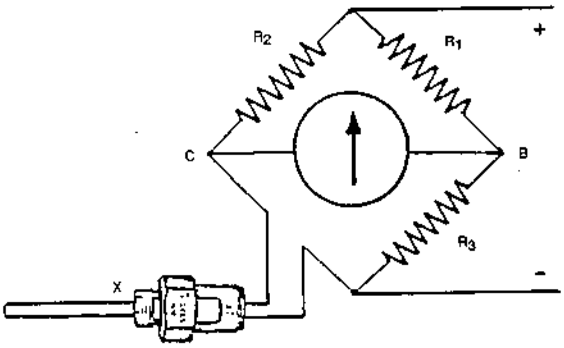


Figura 4-14 Circuito elétrico de indicação da temperatura do óleo

Se a temperatura medida pelo bulbo aumentar, a resistência do bulbo também aumentará assim como a queda de tensão sobre o mesmo. Isso faz com que a tensão no ponto C seja maior do que no ponto B e conseqüentemente uma corrente irá fluir através do indicador. Se a resistência do bulbo diminuir abaixo do valor necessário para balanceamento da ponte, a tensão no ponto C será baixa o suficiente para que a corrente que passa através do indicador mude a sua direção.

O galvanômetro utiliza duas bobinas que se deslocam num campo não uniforme entre dois ímãs permanentes.

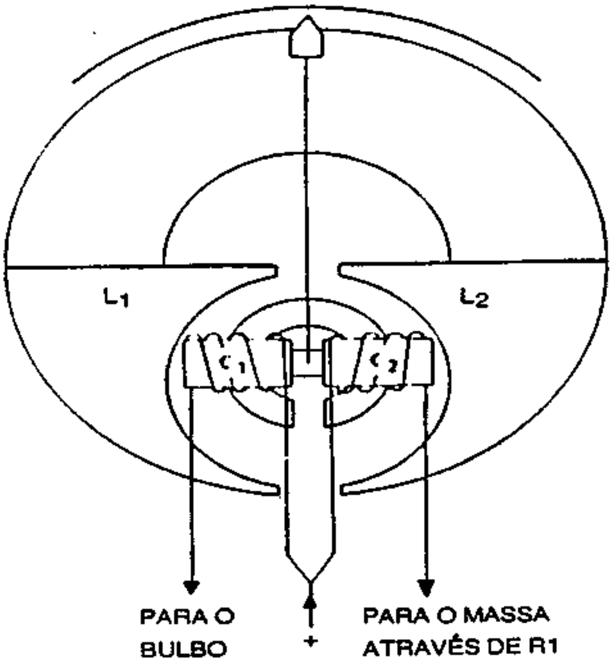


Figura 4-15 Galvanômetro

Este mecanismo compõe-se essencialmente de uma ímã permanente e duas bobinas móveis.

O ímã permanente é bipolar e fornece o campo magnético necessário para o movimento do sistema móvel.

Este sistema móvel é formado por duas bobinas móveis coladas lado a lado e isoladas entre si.

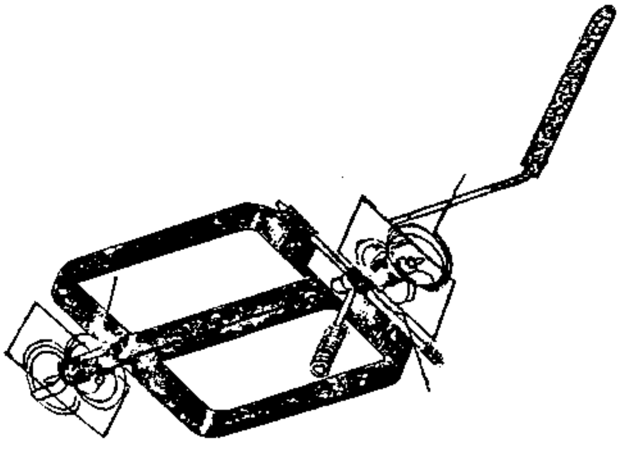


Figura 4-16 Mecanismo do indicador de temperatura

Estão pivotadas no mesmo eixo e se movem com ele ao redor de um núcleo de ferro doce que está colocado entre os pólos do ímã permanente. O núcleo é furado e ajustado excentricamente em relação aos pólos do ímã, formando um fluxo magnético crescente de baixo para cima.

Observa.-se, pela figura 4-17, que este ajuste do núcleo proporcione uma distribuição desigual de linhas de força no entreferro.

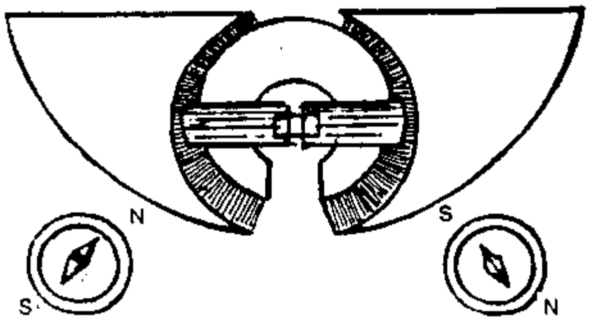


Figura 4-17 Imãs permanentes

Quando a resistência do bulbo é baixa, a corrente flui através de L_1 para a massa, fazendo com que o ponteiro desloque-se para a faixa inferior da escala. Quando a resistência do bulbo é alta, a corrente maior será através de L_2 e indo também para a massa, fazendo com que o ponteiro desloque-se para a parte superior da escala.

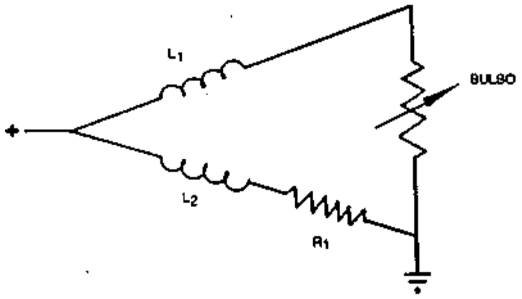


Figura 4-18 Circuito Ponte de Wheatstone

O bulbo é sensibilizado pela temperatura do óleo da bomba de pressão.

A variação de temperatura desequilibra a ponte de Wheatstone, em razão de modificação da resistência do bulbo, alterando a posição angular de um galvanômetro, situado no interior de cada indicador.

Esta alteração do galvanômetro será interpretada, visualmente, através da deflexão de um ponteiro sobre uma escala graduada em ºC. O sistema é alimentado com 28 VCC.

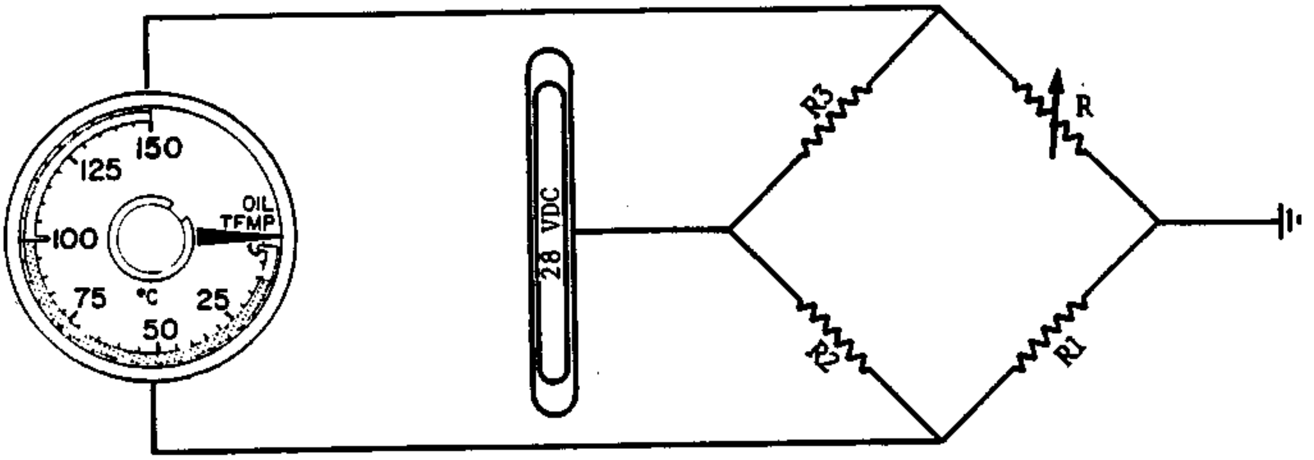


Figura 4-19 Circuito dos indicadores de temperatura do óleo

INDICADORES DE TEMPERATURA BIMETÁLICOS

A temperatura da maioria dos cilindros dos motores a pistão, refrigerados a ar, é medida por um termômetro que tem seu elemento sensitivo de calor instalado em algum ponto de um dos cilindros (normalmente um cilindro mais quente).

No caso de motores a turbina, a temperatura dos gases do escapamento é medida por sondas instaladas no cone de escapamento.

Uma sonda é um circuito ou uma conexão de dois metais diferentes; tal circuito tem duas conexões. Se uma das conexões é aquecida a uma temperatura maior que a outra, uma força eletromotiva é produzida no circuito. Colocando-se um galvanômetro no circuito, esta força pode ser medida. Quanto maior se torna a temperatura, maior se torna a força eletromotiva produzida. Calibrando-se o galvanômetro em graus, torna-se um termômetro.

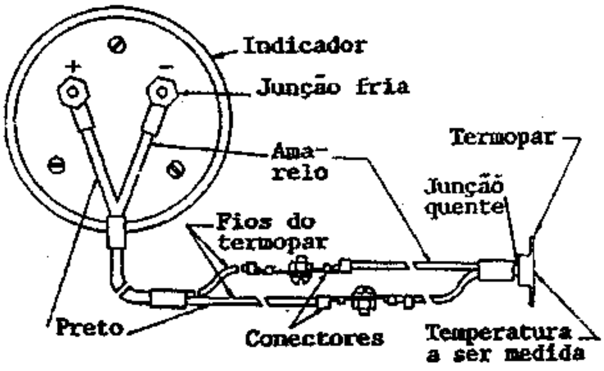


Figura 4-20 Sistema de indicação de temperatura da cabeça do cilindro

Um sistema típico de termômetro bimetálico (figura 4-20) usado para indicar a temperatura do motor, consiste de um indicador galvanômetro calibrado em graus centígrados, um termopar bimetálico, e condutores bimetálicos.

Os termopares condutores ou as sondas bimetálicas são comumente construídas de ferro e *constantan*, porém, cobre e *constantan*, ou cromo e *alumel* são outras combinações de metais de características físicas diferentes em uso.

A sonda de ferro e *costantan* é a mais usada na maioria dos motores radiais, e *cromel* e *alumel* é usada em motores a jato.

As sondas termopares são projetadas para fornecer uma quantidade definida de resistência no circuito termopar, portanto seu comprimento ou tamanho não pode ser alterado, a não ser que alguma compensação seja feita para a mudança da resistência total. A junção aquecida do termopar varia de forma, dependendo de sua aplicação.

Dois tipos comuns são mostrados na figura 4-21; eles são do tipo gaxeta e do tipo baioneta. No tipo gaxeta, dois anéis de metais diferentes são pressionados juntos para formar uma gaxeta tipo vela de ignição.

Cada sonda, que forma uma conexão de retorno ao galvanômetro, deve ser construída do mesmo metal que a parte do termopar na qual está conectada.

Por exemplo, um fio de cobre está conectado a um anel de cobre, e o fio *costantan* deve estar conectado ao anel de *constantan*.

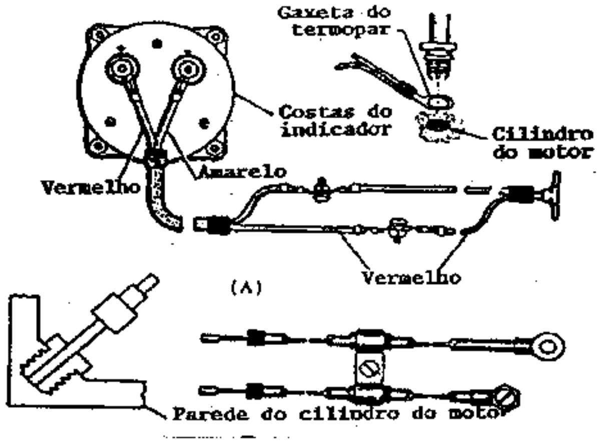

Gaxeta do termopar
Costas do indicador
Cilindro do motor
Vermelho
Amarelo
(A)
Vermelho
Parede do cilindro do moto

Figura 4-21 Termopares: A – tipo gaxeta;
B – tipo baioneta

O termopar tipo baioneta fica instalado num orifício na cabeça do cilindro. Aqui novamente, o mesmo metal é usado no termômetro como na parte do termopar, ao qual está conectado. O cilindro escolhido para a instalação do termopar é o cilindro que opera mais quente nas mais diversas condições de operação. A localização deste cilindro varia com os diferentes tipos de motores.

A junção fria do circuito termopar está dentro da caixa do instrumento. Desde que a força eletromotiva, verificada no circuito, varia com a diferença da temperatura entre a junção fria e a quente, é necessário compensar o mecanismo do indicador para mudanças da temperatura na cabine que poderão afetar a junção fria. Isso é conseguido usando-se uma mola bimetálica, conectada ao mecanismo indicador.

Quando as sondas são desconectadas do indicador, a temperatura da área da cabine ao redor do painel pode ser lida no instrumento. A razão disso, é que a mola compensadora bimetálica continua a agir como um termômetro.

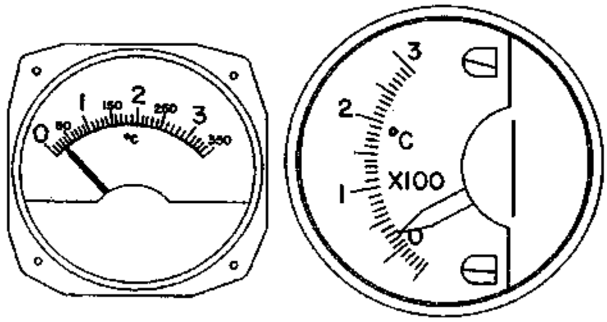

0
50
1
150
2
250
3
350
°C
3
2
°C
1
X100
0

Figura 4-22 Indicadores de temperatura de termopares

INDICAÇÃO DE TEMPERATURA DOS GASES DA TURBINA

O indicador da temperatura dos gases do escapamento da turbina – EGT*(Engine Gas Temperature)* é uma indicação variável muito crítica da operação de uma turbina.

Este sistema fornece uma informação visual na cabine, da temperatura dos gases do escapamento da turbina, enquanto eles estão deixando a unidade motora.

Em algumas turbinas a temperatura dos gases do escapamento é medida na entrada da turbina. Este sistema é usualmente conhecido como “TIT”, temperatura da entrada da turbina (*turbine inlet temperature*).

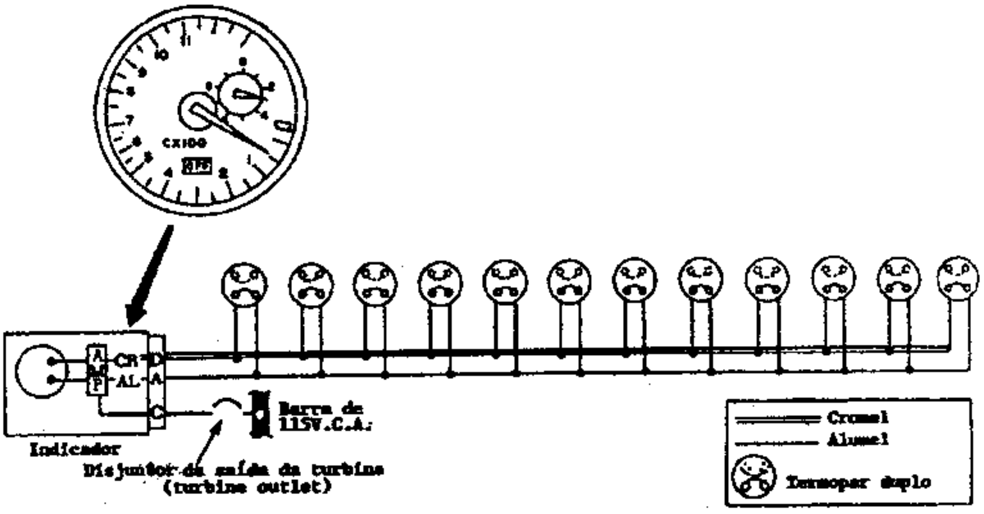

CX100
A
CR
AL
P
D
A
C
Indicador
Disjuntor da saída da turbina (turbine outlet)
Barra de 115V.C.A.
Cromel
Alumel
Termopar duplo

Figura 4-23 Típico sistema de indicação de temperatura dos gases do escapamento

A principal desvantagem deste método é que o número de sondas requeridas torna-se maior, e a temperatura ambiente em que ele deve operar é aumentada.

Uma sonda de medir temperatura dos gases do escapamento é montada num isolante de cerâmica e revestida de uma blindagem de metal. A sonda tem a forma de um tubo cilíndrico que se projeta e fica localizado na saída dos gases; ela é construída de cromel (uma liga de níquel cromo) e alumel (uma liga de níquel e alumínio).

A junção quente penetra num espaço para dentro da blindagem, e a blindagem tem orifícios na sua extremidade, permitindo o fluxo dos gases de escapamento através da junção quente.

Várias sondas são usadas e são instaladas em intervalos, ao redor do perímetro da saída dos gases da turbina ou do duto de escapamento. As sondas medem o EGT da turbina em milivolts, e esta voltagem é transmitida a um amplificador no indicador na cabine onde é amplificada e usada para energizar um pequeno servo motor, que move o do ponteiro indicador do termômetro. Um sistema típico de EGT é mostrado na figura 4-23. O indicador EGT mostrado é uma unidade hermeticamente selada e oferece a possibilidade de um segundo plugue de conexão.

O instrumento é calibrado de zero grau centígrado até o limite máximo de 1.200 graus centígrados, com um mostrador vernier no canto superior direito. Uma bandeira de alerta de "OFF" (desligado) está localizada na parte inferior do mostrador.

O sistema de indicação TIT fornece uma indicação visual da temperatura dos gases entrando na turbina. Em um tipo de turbina de aviação, a temperatura de entrada de cada turbina é medida por dezoito unidades de sondas duplas, instaladas no anel envolvente da turbina.

Um conjunto desses termômetros paralelos transmite sinais a um indicador na cabine, e o outro conjunto de termômetros paralelos fornece sinais de temperatura a um controle de dados. Cada circuito e eletricamente independente fornecendo um sistema com dupla confiabilidade.

As montagens dos termômetros são efetuadas em bases ao redor de carenagem da entrada da turbina, e cada termômetro possui duas conexões eletricamente independentes com uma sonda de leitura. A voltagem média das bases onde se alojam as sondas representa o TIT.

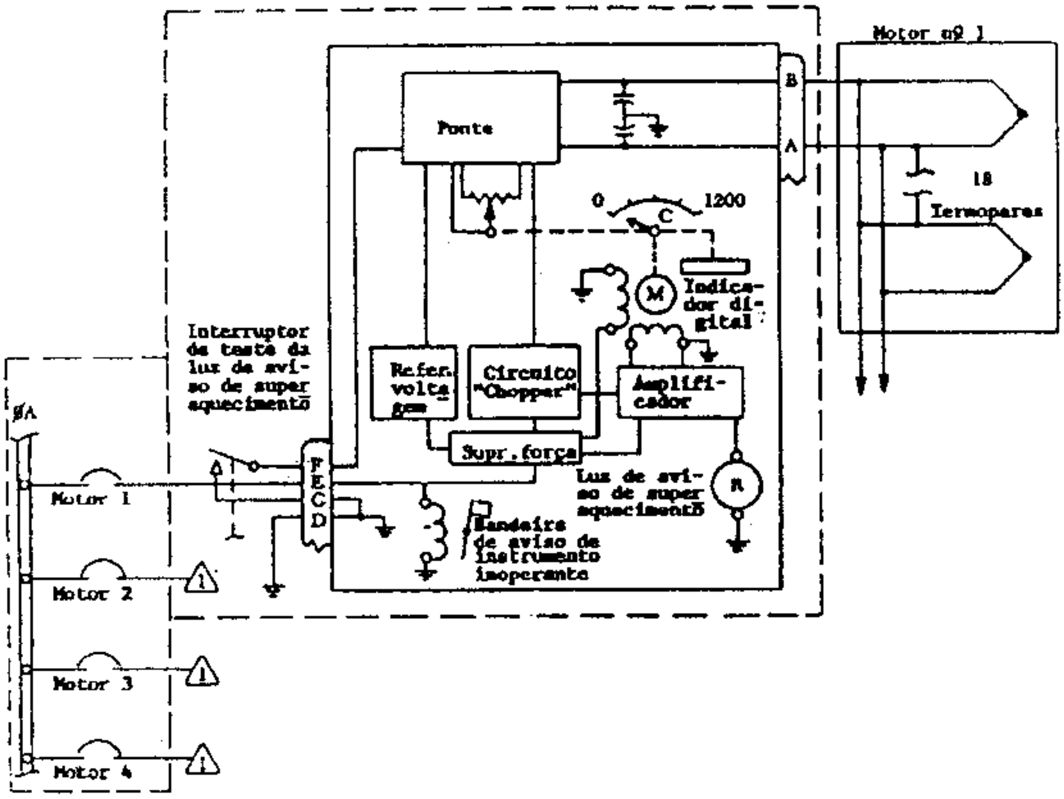

Motor nº 1
B
A
Ponte
0
C
1200
18
Termopares
M
Indicador digital
Interruptor de teste da luz de aviso de superaquecimento
ØA
Refer. voltagem
Circuito "Chopper"
Amplificador
Supr. força
F
E
C
D
Luz de aviso de superaquecimento
R
Bandeira de aviso de instrumento inoperante
Motor 1
Motor 2
Motor 3
Motor 4

Figura 4-24 Sistema de indicação da temperatura da entrada da turbina (TIT)

Um esquema do sistema para medir a temperatura da entrada das turbinas para o motor de um avião com quatro motores, é mostrado na figura 4-24.

Os circuitos para os outros três motores são idênticos a esse sistema. O indicador contém um circuito ponte, um circuito "*chopper*", um motor de duas fases para acionar o ponteiro e um potenciômetro de acompanhamento (*feed-back*). Também incluído está um circuito de referência de voltagem, um amplificador, uma bandeira ("*OFF*") de instrumento inoperante e uma luz de alerta de sobretemperatura. A saída do amplificador energiza o campo variável do motor de duas fases, que move o ponteiro do indicador principal e um indicador digital.

O motor também move o potenciômetro "*feed-back*" e fornece um sinal para parar o motor quando o instrumento indicar a posição correta em relação a indicação de temperatura. O circuito de voltagem fornece uma voltagem de referência para prevenir erros de variações de voltagem no suprimento de força para o indicador. A luz de alerta de alta temperatura acende quando o instrumento de TIT atinge um limite pré-determinado.

Um botão de teste externo é na maioria das vezes instalado para que as luzes de alerta de alta temperatura de todos os motores, possam ser testadas ao mesmo tempo. Quando a chave de teste é operada, um sinal de alta temperatura é simulado em cada indicador do circuito ponte do indicador de temperatura.

INDICADOR DE TEMPERATURA INTERTURBINAS

Descrição Geral

O sub-sistema de indicação de temperatura interturbinas (T5) provê, ao operador, a indicação precisa, em ºC, da temperatura de operação do motor, medida na região entre as turbinas do compressor e de potência.

O sistema possui oito sensores (termopares) de cromel (cromo-níquel)/alumel (alumínio-níquel), ligados em paralelo a duas barras de interligação, captando a média das temperaturas desenvolvidas na região.

As barras de interligação são dois anéis, um de "CROMEL" e outro de "alumel". aos quais são conectados os correspondentes terminais dos sensores.

Uma cablagem interna ao motor (*HARNESS*) conecta as barras a um bloco-terminal comum, situado na carcaça do gerador de gases, na posição de duas horas.

Um termopar de compensação, situado no lado direito do motor, junto à tela da entrada de ar do compressor e conectado em paralelo com o circuito de sensores, tem por finalidade compensar variações de resistência existentes no circuito, quando da instalação do sistema no motor.

Uma cablagem externa de "Cromel/Alumel" conecta o bloco de terminais do motor aos indicadores de T5, situados em ambos os postos da cabine de pilotagem, transmitindo-lhes os sinais dos sensores.

Para o seu perfeito funcionamento, o sistema exige uma resistência total do circuito (sensores e cablagens), definida e com estreita margem de tolerância.

Para tanto, o circuito inclui dois conjuntos de resistores variáveis nas linhas de "Alumel", que são ajustados quando da instalação do sistema no avião, possibilitando a calibração da resistência ôhmica do circuito para o acoplamento perfeito com os indicadores do sistema.

Os indicadores são essencialmente galvanômetros, providos de escalas graduadas em ºC, sobre as quais se deslocam ponteiros, cuja deflexão é proporcional à tensão gerada pelos termopares. O sistema, portanto, não necessita de alimentação elétrica externa.

O mostrador do indicador de T5 apresenta as seguintes características:

1. Extensão da escala: 100 a 1200ºC
2. Escala expandida: 600 a 850ºC
3. Menor divisão da escala expandida: 10ºC
4. Marcas de utilização:
   a) Arco Verde, de 400 a 740ºC, indicando a faixa normal de operação.
   b) Arco Amarelo, de 740 a 770ºC, indicando a faixa de operação com precaução.
   c) Radial Vermelha, a 790ºC, indicando o valor de T5 máximo permitido..

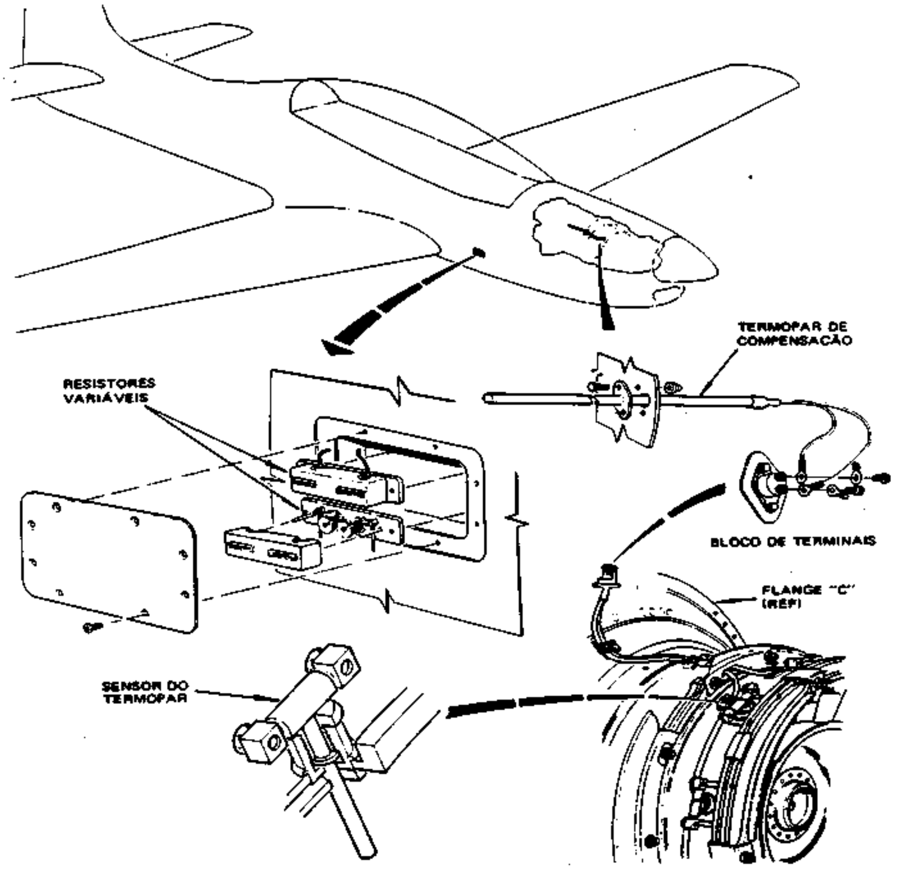

TERMOPAR DE COMPENSAÇÃO
RESISTORES VARIÁVEIS
BLOCO DE TERMINAIS
FLANGE "C" (REF)
SENSOR DO TERMOPAR

Figura 4-25 Componentes do Sistema de Indicação de Temperatura Interturbinas(T5) do Motor

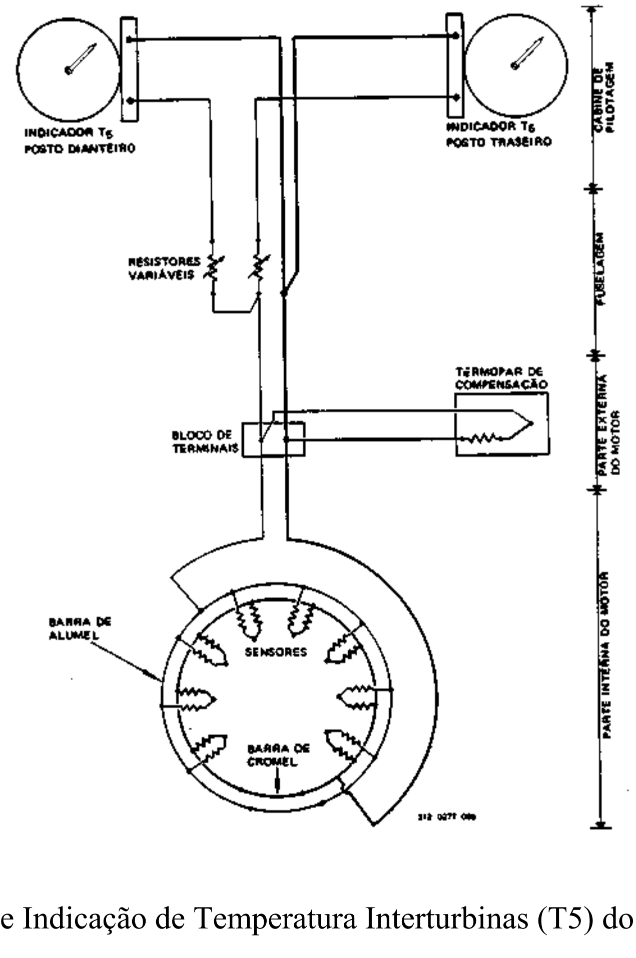

INDICADOR T_5 POSTO DIANTEIRO
INDICADOR T_5 POSTO TRASEIRO
RESISTORES VARIÁVEIS
TERMOPAR DE COMPENSAÇÃO
BLOCO DE TERMINAIS
BARRA DE ALUMEL
SENSORES
BARRA DE CROMEL
CABINE DE PILOTAGEM
FUSELAGEM
PARTE EXTERNA DO MOTOR
PARTE INTERNA DO MOTOR
312 0277 000

Figura 4-26 Sistema de Indicação de Temperatura Interturbinas (T5) do Motor (Esquemático)

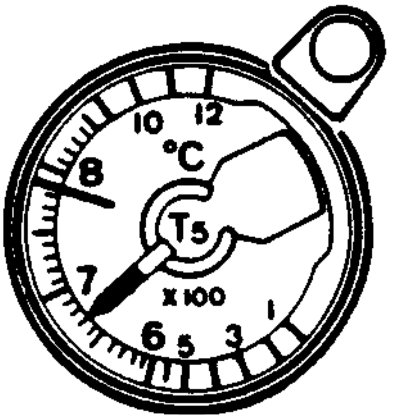


Figura 4-27 Indicador de T5

Particularidades sobre a Manutenção

As conexões das fiações de "*Cromel*" e *Alumel*", ao longo do circuito, dos sensores aos indicadores, são providas de terminais com diâmetros diferentes, de modo a evitar ligações errôneas.

O termopar de compensação é selecionado quanto à sua resistência ôhmica, para cada motor em particular. podendo variar de um motor para outro. O termopar, portanto, deve ser substituído sempre por outro de mesmo P/N e classe, ou seja, da mesma resistência ôhmica, quando for necessária sua remoção do motor.

A calibração original não deve ser alterada sem a prévia execução de todos os testes, complementados por uma inspeção acurada do circuito quanto a componentes e conexões danificados, mau contato, corrosão, "curtos" e outras anormalidades, sob risco de ser induzido erro de indicação.

A calibração é executada através dos dois conjuntos de resistores variáveis, um para cada indicador, com auxílio da equação Ri = 8 – 2Rc, onde Rc é a resistência da parte do circuito comum aos dois indicadores; Ri a resistência da parte individual do circuito para cada indicador, na qual se encontra incluído o respectivo resistor variável.

Cada conjunto de resistores é composto de dois resistores, sob a forma de bobinas de fio de cobre, um deles inserido no circuito e outro permanecendo como reserva do primeiro. O valor de resistência ôhmica desejado é obtido pela variação do comprimento do resistor, encurtando-se o comprimento do resistor inserido no circuito ou, em caso de necessidade de aumento de seu comprimento, substituindo-se pelo resistor-reserva e, depois, encurtando-o até obter-se o valor desejado.

Os vários testes de manutenção que possibilitam a verificação de T5, acham-se relacionados a seguir:

- Teste do termopar de compensação
- Teste da seção sensora do motor
- Teste do sistema de indicação de T5
- Teste do indicador de T5 (em bancada)
- Para o teste individual dos sensores, das barras de interligação e da cablagem ("HARNESS") do motor para a execução deste teste, é necessária a prévia remoção da seção de potência do motor.

Teste do Sub-Sistema de Indicação de T5

Condições Iniciais:

Efetividade: Todos

Condições Requeridas:

- Avião em segurança para manutenção.
- Capô do motor removido.
- Indicadores (dianteiro e traseiro) de T5 removidos.
- Painel de acesso 1506 removido.

Pessoal Recomendado: Dois

- Técnico "A" executa o teste do sistema (lado direito da nacele do motor).
- Técnico "B" auxilia o técnico "A" (postos dianteiro e traseiro de pilotagem).

Equipamentos de Apoio:

- Multímetro digital com resolução (precisão de leitura) de 0.01 ohm.
  Os indicadores de T5 possuem terminais de diâmetros diferentes, para evitar conexão errônea.

  A fim de evitar medições errôneas da resistência ôhmica do circuito, mantenha os terminais de fiação de cada indicador isolados da estrutura do painel e entre si, durante os procedimentos de teste. De modo semelhante, quando indicado para colocar os terminais em "curto", mantenha-os isolados da estrutura do painel.

Teste de Resistência Ôhmica do Sub-sistema de Indicação de T5

1. (A) Remova a tampa do conjunto inferior de resistores e a luva isoladora da conexão da fiação.
2. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões e registre o valor de resistência indicado (Rc).
3. (A) Calcule o valor de Ri, utilizando a fórmula: Ri = 8 – 2Rc.
4. (A) Desconecte o conector elétrico P158.
5. (B) Coloque em "curto" os terminais da fiação do indicador dianteiro de T5.
6. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões da fiação.

   Resultado:

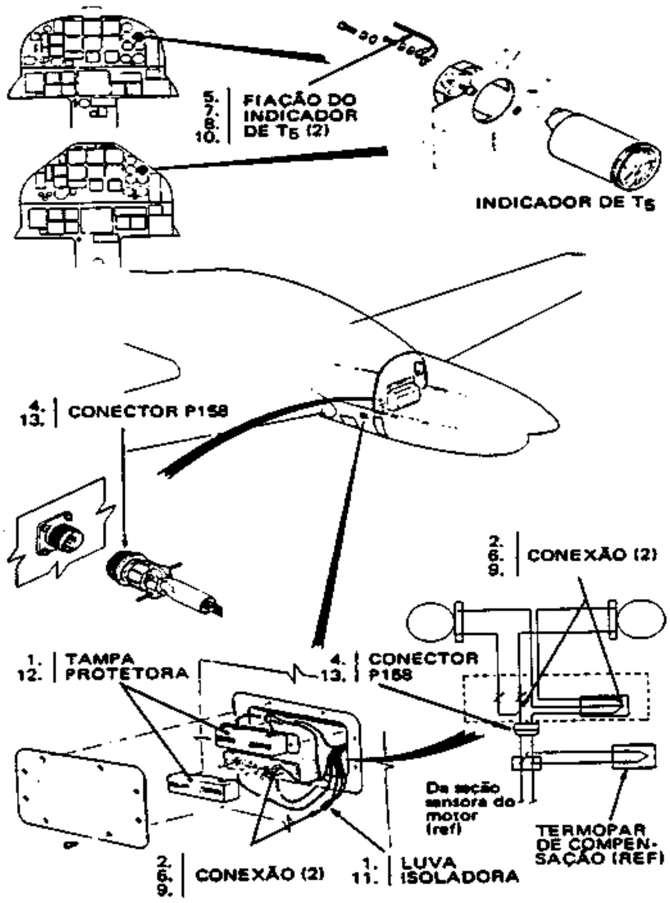
   Valor de resistência indicado igual a Ri (passo 3) ± 0.05 ohm.
7. (B) Desfaça o "curto" entre os terminais da fiação do indicador dianteiro de T5.
8. (B) Coloque em "curto" os terminais da fiação do indicador traseiro de T5.
9. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões da fiação.

   Resultado:

   Valor de resistência indicado igual a Ri ± 0.05 ohm.
10. (B) Desfaça o "curto" entre os terminais da fiação do indicador traseiro de T5.
11. (A) Instale a luva isoladora na conexão da fiação.
12. (A) Instale a tampa do conjunto de resistores e frene-ª
13. (A) Reconecte o conector elétrico P158 e frene-o.

Complementação da Tarefa:

- Instale os indicadores dianteiro e traseiro de T5.
- Instale o painel de acesso.
- Instale o capô do motor.


5.
7.
8.
10.
FIAÇÃO DO INDICADOR DE T_5 (2)
INDICADOR DE T_5
4.
13.
CONECTOR P158
2.
6.
9.
CONEXÃO (2)
1.
12.
TAMPA PROTETORA
4.
13.
CONECTOR P158
Da seção sensora do motor (ref)
TERMOPAR DE COMPENSAÇÃO (REF)
2.
6.
9.
CONEXÃO (2)
1.
11.
LUVA ISOLADORA

•

Figura 4-28 Localização dos componentes para o teste de resistência ôhmica da indicação de T5

Calibração do Sub-sistema de Indicação de T5

Condições Iniciais

Efetividade: Todos

Condições Requeridas:

- Avião em segurança para manutenção.
- Capô do motor removido.
- Indicadores (dianteiro e traseiro) de T5 removidos.
- Painel de acesso 1506 removido.

Pessoal Recomendado: Dois

- Técnico "A" executa a calibração do sub-sistema (lado direito da nacele do motor).
- Técnico "B" auxilia o técnico "A" (postos dianteiro e traseiro de pilotagem).

Equipamentos de Apoio:

- Multímetro digital com resolução (precisão de leitura) de 0.01 ohm.
- Ferro de soldar (30W).

  A calibração original do sub-sistema nunca deve ser alterada, sem antes terem sido executados todos os testes, complementados por uma inspeção de todo o circuito, e pela correção das anormalidades encontradas (mau contato, corrosão, "curtos", componentes danificados). Certifique-se, ainda, de que o motor esteja equipado com o seu termopar de compensação específico (veja a ficha de teste de aceitação do motor). A não observância destes procedimentos poderá ocasionar a indução de erros de indicação, com graves conseqüências à integridade do motor.
- A calibração do sub-sistema é feita por meio de diminuições sucessivas do comprimento do resistor, até obter-se o valor de resistência ôhmica desejada. A cada diminuição do comprimento do resistor, solde a extremidade ajustada ao respectivo terminal e faça a medição de resistência. Execute as diminuições sucessivas com extremo cuidado, de modo a evitar uma diminuição excessiva e a conseqüente inutilização do resistor.
- A fim de evitar medições errôneas da resistência ôhmica do circuito, mantenha os terminais da fiação de cada indicador, isolados da estrutura do painel e entre si, durante os procedimentos de calibração.

  De modo semelhante, quando indicado para colocar em "curto" os terminais, mantenha-os, entretanto, isolados da estrutura do painel.

Calibração da Resistência Ôhmica do Sub-sistema de Indicação de T5

1. (A) Remova a luva isoladora da conexão da fiação.
2. (A) Remova as tampas dos conjuntos de resistores.
3. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões e registre o valor de resistência indicado (Rc).
4. (A) Calcule o valor de Ri, utilizando a fórmula:

   Ri = 8 –2 Rc.
5. (A) Desconecte o conector elétrico P 158.
6. (B) Coloque em "curto" os terminais da fiação do indicador dianteiro de T5.
7. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões da fiação e meça a resistência ôhmica do circuito.
8. (A) Se o valor indicado for maior do que Ri (passo 3) ± 0.05 ohm, desfaça a solda de um dos terminais do resistor RD (correspondente ao indicador dianteiro) inserido no circuito e reduza o seu comprimento até obter o valor de Ri ± 0.05 ohm, com a extremidade do fio que está sofrendo ajuste, soldada ao seu terminal.
9. (A) Se o valor indicado for menor do que Ri ± 0.05 ohm, desfaça a solda dos dois terminais do resistor RD inserido no circuito e desative-o. Solde uma das extremidades do resistor reserva a um dos terminais e reduza o comprimento da outra extremidade até obter o valor de Ri ± 0.05 ohm, com a extremidade,

que está sofrendo ajuste, soldada ao outro terminal.

10. (B) Desfaça o "curto" entre os terminais da fiação do indicador dianteiro de T5.
11. (B) Coloque em "curto" os terminais da fiação do indicador traseiro de T5.
12. (A) Conecte o equipamento de teste às conexões da fiação e meça a resistência ôhmica do circuito.
13. (A) Se o valor indicado for maior do que Ri (passo 3) 0.05 ohm, desfaça a solda de um dos terminais do resistor RT (correspondente ao indicador traseiro) inserido no circuito e reduza o seu comprimento até obter o valor de Ri ± 0.05 ohm, com a extremidade do fio, que está sofrendo ajuste, soldada ao seu terminal.
14. (A) Se o valor indicado for menor do que Ri ± 0.05 ohm, desfaça a solda dos dois terminais do resistor Rt inserido no circuito e desative-o. Solde uma das extremidades do resistor-reserva a um dos terminais e reduza o comprimento da outra extremidade até obter o valor de Ri ± 0.05 ohm, com a extremidade, que está sofrendo ajuste, soldada ao outro terminal.
15. (B) Desfaça o "curto" entre os terminais da fiação do indicador traseiro de T5.
16. (A) Instale e frene as tampas dos conjuntos de resistores.
17. (A) Instale a luva isoladora na conexão da fiação.
18. (A) Reconecte o conector elétrico P158 e frene-o.

Complementação da Tarefa

- Instale os indicadores dianteiro e traseiro de T5.
- Instale o painel de acesso.
- Instale o capô do motor.

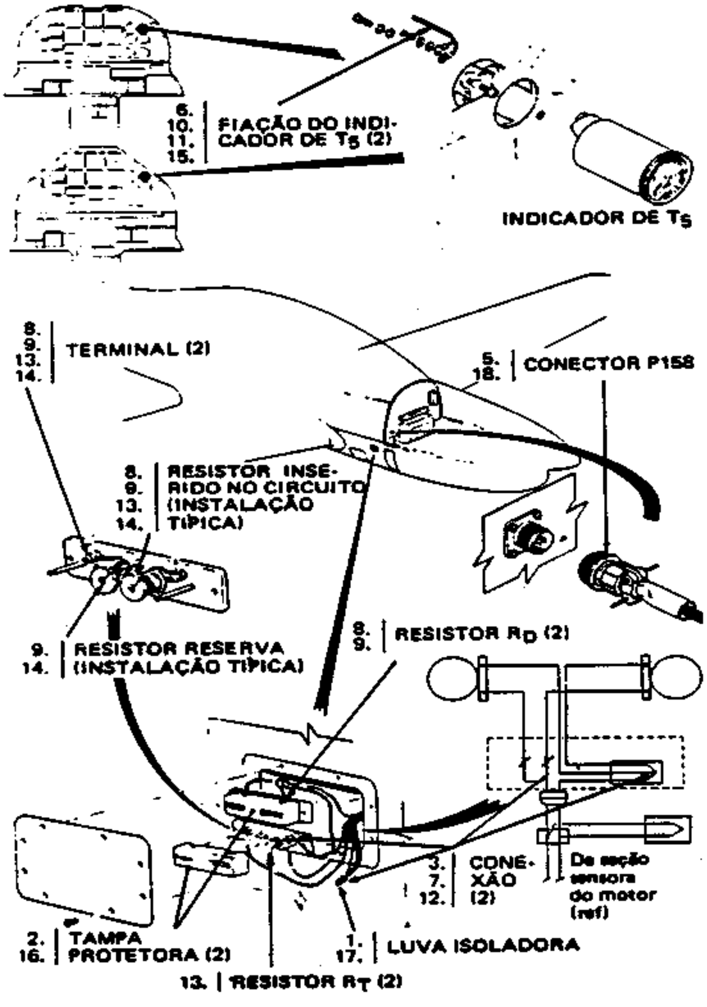

6.
10.
11.
15. FIAÇÃO DO INDICADOR DE T5 (2)
INDICADOR DE T5
8.
9.
13.
14. TERMINAL (2)
5.
18. CONECTOR P158
8.
9.
13.
14. RESISTOR INSERIDO NO CIRCUITO (INSTALAÇÃO TÍPICA)
9.
14. RESISTOR RESERVA (INSTALAÇÃO TÍPICA)
8.
9. RESISTOR RD (2)
3.
7.
12. CONEXÃO (2)
De seção sensora do motor (ref)
2.
16. TAMPA PROTETORA (2)
1.
17. LUVA ISOLADORA
13. RESISTOR RT (2)

Figura 4-29 Localização dos componentes para a calibração do sistema de indicação de T5

Teste da Seção Sensora do Motor

Condições Iniciais:

Efetividade: Todos

Condições Requeridas:

- Avião em segurança para manutenção
- Capô do motor removido.

Pessoal Recomendado: Um

Equipamentos de Apoio:

- Multímetro digital com resolução (precisão de leitura) de 0.01 ohm ou equipamento "*Barfield*" P/N 2312G-8 (PW).
- Torquímetro (0-50 lb.pol).

  Durante a remoção/instalação dos parafusos de conexão dos terminais, mantenha apoiadas as porcas correspondentes, para anular o torque a elas transmitido. Imediatamente antes de conectar os terminais ao bloco de terminais, limpe-os com lixa nº 400.

Teste de Isolamento, Continuidade e Resistência Ôhmica da Seção Sensora do Motor

1. Remova os parafusos de conexão e desconecte os terminais do bloco de terminais.
2. Conecte o equipamento de teste a um dos terminais do bloco de terminais e à massa (carcaça do gerador de gases).

   Resultado:

   Valor de resistência indicado não inferior a 5000 ohm.
3. Conecte o equipamento de teste ao outro terminal do bloco de terminais e à massa (carcaça do gerador de gases).

   Resultado:

   Valor de resistência indicado não inferior a 5000 ohm.
4. Conecte o equipamento de teste a ambos os terminais do bloco de terminais.

   Resultado:

   Valor de resistência indicado entre 0.58 e 0.74 ohm.

   - Se um ou mais sensores estiverem danificados, o valor de resistência ôhmica da seção sensora não se encontrará, necessariamente, fora dos limites acima especificados. No entanto, esta anomalia pode causar indicações errôneas de T5. Para o teste individual dos sensores veja o Capítulo 77 do Manual de Manutenção PW para o motor PT6A-25C.
   - Para o teste individual dos sensores é necessária prévia remoção da seção de potência do motor.
5. Conecte os terminais ao bloco de terminais, por meio dos parafusos de conexão. Aperte o parafuso de menor diâmetro a um torque de 20 a 25 lb.pol, e o de maior diâmetro a um torque de 25 a 30 lb.pol.

Complementação da Tarefa:

- Instale o capô do motor.

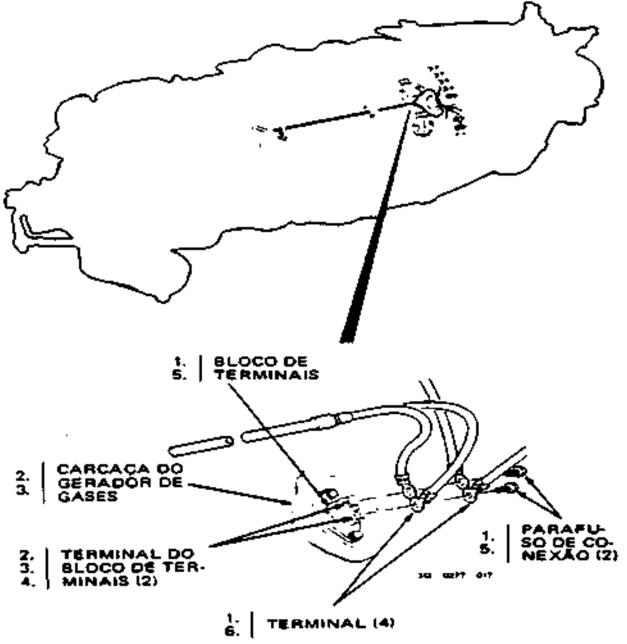

1. 5. BLOCO DE TERMINAIS
2. 3. CARCAÇA DO GERADOR DE GASES
2. 3. 4. TERMINAL DO BLOCO DE TERMINAIS (2)
1. 5. PARAFUSO DE CONEXÃO (2)
1. 6. TERMINAL (4)

Figura 4-30 Seção sensora de temperatura

Testes de Termopar de Compensação

Condições Iniciais:

Efetividade: Todos

Condições Requeridas:

- Avião em segurança para manutenção.

- Capô do motor removido.

Pessoal Recomendado: Um

Equipamentos de Apoio:

- Multímetro digital com resolução (precisão de leitura) de 0.01 ohm ou equipamento "*Barfield*" P/N 2312G-8 (PW).
- Torquímetro (0.50 lb.pol.)

  Durante a remoção/instalação dos parafusos de conexão dos terminais, mantenha apoiadas as porcas correspondentes, de modo a anular o torque a elas transmitido. Imediatamente antes de conectar os terminais ao bloco de terminais, limpe-os com lixa nº 400.

Teste de Isolamento e Resistência Ôhmica do Termopar de Compensação

1. Remova os parafusos de conexão e desconecte os terminais do bloco de terminais.
2. Conecte o equipamento de teste ao corpo do termopar e a um de seus terminais *(alumel* ou *cromel*).

   Resultado:

   Valor de resistência indicado não inferior a 5000 ohm.

   A medição de resistência ôhmica delineada no passo 3 deve ser executada com o compensador a uma temperatura ambiente de 21º C.
3. Conecte o equipamento de teste a cada um dos terminais do termopar.

   Resultado:

   Valor de resistência indicado de acordo com a tabela 1-1, relativo ao P/N e à classe do termopar de compensação testado.
4. Conecte os terminais ao bloco de terminais por meio dos parafusos de conexão. Aperte o parafuso de menor diâmetro a um torque de 20 a 25 lb.pol e o de maior diâmetro a um torque de 25 a 30 lb.pol.

Complementação da Tarefa:

- Instale o capô do motor.

INDICADORES DE PRESSÃO

Indicadores do Tipo Tubo de Bourdon

Indicadores de pressão ou Manômetros são usados para indicar a pressão na qual o óleo do motor está sendo forçado através dos rolamentos, nas passagens de óleo e nas partes móveis do motor, e a pressão na qual o combustível é entregue ao carburador ou controle de combustível.

Esses instrumentos são usados também para medir a pressão do ar nos sistemas de degelo e nos giroscópicos; medem também as misturas ar/combustível na linha de admissão, e a pressão de líquidos e de gases em diversos outros sistemas.

Instrumentos Conjugados dos Motores Convencionais

Os instrumentos dos motores convencionais são geralmente três instrumentos agrupados numa peça única. Um instrumento típico de motor contém indicações de pressão de óleo, indicações de pressão de gasolina e temperatura do óleo, conforme mostra a figura 4-31.

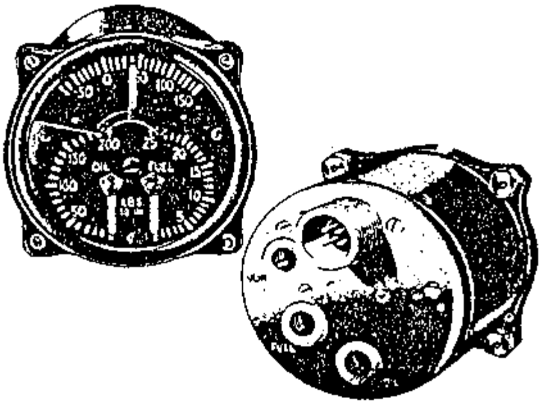


Figura 4-31 Unidade de indicação dos motores

Dois tipos de instrumentos de indicar temperatura do óleo são disponíveis para uso no painel de instrumentos de motor. Um tipo consiste de uma resistência elétrica do tipo termômetro de óleo que trabalha com uma corrente elétrica fornecida pelo sistema C.C. da aeronave. O outro tipo, um termômetro capilar de óleo, é um termômetro do tipo a vapor consistindo de um bulbo conectado por um tubo capilar a um tubo "*Bourdon*". Um ponteiro conectado ao tubo *Bourdon*, através de um mecanismo multiplicador, indica no mostrador a temperatura do óleo.

O tubo *Bourdon* num instrumento de aeronave é uma peça feita de um tubo de metal oval ou achatado, como vemos no corte transversal da figura 4-32.

Essa peça é oca, presa firmemente no estojo do instrumento de um lado, e do outro lado é livre de movimentos; e seus movimentos são transmitidos para um mostrador através de conexões móveis.

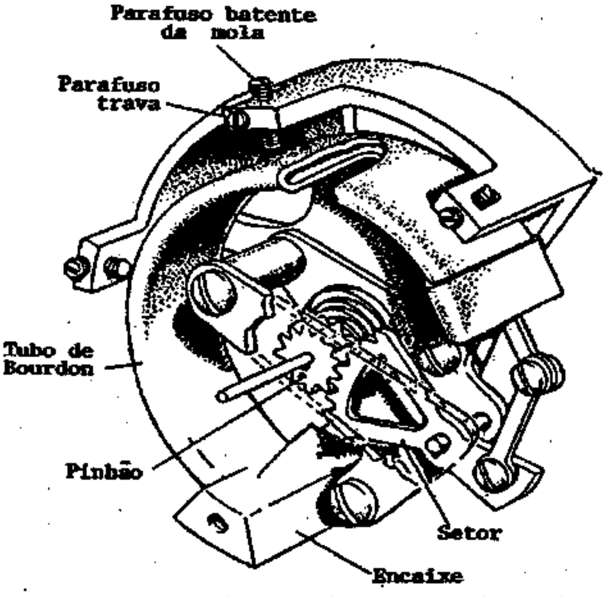


Figura 4-32 Indicador de pressão tipo tubo de Bourdon

O sistema de óleo do motor está ligado ao interior do tubo *Bourdon*. A pressão do óleo existente no sistema, atuando no interior do tubo causa uma deformação pela expansão da peça, devido a força da pressão.

Quando não há pressão, a peça por ser flexível, retorna a sua posição original. Esse movimento de expansão ou retração é transmitido para o mostrador na parte da frente do instrumento, medindo a pressão do fluido.

INDICADORES DA PRESSÃO DE ADMISSÃO

O instrumento de medir a pressão de admissão é muito importante numa aeronave equipada com motor a pistão. O instrumento é projetado para pressão absoluta. Esta pressão é a soma da pressão do ar e a pressão adicional criada por um compressor.

O mostrador do instrumento é calibrado em polegadas de mercúrio (HG).

Quando o motor não está funcionando, o indicador de pressão de admissão registra a pressão atmosférica estática.

Quando o motor está funcionando, a leitura obtida no indicador de pressão de admissão depende da rotação do motor.

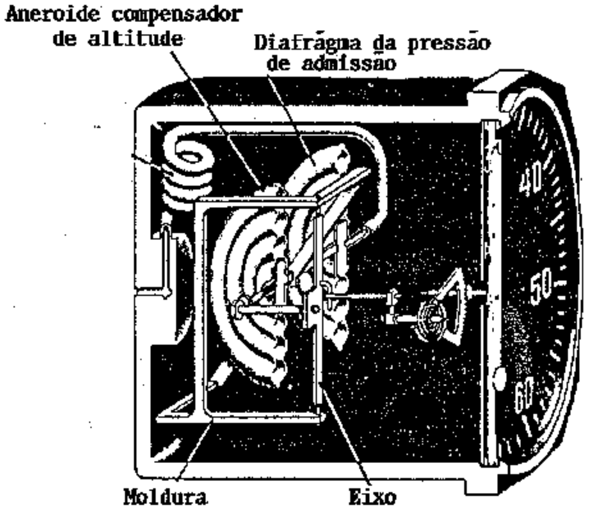

Aneroide compensador de altitude
Diafragma da pressão de admissão
40
50
60
Moldura
Eixo

Figura 4-33 Indicação da pressão de admissão.

A pressão indicada é a pressão imediatamente antes da entrada nos cilindros do motor.

O esquema de um tipo de instrumento de medir pressão de admissão é mostrado na figura 4-33.

O invólucro externo do instrumento protege e contém o mecanismo. Uma abertura atrás do estojo conecta-o com o coletor de admissão no motor.

O instrumento contém um diafragma aneróide, e uma conexão que transmite o movimento do diafragma ao ponteiro. Esse sistema de conexão está completamente isolado da câmara de pressão e, portanto, não está exposto aos vapores corrosivos dos gases da linha de admissão.

A pressão existente no coletor de admissão ingressa na câmara selada através de uma conexão, que é um tubo capilar de extensão curta, na traseira do instrumento.

Esse tubo capilar age como uma válvula de segurança para prevenir danos ao instrumento por possível retrocesso do motor. O aumento repentino de pressão causado por um retrocesso é consideravelmente reduzido pela capilaridade do tubo que tem um diâmetro reduzido.

Quando se instala um indicador de pressão de admissão, um cuidado especial é tomado para assegurar que o ponteiro esteja na posição vertical quando registrar 30" de HG.

Quando o motor não está funcionando, a leitura do instrumento deverá ser a mesma que a pressão atmosférica local. Isso poderá ser verificado através de um barômetro que esteja em condições de operação normal.

Na maioria dos casos, o altímetro do avião pode ser usado porque é um instrumento de medir pressão atmosférica.

Com o avião no solo, os ponteiros do altímetro devem ser posicionados em zero e o painel de instrumento deve ser vibrado algumas vezes com as mãos, para remover qualquer possibilidade de ponteiros travados.

A escala do barômetro no indicador do altímetro mostra a pressão atmosférica quando os ponteiros do altímetro estão em zero. O indicador de pressão da admissão deve ter a mesma leitura de pressão, se isto não ocorre, o instrumento deve ser substituído por outro que esteja operando adequadamente.

Se o ponteiro falha inteiramente em responder, o mecanismo está com toda probabilidade de defeito; o instrumento deve ser removido e substituído.

Se o ponteiro responde, mas indica incorretamente, pode haver umidade no sistema, obstrução nas linhas, um vazamento no sistema ou um mecanismo defeituoso.

Quando há dúvida sob qual desses itens é a causa do mau funcionamento, o motor deve ser operado em regime mínimo, e uma válvula dreno (comumente localizada perto do instrumento) aberta por poucos minutos; isto, usualmente, limpa o sistema da umidade.

Para limpar uma obstrução, as linhas podem ser desligadas e assopradas com ar comprimido.

O mecanismo do instrumento pode ser verificado quanto a vazamentos, desconectando-se a linha final do motor e aplicando pressão de ar até que o instrumento indique 50" de mercúrio, então a linha deve ser rapidamente fechada.

Se o ponteiro do instrumento retorna a indicar a pressão atmosférica, é porque existe um vazamento.

Se um vazamento está evidente, mas não pode ser localizado, o instrumento deve ser substituído.

Indicadores de pressão do tipo síncrono

O síncrono é o equivalente elétrico de um eixo metálico.
Considere-se a barra da figura 4-34 e suponha-se que ela vá imprimir um movimento rotatório.

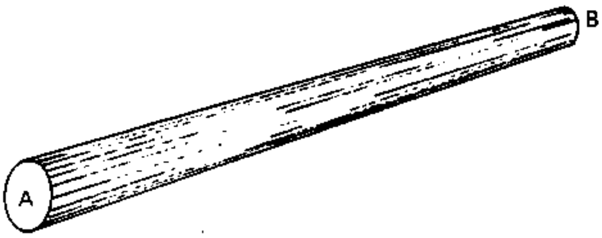


Figura 4-34 Barra A e B

As extremidade "A" e "B" giram do mesmo modo, isto é, ao mesmo tempo, com a mesma rapidez e com o mesmo deslocamento. O eixo rígido, às vezes, não se presta a transmitir diretamente o movimento ou uma indicação dele, visto poder existir entre as duas extremidades do eixo, objetos que não podem ser atravessados por ela.

Nesse caso, o usual é o emprego de pequenos eixos acoplados, por engrenagens, dispostos em ângulos que contornem o objeto. Para longas distâncias e quando se tem que fazer vários contornos o sistema é, evidentemente, muito complexo e seria absurdamente dispendioso.

Uma solução mecânica consistiria na instalação de um eixo flexível, como o que é usado nos automóveis, transferindo a rotação das rodas do veículo ao velocímetro.

O eixo flexível transmite com precisão diminutas forças rotatórias. Ao se exigir dos eixos esforços razoavelmente intensos, o eixo começa a se torcer e a carga não acompanha a força rotatória com a precisão exigida em determinadas operações. Os eixos flexíveis introduzem muita fricção no sistema, não respondendo aos deslocamentos ao mesmo tempo e à mesma velocidade.

O sistema síncrono possui vários dispositivos diferentes, que reagem de maneira distinta e podem ser usados para desempenhar uma função ou várias, quando associados.

O estudo do sistema síncrono envolve conhecimentos de eletricidade e eletrônica, visto haver, em alguns amplificadores de sinal, motores comuns e especiais demandando tempo para seu estudo e dos componentes onde serão aplicados. O sistema síncrono constitui, pois, estudo em separado. Ver-se-á o sincrogerador e o sincromotor, que são os de emprego imediato em transmissão de posição em alguns instrumentos.

O síncrono é um dispositivo elétrico, com aparência de motor; e normalmente ligado em paralelo a outros síncronos. Atua como um eixo flexível do qual se tenha eliminado toda a fricção e acrescentando as qualidades do eixo rígido.

Quando se faz girar o eixo de um síncrono, ele transmite impulsos elétricos através dos fios condutores que ligam-no ao(s) outro(s) síncrono(s). Estes impulsos elétricos fazem com que o eixo do outro síncrono tenha o mesmo deslocamento, ao mesmo tempo e à mesma velocidade. O eixo controlador e o controlado podem ficar bem distantes, sendo contornado qualquer obstáculo de fricção.

O gasto de energia é pouco e é evitada a grande complexidade de um sistema inteiramente mecânico.

Constituição de um Sincrogerador

O estator e o rotor são as partes principais.

O estator consiste de uma tampa superior, de uma carcaça e de uma tampa inferior.

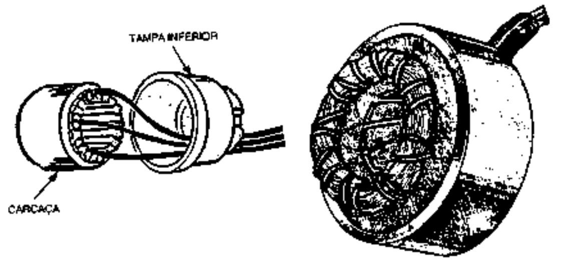

TAMPA INFERIOR
CARCAÇA

Figura 4-35 Constituição de um sincrogerador

A carcaça é ranhurada internamente e essas ranhuras alojam o enrolamento do estator. O enrolamento do estator é um conjunto de três enrolamentos distintos, situados a 120º entre si, ligados em estrela, representado na figura 4-36.

Resultam dessa ligação em estrela três terminais que passam através da parte inferior, conforme a figura 4-37, e servem para transmitir um sinal elétrico ao sincromotor, sempre que se fizer girar o eixo do sincro-gerador.

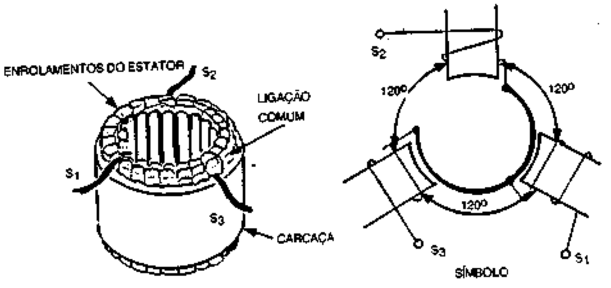

ENROLAMENTOS DO ESTATOR
S_2
LIGAÇÃO COMUM
S_1
S_3
CARCAÇA
S_2
120º
120º
120º
S_3
S_1
SÍMBOLO

Figura 4-36 Enrolamento do estator

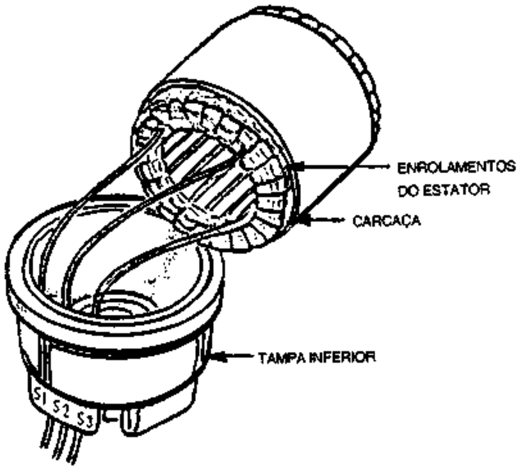

ENROLAMENTOS DO ESTATOR
CARCAÇA
TAMPA INFERIOR
S_1 S_2 S_3

Figura 4-37 Ligação entre a carcaça e a tampa inferior

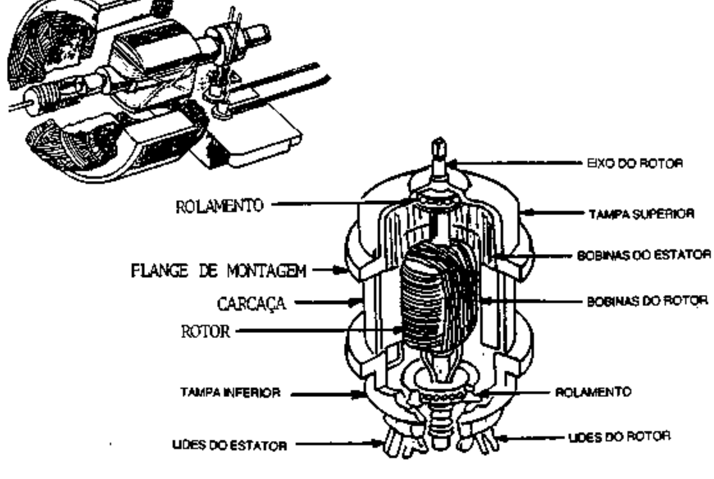

EIXO DO ROTOR
ROLAMENTO
TAMPA SUPERIOR
BOBINAS DO ESTATOR
FLANGE DE MONTAGEM
CARCAÇA
BOBINAS DO ROTOR
ROTOR
TAMPA INFERIOR
ROLAMENTO
LIDES DO ESTATOR
LIDES DO ROTOR

Figura 4-38 Visão em corte de um sincrogerador

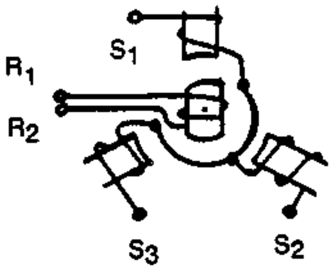

S1
R1
R2
S3
S2

Figura 4-39 Símbolo representativo do sincromotor

O rotor consiste de duas bobinas ligadas em série, formando um enrolamento contínuo.

Os extremos do conjunto do rotor são montados sobre rolamentos que se assentam nas tampas superior e inferior da carcaça. Veja a figura 4-40.

As extremidades do enrolamento do rotor ligam-se a dois anéis coletores que, através de escovas, recebem alimentação de corrente alternada em seus terminais R_1 e R_2.Veja a figura 4-41.

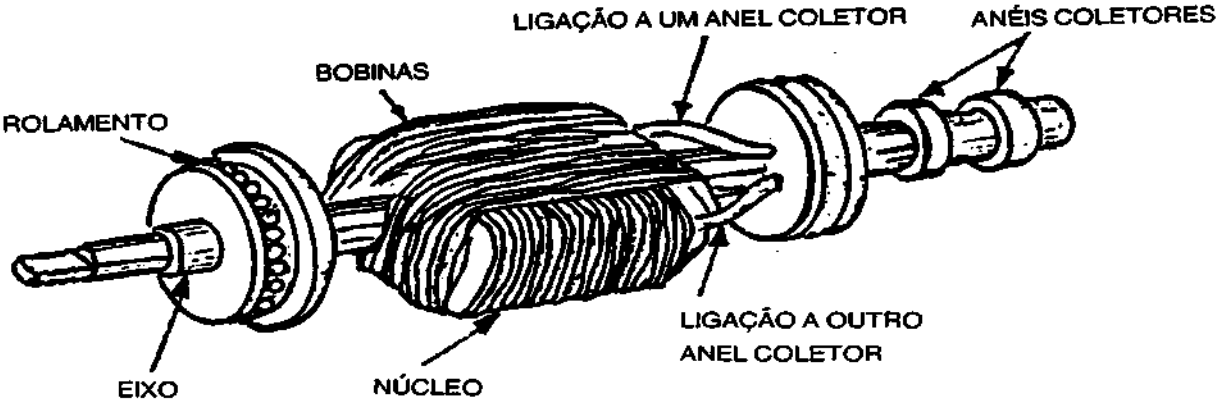

LIGAÇÃO A UM ANEL COLETOR
ANÉIS COLETORES
BOBINAS
ROLAMENTO
LIGAÇÃO A OUTRO
ANEL COLETOR
EIXO
NÚCLEO

Figura 4-40 Rotor do sincrogerador

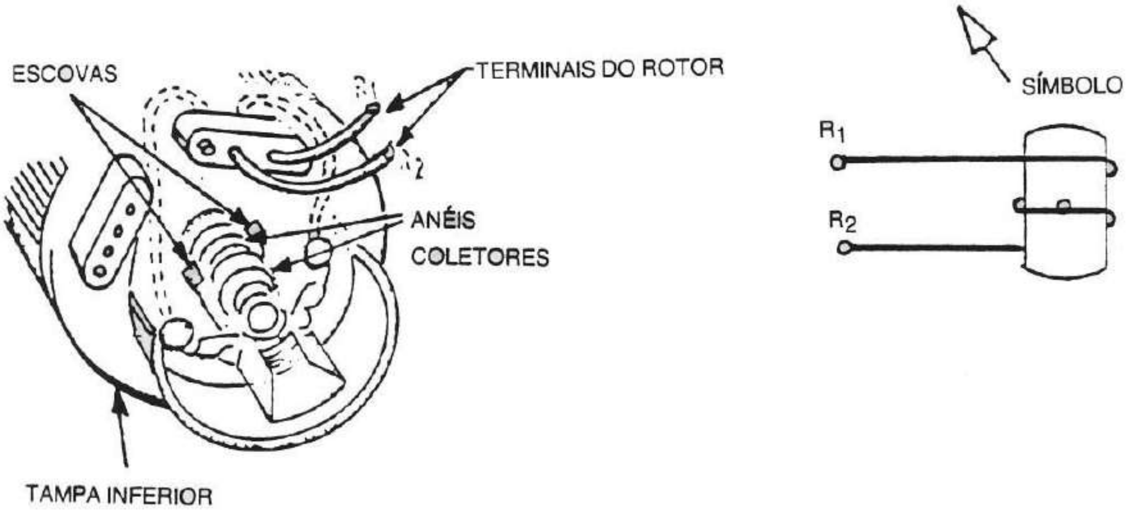

ESCOVAS
TERMINAIS DO ROTOR
ANÉIS
COLETORES
TAMPA INFERIOR
SÍMBOLO
R1
R2

Figura 4-41 Escovas do sincrogerador

Constituição de um Sincromotor

A construção do sincromotor é semelhante à do sincrogerador. Os estatores são iguais.

A figura 4-42 apresenta o símbolo (em três variantes) do sincromotor; sendo usada a "B" quando se deseja explicar o seu funcionamento.

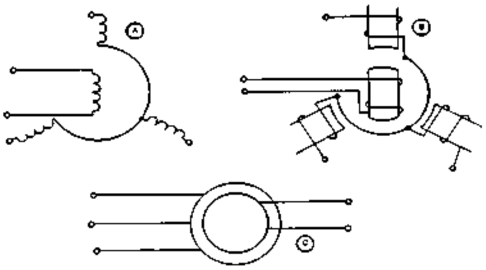


Figura 4-42 Simbologia do sincromotor

Funcionamento do sincrogerador e sincromotor

Sejam 3 ímãs de mesma intensidade, dispostos a 120º, num aro que possa girar livremente, conforme a figura 4-43. No centro do aro, apoiado em um pivô, tem-se outro ímã, igualmente livre para girar em torno de um pivô.

Os três campos magnéticos combinar-se-ão para formar um campo magnético resultante, atuando simultaneamente sobre o ímã central, como se fossem um único ímã, conforme pode ser visto na figura 4-44.

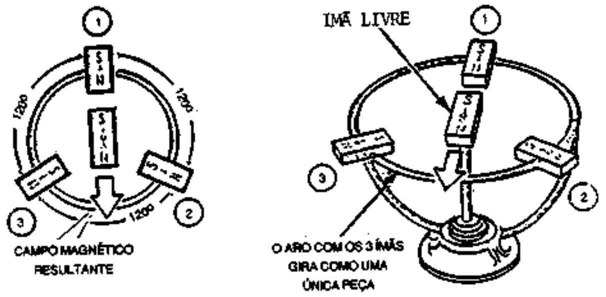

①
120°
120°
120°
②
③
CAMPO MAGNÉTICO RESULTANTE
IMÃ LIVRE
①
②
③
O ARO COM OS 3 ÍMÃS GIRA COMO UMA ÚNICA PEÇA

Figura 4-43 Disposição dos ímãs

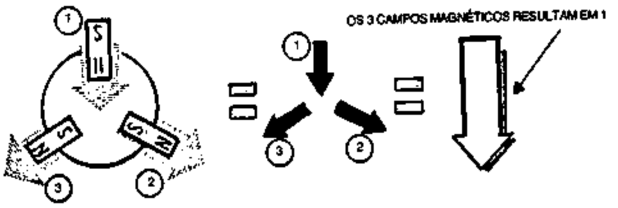


Figura 4-44 Combinação dos campos magnéticos

Se os três ímãs forem girados 120º, o campo magnético resultante também girará 120º. A figura 4-45 mostra dois deslocamentos de 120º e as posições do campo resultante e do ímã natural.

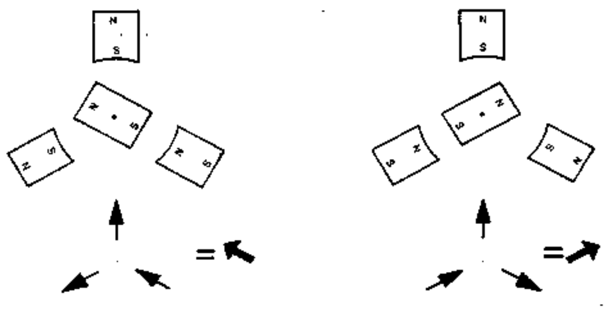


Figura 4-45 Deslocamento dos ímãs e posição resultante

Se os três ímãs forem girados um grau, o ímã central girará um grau. Se forem girados dois graus, o ímã central girará dois graus e, assim, sucessivamente. O ímã central acompanhará o campo resultante dos três ímãs.

Se o ímã central tiver intensidade suficiente e for girado, os três ímãs acompanharão seu movimento.

Se no lugar dos ímãs forem usados eletroímãs as ações descritas também terão lugar.

Campos Magnéticos do Rotor e Estator

Seja um sincrogerador ligado em paralelo a um sincromotor, conforme a figura 4-46.

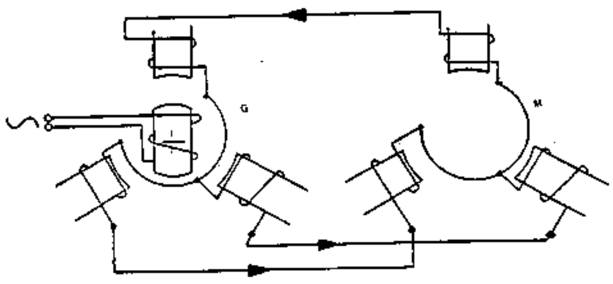


Figura 4-46 Ligação em paralelo entre o sincroge-rador e o sincromotor

Ao rotor do sincrogerador aplica-se uma tensão alternada.

Por ação de transformador, o rotor induzirá tensões nos três enrolamentos do estator. Segundo a Lei de Lens a tensão induzida no estator terá uma polaridade que fará circular uma corrente que criará um campo contrário ao que lhe deu origem (o campo do rotor).

Os três campos do estator, contrários ao do rotor, resultarão num campo contrário ao do rotor, como se ilustra na figura 4-47.

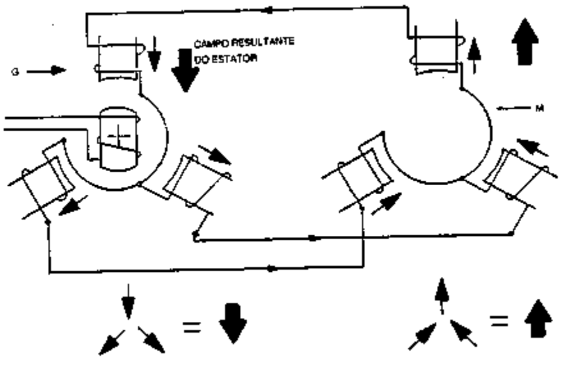


Figura 4-47 Campo resultante, contrário ao do rotor

Os enrolamentos das bobinas do estator do sincrogerador e do sincromotor têm o mesmo sentido. Observa-se que o estator do sincrogerador é fonte para o estator do sincromotor e nota-se que as correntes fluem em sentido contrário nas bobinas. Bobinas enroladas no mesmo sentido e com correntes de sentido diferente originam campos magnéticos de polaridades opostas.

O campo magnético de cada bobina do sincromotor será oposto ao campo de cada bobina do sincrogerador. O campo resultante terá o mesmo sentido do campo do rotor e sentido inverso ao do campo do estator do sincrogerador.

Se o rotor do sincrogerador for girado 60º o campo magnético do estator girará também 60º, visto que o ângulo de indução mudou e, em conseqüência, a intensidade das correntes e tensões induzidas.

Como o campo magnético depende da intensidade da corrente e, há agora maior indução, tensão e corrente em S_3, esse terá o maior campo, sendo o campo magnético resultante orientado em seu sentido.

O campo magnético do estator do sincromotor terá uma resultante a 60º de que tinha antes, pelos mesmos motivos ocasionaram a mudança no campo magnético resultante do estator do sincrogerador (indução, tensão e corrente) conforme a figura 4- 48.

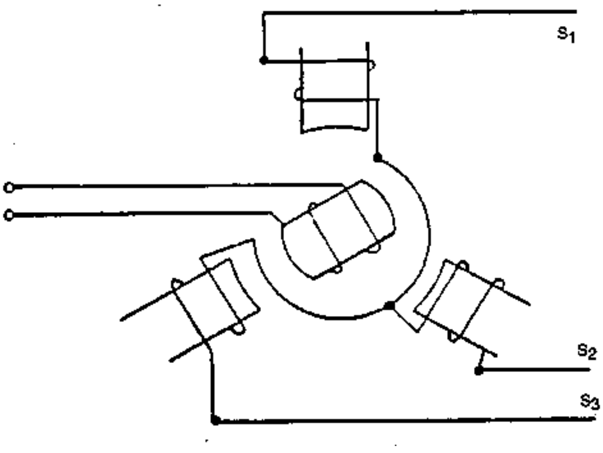


Figura 4-48 Mudança do campo magnético a 60º da posição anterior

Se, agora, ao sincromotor acrescentar-se um rotor e este for ligado em paralelo ao rotor do sincrogerador, como a na figura 4-49 ter-se-á um eletroímã que gira em função das alterações do campo magnético de seu estator.

Como o campo magnético resultante do sincrogerador depende do movimento do seu rotor e como o campo magnético resultante do estator do sincromotor depende também desse movimento e origina o movimento do rotor do sincromotor, segue-se que o giro do rotor do sincromotor depende e acompanha o giro do rotor do sincrogerador.

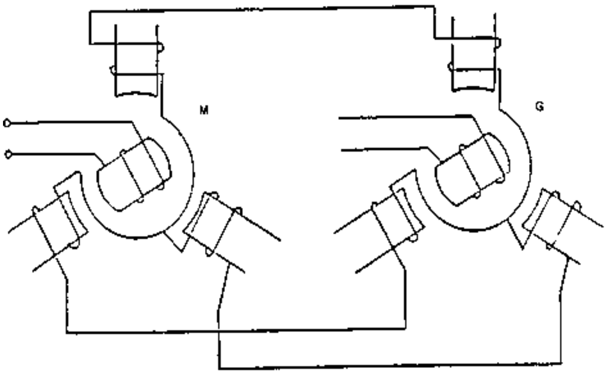


Figura 4-49 Eletroímã seguindo as alterações do campo magnético do seu estator

INDICADORES DE PRESSÃO DE ÓLEO

Princípio de Funcionamento

Indicação de pressão de óleo pode ser obtida através de um sistema síncrono onde eletromagnetos são usados como rotor.

Os rotores são excitados por uma corrente alternada de 26 volts e 400 hertz, através de anéis deslizantes e escovas ou através de molas capilares.

Os rotores no indicador e o transmissor são ligados em paralelo e são eletricamente idênticos.

Envolvendo os rotores encontram-se os estatores trifásicos enrolados em delta, também ligados em paralelo. A CA do rotor induz a tensão nos enrolamentos do estator e, como o rotor do transmissor está mecanicamente ligado ao objeto cujo movimento está sendo medido, quando ele se move a relação da fase nos enrolamentos do estator muda.

Os dois estatores estão em paralelo, assim, suas relações de fase são as mesmas, e o campo magnético no indicador motiva seu rotor a mover-se até que ele tenha a mesma relação com o estator, como o rotor no transmissor.

Um ponteiro leve é fixado ao rotor indicador e segue o movimento do transmissor.

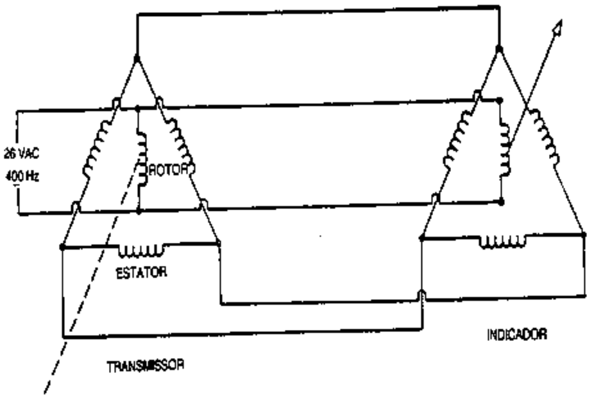

26 VAC
400 Hz
ROTOR
ESTATOR
INDICADOR
TRANSMISSOR

Figura 4-50 Circuito elétrico de um sistema síncrono de indicação

Transmissor de Pressão de Óleo

O transmissor é uma unidade selada do tipo cápsula. Uma engrenagem dentada transmite, através de uma alavanca tipo balancim, a alteração de pressão, sentida pelas cápsulas, a um eixo do síncrono.

O síncrono do transmissor é eletricamente ligado ao indicador, que converte a indicação recebida, pela deflexão das cápsulas, numa indicação visual de pressão (normalmente a unidade é o PSI).

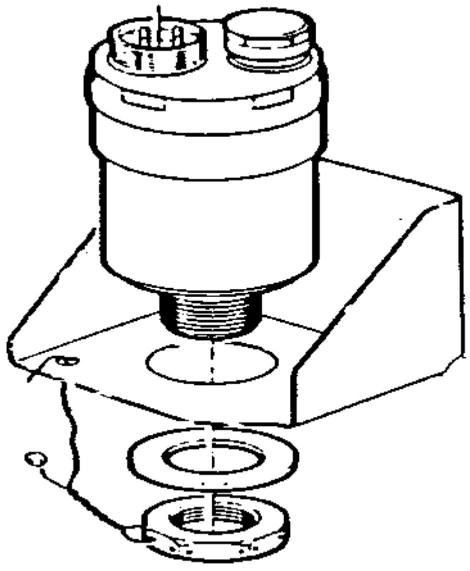


Figura 4-51 Transmissor de pressão de óleo

Operação

Um sistema típico de indicação de óleo é mostrado na figura 4-52.

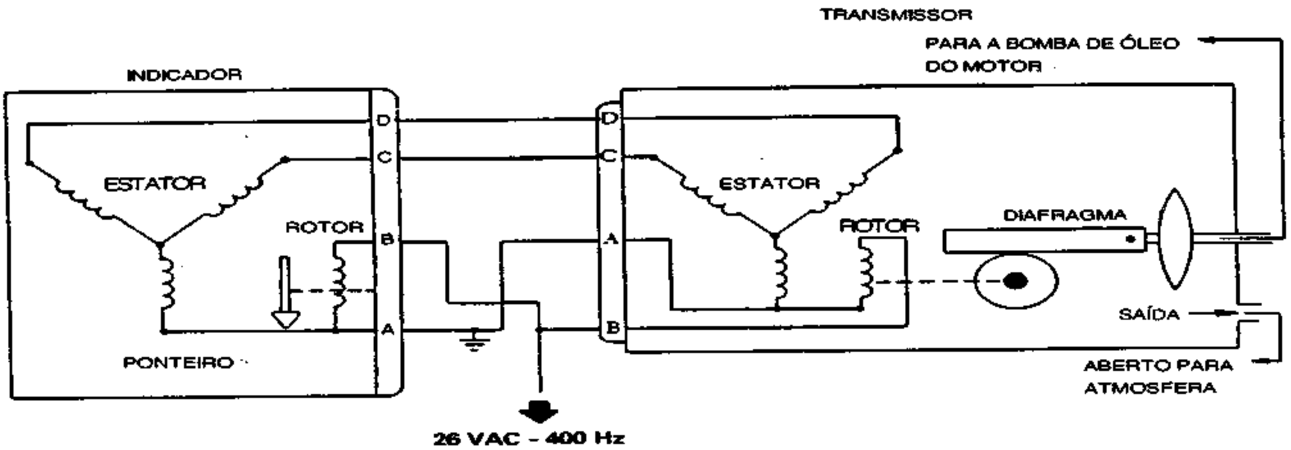

TRANSMISSOR
PARA A BOMBA DE ÓLEO DO MOTOR
INDICADOR
D
C
B
A
ESTATOR
ROTOR
PONTEIRO
D
C
A
B
ESTATOR
ROTOR
DIAFRAGMA
SAÍDA
ABERTO PARA ATMOSFERA
26 VAC - 400 Hz

Figura 4-52 Diagrama esquemático de um sistema síncrono de indicação de pressão de óleo

A pressão a ser medida provém da bomba de óleo do motor.

O elemento sensível (diafragma) é conectado mecanicamente por uma articulação, eixo oscilante a engrenagens, a um pinhão fixado na unidade sincrônica.

A articulação converte qualquer variação da função que está sendo medida em movimento giratório para o motor síncrono, como nos mostra a figura 4-53.

A razão de deslocamento é proprocional à pressão e variações de tensão são transferidas ao estator.

Estas tensões por sua vez são transmitidas para o indicador síncrono. A corrente é aplicada ao rotor do indicador por meio de escovas e anéis coletores.

O ponteiro está diretamente colocado no rotor e se move sobre o mostrador do instrumento.

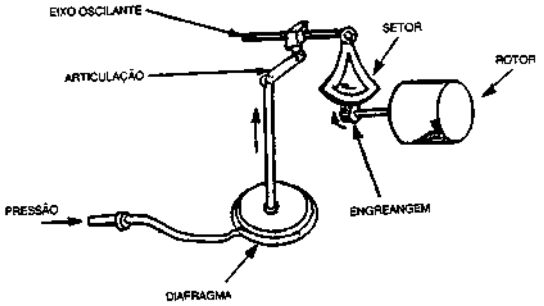


Figura 4-53 Mecanismo de transmissão da pressão do óleo

Os indicadores podem ser simples ou duplos.

Os simples possuem uma só unidade sincrônica e os duplos possuem duas dando, em um só instrumento, indicação dupla.

O mecanismo do indicador duplo tem os rotores montados diretamente um atrás do outro. O eixo do rotor do motor dianteiro, é oco.

Um eixo de extensão vindo do motor traseiro alcança seu respectivo ponteiro no mostrador passando através deste eixo oco.

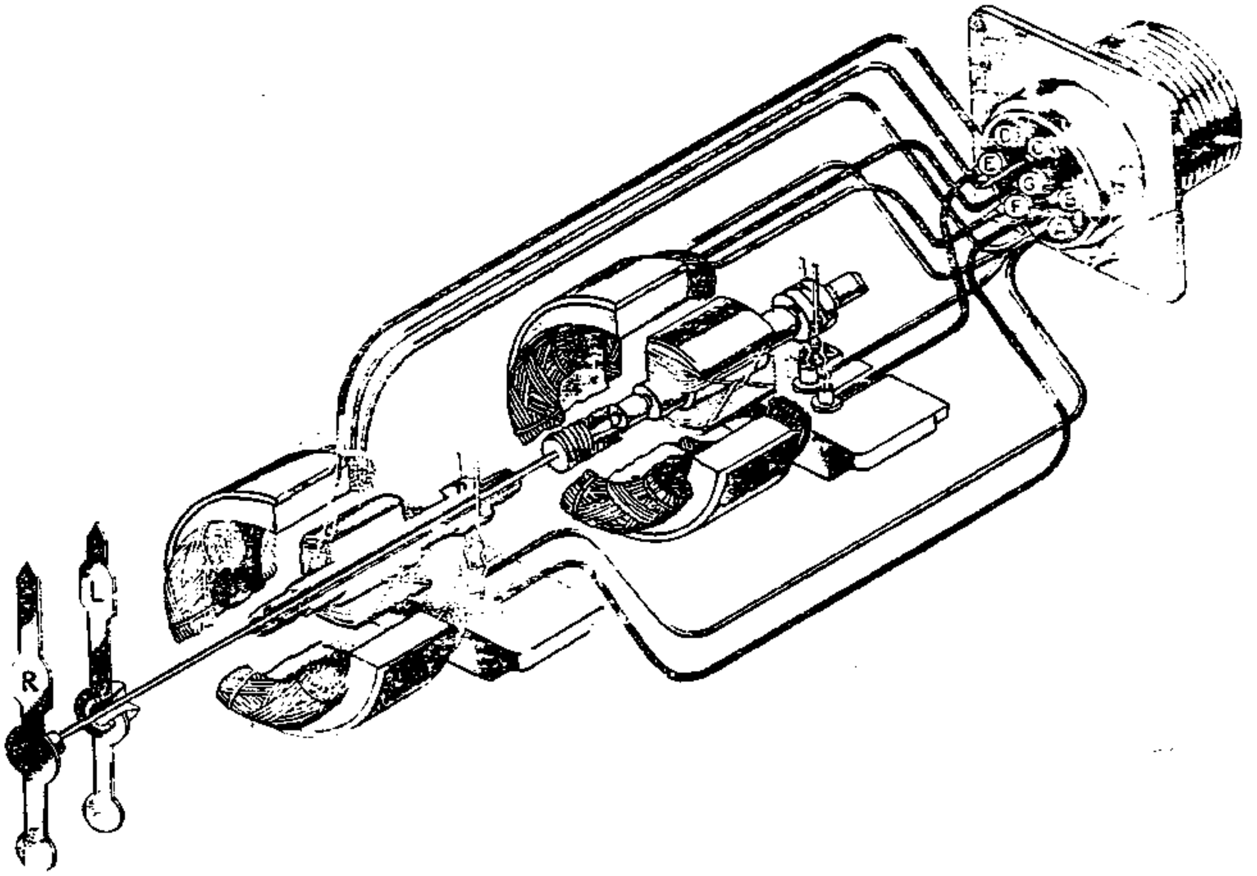


Figura 4-54 Mecanismo do indicador dupko de pressão de óleo

SISTEMAS DE MEDIR FLUXO DE COMBUSTÍVEL

Sistemas de indicação de fluxo de combustível são usados para indicar consumo de combustível.

Eles são, na maioria das vezes, instalados nos aviões maiores, multimotores, mas eles podem ser encontrados em qualquer tipo de aeronave onde o fator economia de combustível é um detalhe muito importante. Um sistema típico de medidor de fluxo de combustível para o motor a pistão consiste de um transmissor de fluxo e um indicador.

O transmissor está usualmente ligado na linha de combustível que une a saída do carburador a válvula de alimentação de combustível, ou bico ejetor. O indicador está normalmente montado no painel de instrumentos. Um corte transversal de um transmissor típico é mostrado na figura 4-55. A gasolina passando pela entrada da câmara de combustível é direcionada contra uma palheta medidora, causando a mudança de sua posição dentro da câmara.

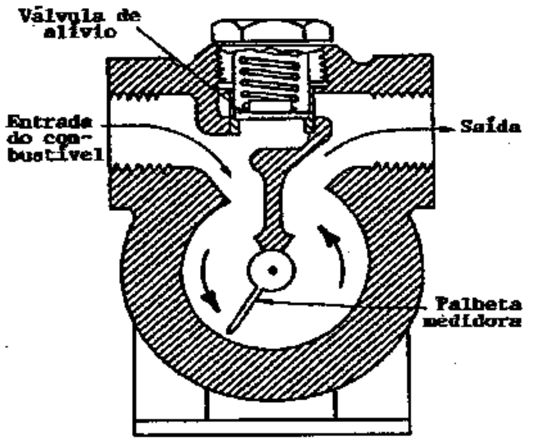

Válvula de alívio
Entrada do combustível
Saída
Palheta medidora

Figura 4-55 Câmara de combustível do medidor de fluxo

Quando a palheta é movida de uma posição fechada pela pressão do fluxo de gasolina, a distância entre a palheta e a câmara de combustível torna-se gradativamente maior, e este movimento é transmitido ao eixo na qual a palheta está ligada.

A figura 4-56 mostra uma vista detalhada de um sistema de medir fluxo de combustível. A palheta medidora move-se contra a força oposta de uma mola.

Quando a força criada por um determinado fluxo de combustível está equilibrada com a tensão da mola, a palheta torna-se imóvel.

A palheta é conectada magneticamente ao rotor de um transmissor que gera sinais elétricos para indicar em um instrumento na cabine. A distância que a palheta medidora se move é proporcinal e mede a razão do fluxo.

O sistema tem um amortecedor que elimina as flutuações causadas por bolhas de ar no combustível.

Há uma válvula de alívio dentro da câmara que permite o dreno de combustível quando o fluxo é maior que a capacidade da câmara.

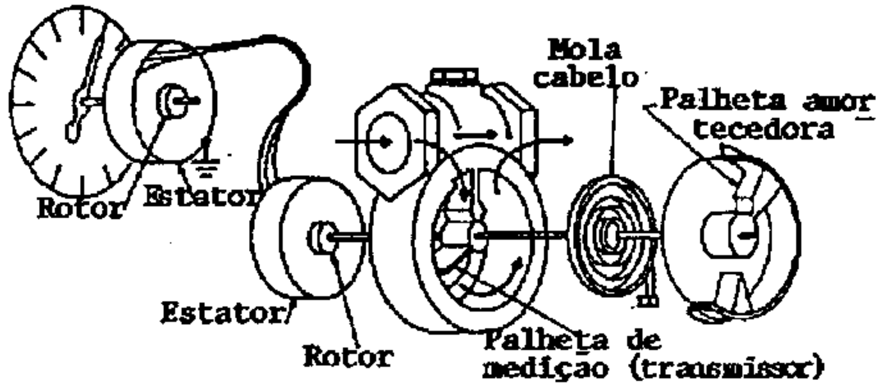

Mola cabelo
Palheta amortecedora
Rotor
Estator
Estator
Rotor
Palheta de medição (transmissor)

Figura 4-56 Sistema medidor do fluxo de combustível

Um esquema simplificado de um sistema de “FUEL FLOW” do tipo palheta (figura 4-57) mostra a palheta medidora ligada ao transmissor do“FUEL FLOW”, e o rotor do indicador ligado a uma fonte de força comum com um transmissor. O mostrador de um indicador de fluxo é mostrado na figura 4-58. Alguns indicadores de fluxo de combustível são calibrados em galões por hora, mas a maioria deles indica a medida do fluxo em libras.

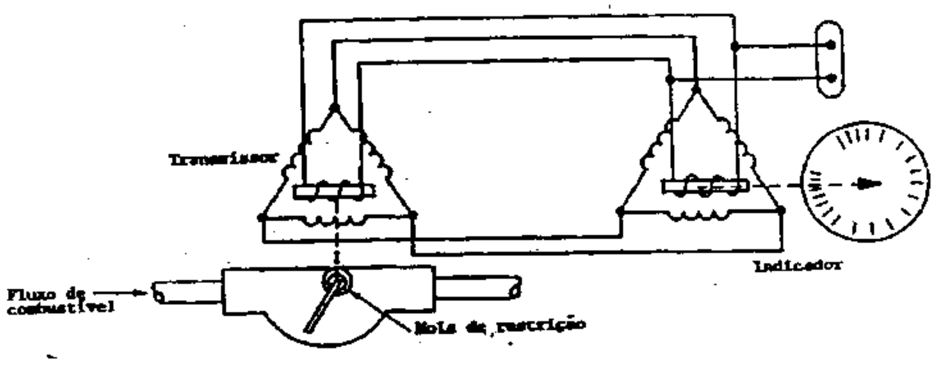

Transmissor
Indicador
Fluxo de combustível
Mola de restrição

Figura 4-57 Esquema de um sistema de medição de fluxo tipo palheta

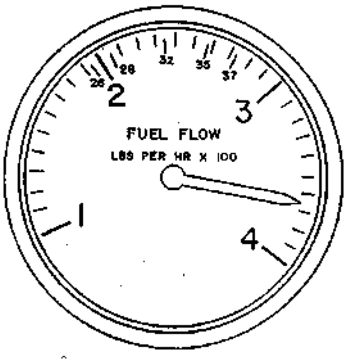

26
28
32
35
37
2
3
FUEL FLOW
LBS PER HR X 100
1
4

Figura 4-58 Típico indicador de fluxo de combustível

O sistema do fluxo usado nos motores a turbina é na maioria das vezes um sistema mais complexo do que aqueles usados nos motores a pistão.

No esquema mostrado na figura 4-59, dois cilindros, um impulsor, e uma turbina são montados na linha principal de combustível ligada ao motor.

O impulsor é movido a uma velocidade constante por um motor especial de três fases.

O impulsor é montado formado um momento angular como o fluxo de combustível fazendo com que a turbina gire até que a mola reguladora calibrada provoque o equilíbrio de forças devido ao momento angular do fluxo de combustível.

A deflexão da turbina posiciona o magneto permanente no transmissor de posição a uma posição correspondente ao fluxo de combustível na linha. Esta posição da turbina é transmitida eletricamente ao indicador na cabine.

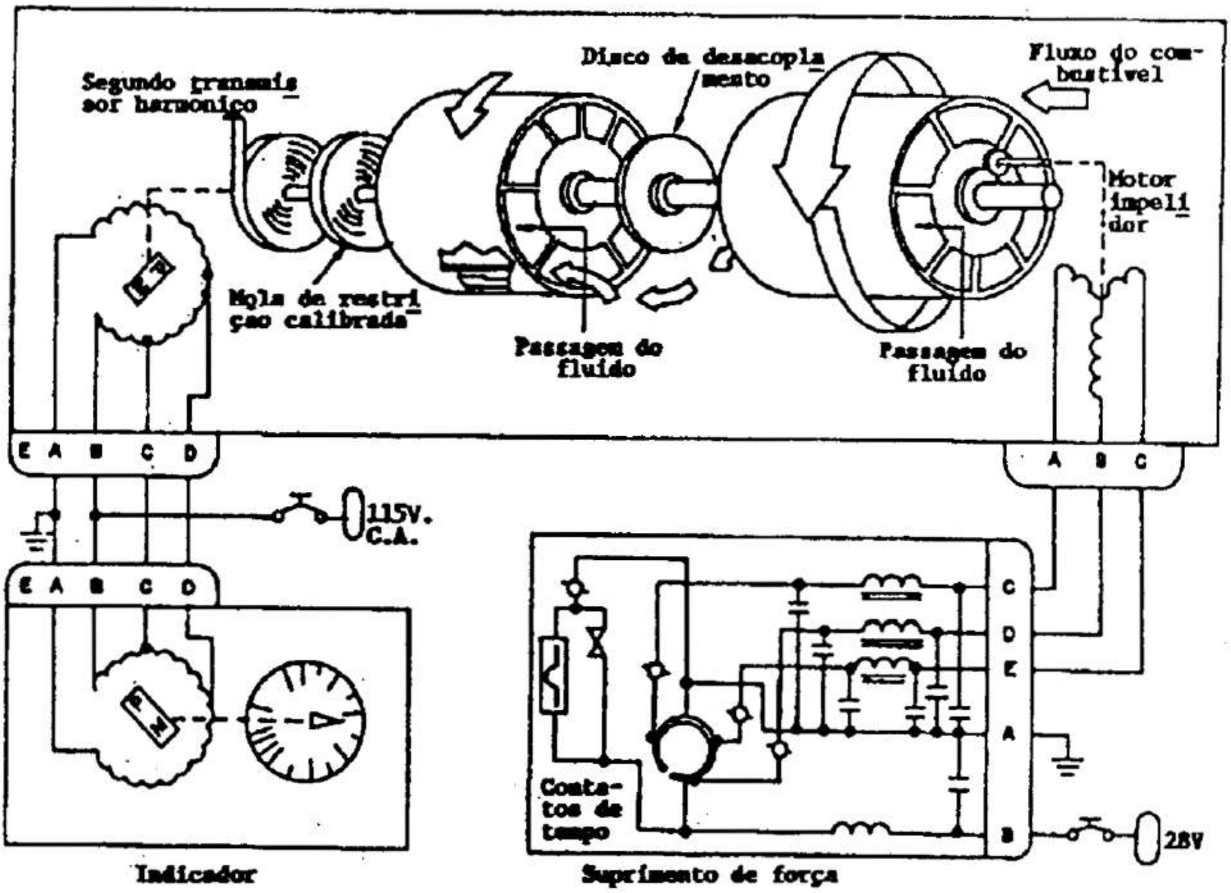

Segundo transmissor harmonico
Disco de desacoplamento
Fluxo do combustivel
Motor impelidor
Mola de restrição calibrada
Passagem do fluido
Passagem do fluido
E A B C D
115V. C.A.
E A B C D
A B C
C
D
E
A
B
Contatos de tempo
28V
Indicador
Suprimento de força

Figura 4-59 Esquema de um sistema medidor de fluxo de combustível de um grande motor a reação

INDICADORES DE ROTAÇÃO (TACÔMETROS)

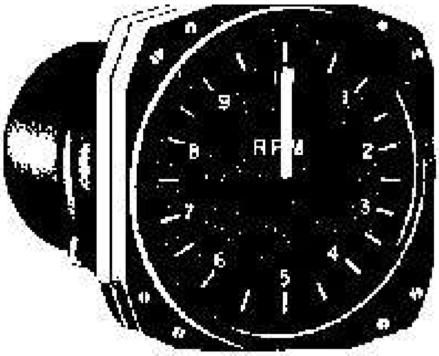
O indicador tacômetro é um instrumento usado para indicação da velocidade de rotação dos conjuntos compressor/turbina do compressor (Ng) e turbina de potência/hélice (Nh) em motores turboélices ou para medidas de rotação da hélice em motores convencionais, ou do eixo-rotor em jatoturbo.

Existem aeronaves onde o sistema de rotação é composto de três subsistemas independentes, cada um fornecendo indicação de rotação dos seguintes conjuntos rotativos: turbina de potência/hélice (Np), rotor de alta pressão (Nh) e rotor de baixa pressão (NI).

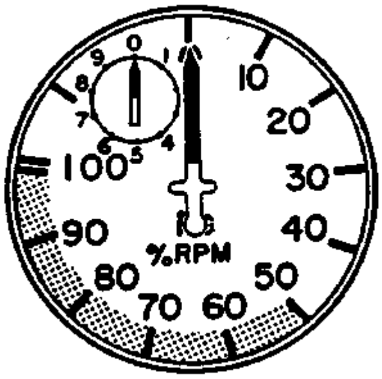
Os ponteiros dos indicadores tacômetros usados em motores convencionais são calibrados em Rotações Por Minuto (RPM) e os dos motores a reação em porcentagem de RPM.

Alguns indicadores modernos possuem, além da escala analógica, uma outra digital (cristal líquido). Existem três tipos de sistemas tacômetros usados em grande escala atualmente:

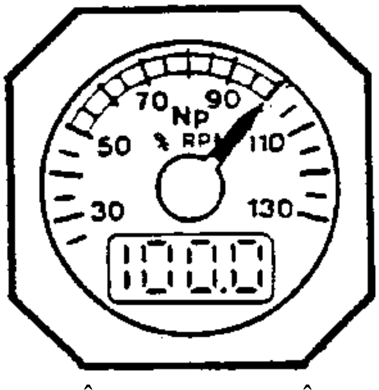
A -Mecânico;
B -Elétrico;
C -Eletrônico.



A - TACÔMETRO MECÂNICO



B - TACÔMETRO ELÉTRICO



C - TACÔMETRO ELETRÔNICO

Figura 4-60 Tipos de tacômetros

Tacômetro Mecânico

O tacômetro de tração magnética tem substituído todos os outros tipos de tacômetros mecânicos em aviões modernos. É idêntico em princípio e muito parecido, na sua construção, a um velocímetro de automóvel e, como resultado de grande quantidade produzida, seu custo é relativamente baixo. Um cabo de aço flexível movimentando-se na metade da velocidade do motor, é introduzido na parte traseira do tacômetro e aciona um ímã permanente, veja a figura 4-61.

Uma concha de arrasto de alumínio ou cobre movimenta-se sobre o ímã, cortando as linhas de fluxo, enquanto o ímã gira, mas não o toca. Fixo à concha de arrasto existe um anel de material magnético.

A concha tem um eixo protuberante no seu centro, ao qual um ponteiro é ligado.

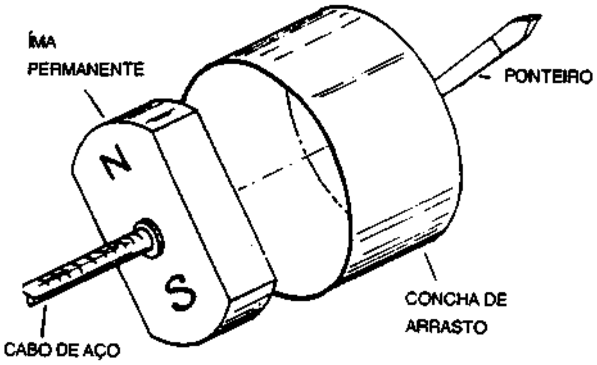


Figura 4-61 Tacômetro de tração magnética

O ponteiro é mantido contra um batente por uma mola capilar calibrada.

Quando o ímã, gira, suas linhas de fluxo geram uma tensão na concha de arrasto, provocando o fluxo de uma corrente (uma corrente parasita). Esta corrente cria um campo magnético na concha. A força deste campo é proporcional à velociddae em que o ímã é girado, assim, a concha de arrasto girará contra a mola capilar com uma força proporcional à velocidade do motor.

O ponteiro move-se através do mostrador para indicar a velocidade do motor.

A calibragem pode ser feita movendo-se a ponta da âncora da mola capilar, entretanto, na prática usual, o baixo custo desses instrumentos toma impraticável sua manutenção em uma oficina de instrumentos.

A fábrica, com isto em mente, enruga o engaste do estojo de tal forma que o único modo de se abrir o instrumento é forçando o estojo com uma ferramenta. Eles normalmente são substituídos em vez de serem reparados.

A exatidão desses instrumentos não é tal que possa ser confiável num trabalho de precisão; assim, no caso de encontrar-se um motor que não consegue atingir a adequada RPM estática ou no caso de ser impossível sincronizar os motores num bimotor, é aconselhável checar a precisão do tacômetro ou trocá-lo por outro que esteja reconhecidamente bom.

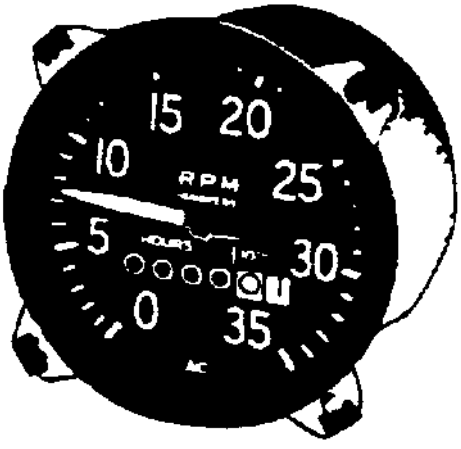


Figura 4-62 Tacômetro de tração magnética

Os tacômetros de tração magnética freqüentemente têm um medidor de horas, (veja a figura 4-62) similar ao odômetro em um velocímetro de automóvel. Este medidor de horas é preciso apenas em uma velocidade, a de cruzeiro, que é normalmente estampada no estojo do instrumento.

Os tacômetros para pequenos aviões de aviação geral diferem em suas marcações e calibragens no medidor de horas e, por esta razão, não são geralmente intercambiáveis entre diferentes modelos de aviões, ainda que seus princípios de funcionamento sejam os mesmos.

O cabo, algumas vezes chamado de cadeia, é a origem da maioria dos problemas com este tipo de instrumento.

É feito de um fio de aço de mola bifilar, construído de modo que em qualquer direção da rotação apertará um dos invóllucros e evitará seu desenrolamento.

É fechado em uma camisa de aço e lubrificado com graxa grafitada.

Tanto o excesso quanto a falta de graxa, fará com que o cabo interfira na suave indicação do instrumento e se houver qualquer dobra ou folga na camisa, o indicador oscilará.

Tacômetro Elétrico

O tacômetro elétrico (tacogerador) é na realidade um gerador CA trifásico movimentado oelo motor. A figura 4-63 aoresenta o tacogerador e sua localização na turbina PT6 para medidas de Ng e Nh.

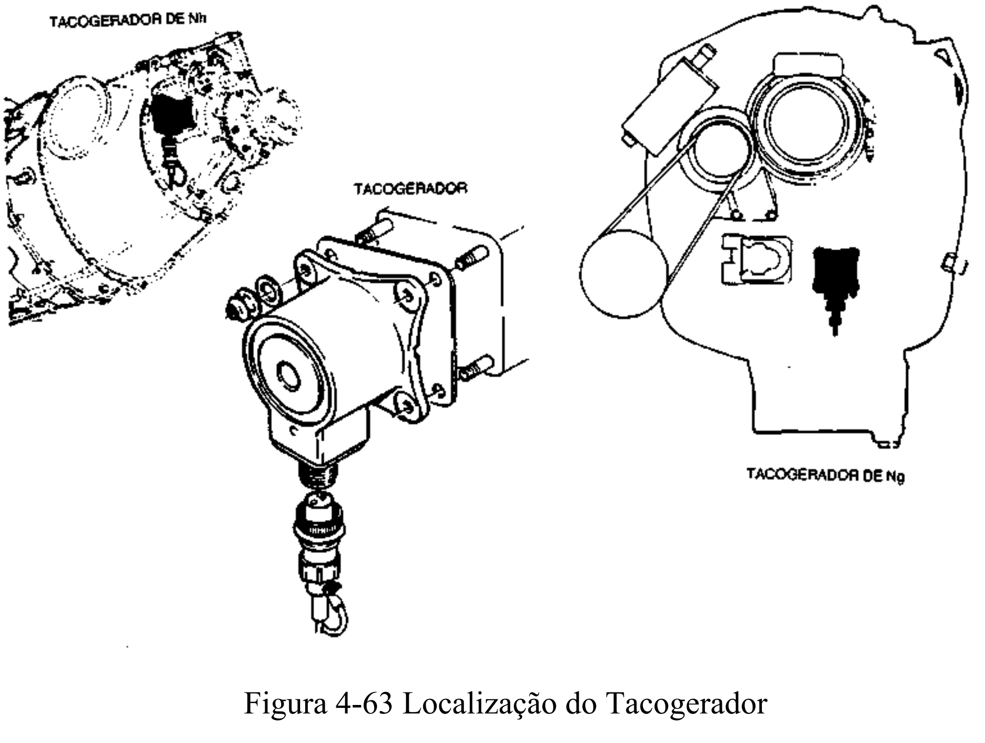


Figura 4-63 Localização do Tacogerador

Os tacogeradores produzem uma corrente trifásica, cuja freqüência é proporcional à rotação com que são acionados.

A tensão de saída do gerador varia com sua velocidade, porém, neste caso, não é a tensão que interessa e sim a freqüência. A tensão gerada faz girar um pequeno motor síncrono, instalado no interior do indicador que gira exatamente na mesma velocidade que o gerador.

O motor síncrono move um outro ímã permanente, que opera um mecanismo de tração magnética, similar ao usado no tacômetro mecânico.

À medida que a rotação do motor síncrono aumenta, como conseqüência do aumento de rotação do tacogerador, o ponteiro desloca-se no mostrador dando a indicação em RPM ou em porcentagem de RPM.

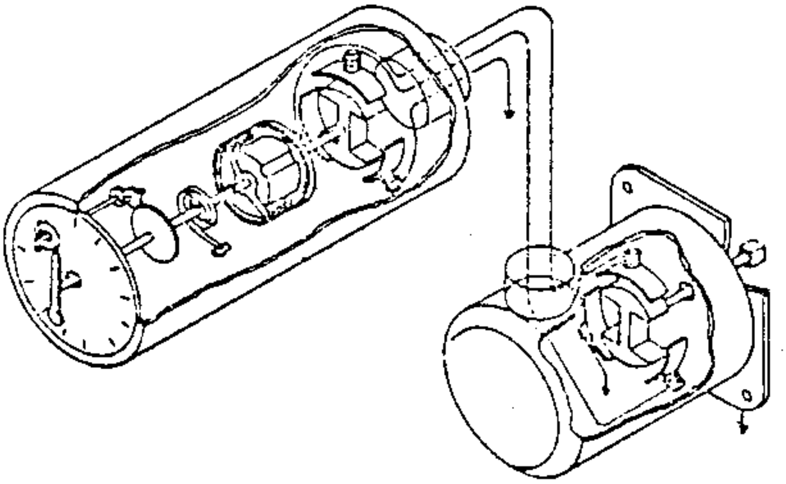


Figura 4-64 Ligação esquemática entre o tacogerador e o tacômetro

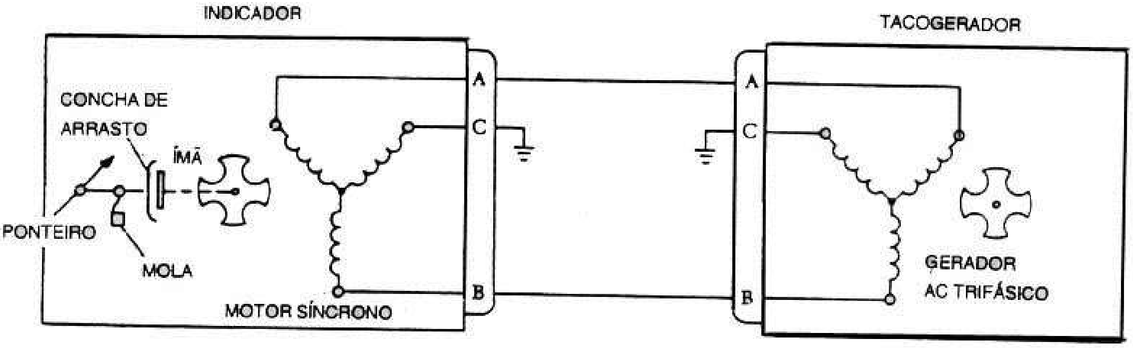


Figura 4-65 Ligação elétrica entre o tacogerador e o indicador

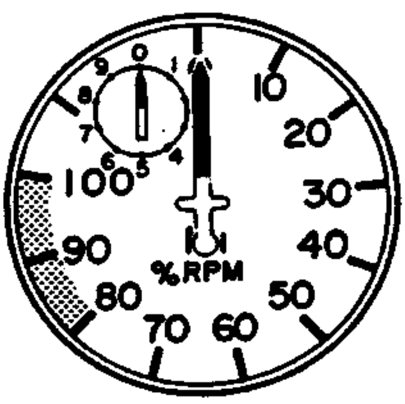


Figura 4-66 Tacômetro elétrico

A força do ímã (que pode ser bipolo ou tetrapolo, dependendo do modelo do tacogerador) não é tão crítica quanto deveria ser caso fosse a tensão gerada usada diretamente para mover o ponteiro. No caso do indicador ser de porcentagem de RPM, uma escala periférica é graduada em divisões de 10% de RPM e completada com outra menor, dividida em frações de 1%.

Tacômetro Eletrônico

Sensor

O sensor é composto essencialmente de um ímã e uma bobina, cuja função é transmitir pulsos proporcionais à rotação.

A amplitude do sinal de saída do sensor depende da posição da engrenagem que vai determinar uma maior ou menor relutância à trajetória das linhas de força. Se o dente da engrenagem está próximo ao ímã as linhas de força proporcionam um maior fluxo, maior corrente induzida e portanto uma amplitude maior de sinal.

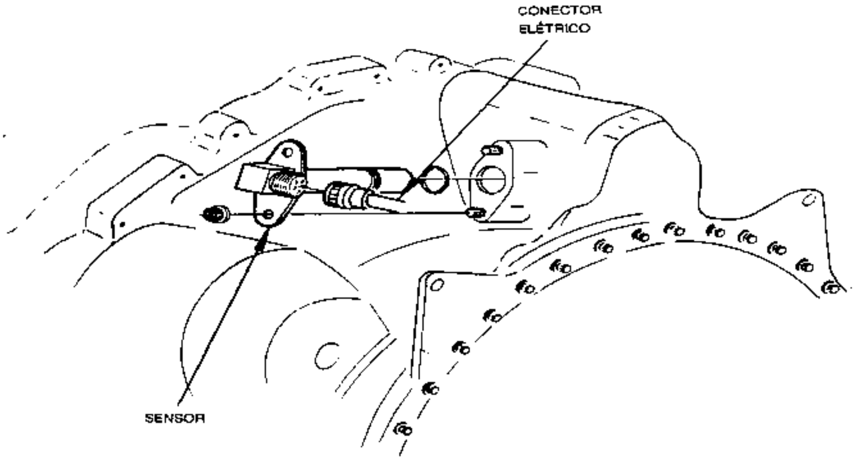

CONECTOR ELÉTRICO
SENSOR

Figura 4-67 Localização do sensor

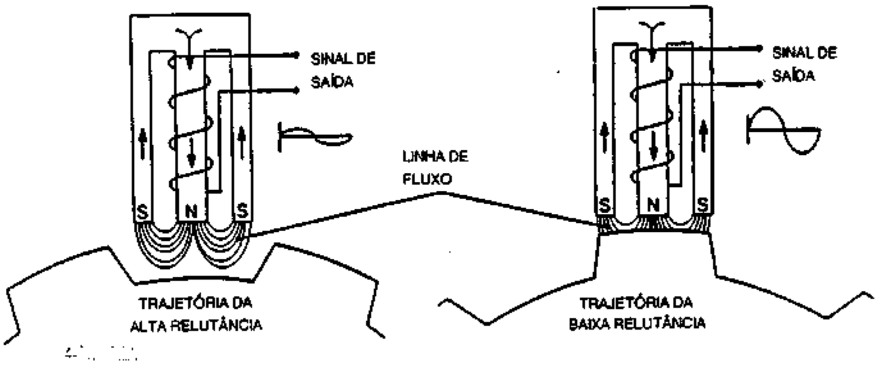

SINAL DE SAÍDA
S
N
S
LINHA DE FLUXO
SINAL DE SAÍDA
S
N
S
TRAJETÓRIA DA ALTA RELUTÂNCIA
TRAJETÓRIA DA BAIXA RELUTÂNCIA

Figura 4-68 Operação do sensor

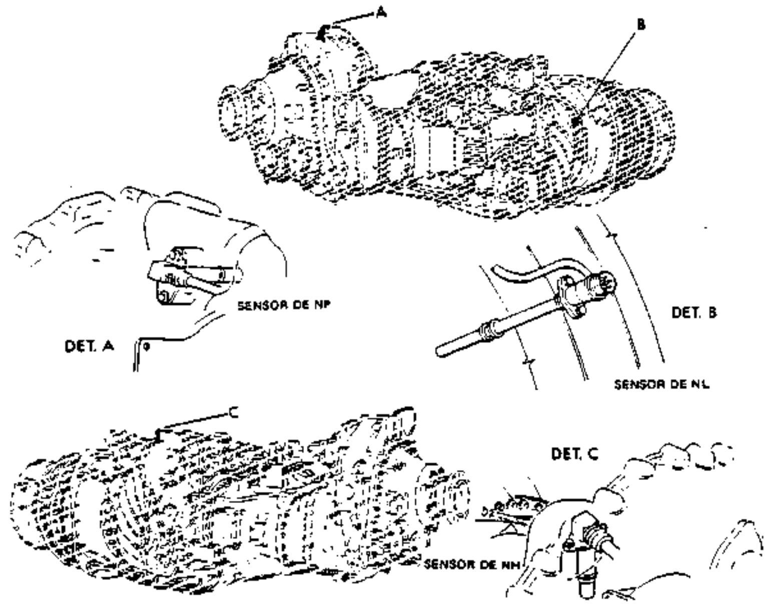

A
B
SENSOR DE NP
DET. A
DET. B
SENSOR DE NL
C
DET. C
SENSOR DE NH

Figura 4-69 Localização dos sensores do sistema de indicação de rotação do motor PW 115

Operação

Um controlador de brilho, atuado pelo operador, proporciona a iluminação desejada no mostrador do instrumento.

Os indicadores de Np, Nh e Nl são alimentados por 28 VCC.

Uma fonte de alimentação provê todas as tensões necessárias para o funcionamento dos circuitos eletrônicos instalados internamente no indicador.

Um controlador de brilho, atuado pelo operador, proporciona a iluminação desejada no mostrador do instrumento.

O sinal de entrada (pulsos fornecidos pelo sensor), com uma freqüência diretamente proporcional à velocidade de rotação, é aplicado a um amplificador de entrada com a finalidade de remover ruído, efetuar o casamento de impedância (entre o sensor e o indicador) e elevar para o nível requerido pelo processador de sinais. O processador de sinais é um conversor de freqüência dos pulsos provenientes do sensor em uma tensão de corrente contínua (CC) proporcional à rotação. Possui 2 saídas: uma para a indicação analógica e outra digital.

Um conjunto de amplificadores incumbe-se de fornecer à bobina móvel do instrumento um sinal a um nível adequado para uma indicação estável.

O ponteiro ao mover-se, atua mecanicamente um potenciômetro de realimentação que ao enviar um sinal de retorno permite uma estabilização do sistema (evita oscilação do ponteiro).

O processador de sinais também fornece uma saída (digital) ao decoficador para indicador de 7 segmentos possibilitando que números decimais de 0 a 9 sejam apresentados pelo indicador digital.

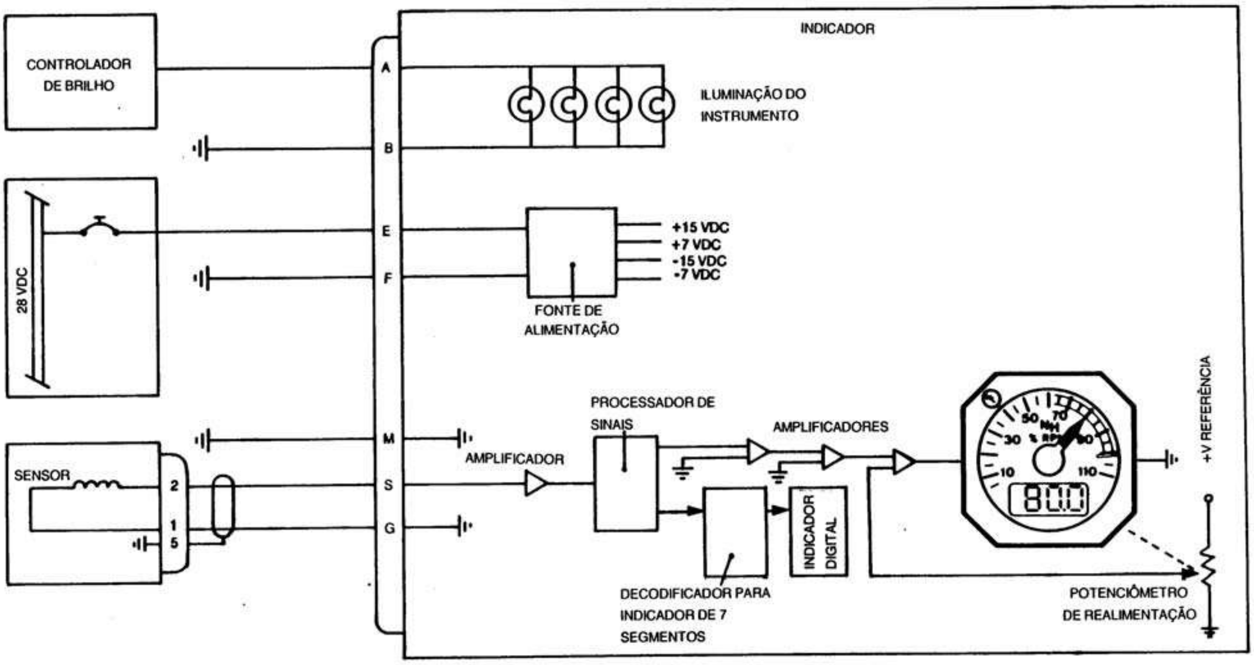

INDICADOR
CONTROLADOR DE BRILHO
A
B
ILUMINAÇÃO DO INSTRUMENTO
28 VDC
E
F
+15 VDC
+7 VDC
-15 VDC
-7 VDC
FONTE DE ALIMENTAÇÃO
PROCESSADOR DE SINAIS
AMPLIFICADORES
+V REFERÊNCIA
M
AMPLIFICADOR
SENSOR
2
1
5
S
G
10
30
50
70
90
110
% RPM
NH
80.0
INDICADOR DIGITAL
DECODIFICADOR PARA INDICADOR DE 7 SEGMENTOS
POTENCIÔMETRO DE REALIMENTAÇÃO

Figura 4-70 Diagrama esquemático do circuito eletrônico do indicador de rotação do motor

SINCROSCÓPIO

O sincroscópio é um instrumento que indica se dois (ou mais) motores estão sincronizados, isto é, se eles estão operando na mesma R.P.M. O instrumento consiste de um pequeno motor elétrico, que recebe corrente elétrica do gerador do tacômetro de ambos os motores.

O sincroscópio é projetado de forma que, a corrente do motor que gira depressa, controla a direção na qual o motor do sincroscópio gira. Se ambos os motores estão operando na mesma velocidade o motor do sincroscópio não opera.

Se, entretanto, um motor está operando mais rápido que o outro, o sinal do seu gerador obrigará o motor do sincroscópio a girar em uma determinada direção.

Se a velocidade do outro motor então torna-se maior que aquela do primeiro motor, o sinal de seu gerador, então, causará, ao motor do sincroscópio a reversão na direçao oposta.

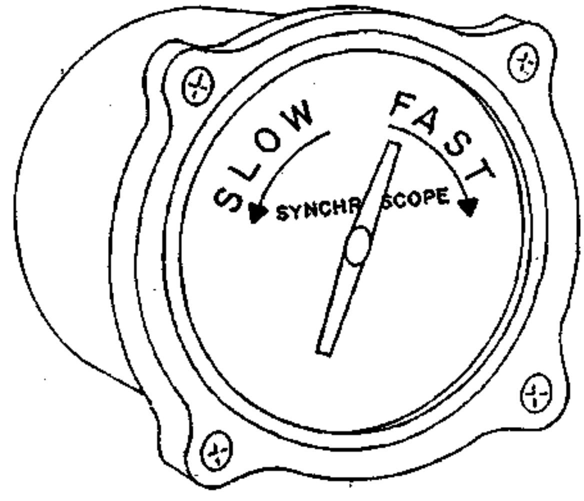


Figura 4-71 Mostrador do sincroscópio

O motor do sincroscópio está conectado através de um eixo, a um ponteiro de duas pontas no mostrador do instrumento (figura 4-71).

É necessário designar um dos dois motores como motor mestre, para que as indicações do sincroscópio possam ser úteis.

As leituras do mostrador com rotação no sentido anti-horário do ponteiro indicam devagar; e o movimento no sentido horário indicando rápido refere-se a operação do segundo motor, em relação a velocidade do motor mestre. Para aeronaves com mais de dois motores, sincroscópios adicionais são usados.

Um motor é designado como motor mestre, e os sincroscópios são conectados entre seus tacômetros, e àqueles de cada um dos motores individuais.

Em uma instalação completa deste tipo, deve haver um instrumento a menos do número de motores, desde que o motor mestre seja comum a todos os pares.

Um tipo de sincroscópio para quadrimotores é um instrumento especial que, efetivamente, são três sincroscópios individuais em um só instrumento (figura 4-72).

O rotor de cada sincroscópio está eletricamente conectado ao gerador do tacômetro do motor, designado como mestre, enquanto cada estator está conectado a cada um dos tacômetros dos outros motores.

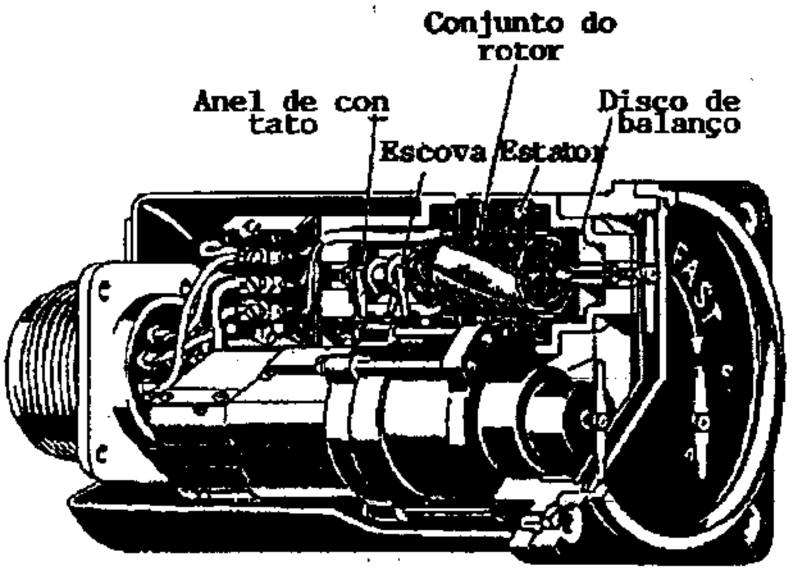


Figura 4-72 Sincroscópio de quadrimotor

Existem, três ponteiros, cada um indicando a velocidade relativa do motor número 2, 3 ou motor 4, conforme indicado na figura 4-73. Os ponteiros independentes giram no sentido horário quando seu respectivo motor está girando mais rápido que o motor mestre, e em sentido anti-horário quando está girando com menor velocidade. A rotação dos ponteiros começa quando a diferença de velocidade atinge cerca de 350 RPM; e a medida que a sincronização dos motores está sendo obtida, a rotação dos ponteiros é proporcional a diferença de rotação dos motores.

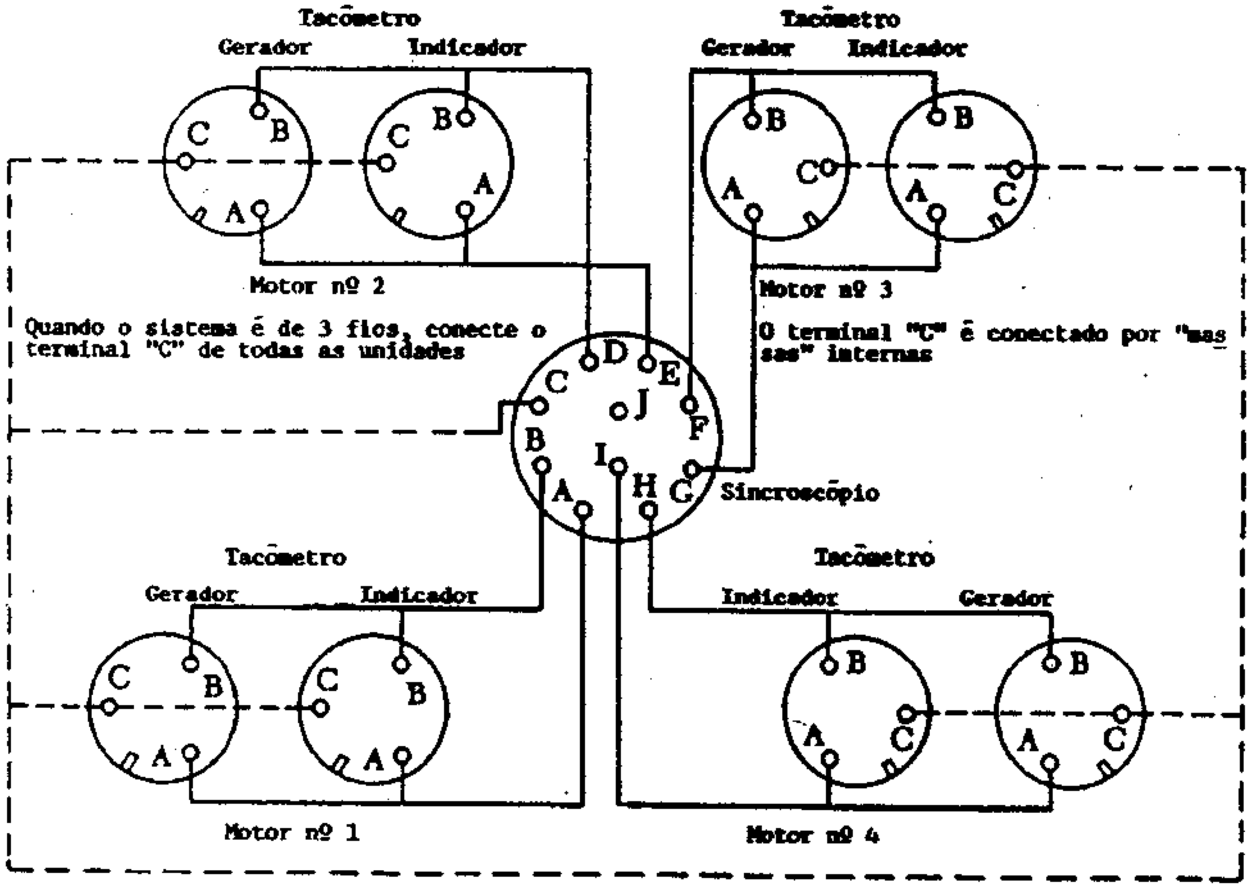

Tacômetro
Gerador
Indicador
Motor nº 2
Quando o sistema é de 3 fios, conecte o terminal "C" de todas as unidades
Tacômetro
Gerador
Indicador
Motor nº 3
O terminal "C" é conectado por "massas" internas
Sincroscópio
Tacômetro
Gerador
Indicador
Motor nº 1
Tacômetro
Indicador
Gerador
Motor nº 4
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J

Figura 4-73 Esquema de sincroscópio para um quadrimotor

CAPÍTULO 5

INSTRUMENTOS DIVERSOS

VOLTAMPERÍMETRO

Os voltamperímetros usados em aeronaves servem para indicar a tensão da bateria e dos geradores e também a corrente solicitada de cada gerador.

Mecanismo de D'Arsonval

A corrente, ao circular por um condutor, produz dois efeitos principais: calor e magnetismo. A intensidade desses efeitos depende do valor da corrente. Pode-se usar um destes efeitos em instrumentos de medição.

Os instrumentos que se baseiam no magnetismo são os mais usados por apresentarem maior precisão.

Em 1881, D'Arsonval patenteou um mecanismo que utiliza o efeito eletromagnético da corrente, hoje amplamente usado na maioria dos medidores.

Por essa razão, a maioria dos mecanismos compostos por bobina móvel e ímã permanente recebe o nome de instrumento de D'Arsonval.

O ímã permanente, que tem a forma de ferradura, é feito de uma liga de alnico. Ele é terminado pelas peças polares.

Estas peças polares são construídas de ferro para intensificar o campo magnético permanente nas extremidades do ímã e para concentrar o fluxo na região apropriada.

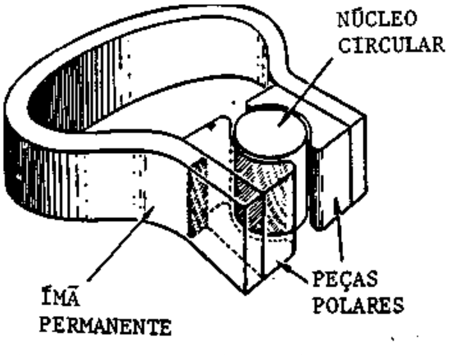


Figura 5-1 Mecanismo de D`Arsonval

A bobina móvel é composta por várias espiras de fio de cobre, envolvendo uma base de alumínio. A base de alumínio amortece as oscilações que fariam com que o ponteiro do medidor ficasse vibrando. Por causa do seu próprio movimento, o ponteiro, fica vibrando, antes de parar seu movimento na posição correta.

O núcleo de alumínio conterá correntes, produzidas pela presença do campo magnético, as quais produzirão um torque na bobina que amortecerá as vibrações.

Ela é colocada no campo magnético entre as peças polares. A corrente ou porção pré-determinada dela, a ser medida, passa pelas espiras do fio.

No centro da armadura de alumínio, há um núcleo de ferro-doce (material muito permeável) em forma cilíndrica, que tem a finalidade de dar maior concentração às linhas de força no espaço entre os pólos do ímã permanente.

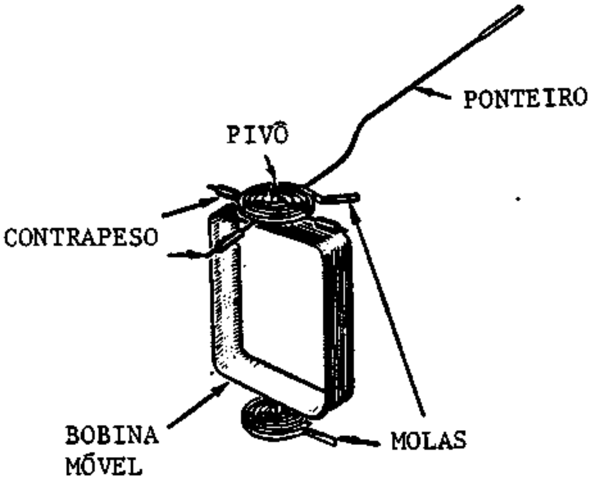


Figura 5-2 Mecanismo de indicador do tipo D'Arsonval

A bobina é provida de pivôs de aço endurecido, os quais se alojam em mancais de jóias altamente polidas, de modo que a armadura possa girar com a menor fricção possível.

Esses mancais, que operam sem lubrificação têm provavelmente o mais baixo valor de constante de fricção. Duas molas-cabelo enroladas em sentidos opostos se opõem ao movimento da armadura (contratorque); são amagnéticas e feitas de bronze fosforoso. A tensão destas molas é um fator importante no mecanismo, pois sua constância de performance é essencial para a exatidão a ser mantida pelo instrumento.

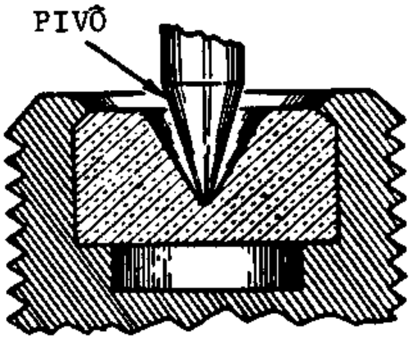


Figura 5-3 Mancal em pivô

Além de dar o contratorque para o mecanismo elas têm outra função importante que é levar a corrente até a bobina móvel.

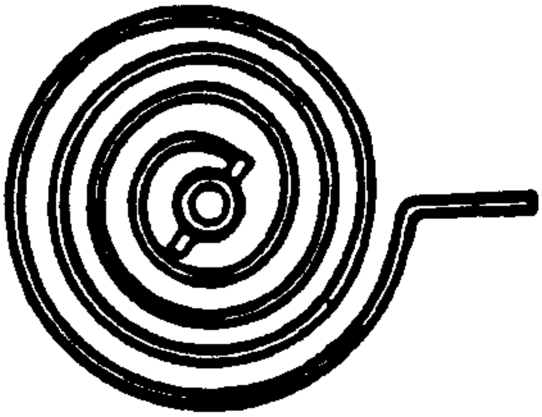


Figura 5-4 Mola-cabelo

As molas espirais farão com que o ponteiro do medidor retorne a zero, quando não houver fluxo de corrente pela bobina móvel.

A parte externa das molas é soldada a uma haste comandada pelo corretor de zero.

Desta maneira, ao girar-se o parafuso encontrado na parte frontal do instrumento, para o ajuste de zero, estar-se-á fazendo girar o corretor e assim comandando a bobina móvel e o ponteiro através das molas-cabelo.

Os fios da bobina, são ligados através das molas-cabelo e dois terminais que ficam na parte traseira da caixa do instrumento e marcados com os sinais + e - . Estes sinais indicam que o terminal + deve ser ligado ao positivo do circuito e o terminal - ao lado negativo do mesmo, para que a deflexão da bobina seja no sentido correto (esquerda para a direita).

A rotação máxima da bobina é da ordem de 90º na direção do movimento dos ponteiros de um relógio.

Como a bobina móvel é enrolada com fio muito fino e é muito sensível, deve-se ter o cuidado de não exceder à corrente que ela pode suportar ou poder-se-á danificá-la. Esta quantidade de corrente máxima que a bobina de um galvanômetro pode suportar é em torno de micro ou miliampéres e varia de acordo com a sensibilidade do mecanismo. Pode-se definir sensibilidade de um medidor elétrico como sendo a quantidade de corrente necessária para a deflexão máxima da bobina móvel.

Quanto menor for a corrente necessária, maior será a sensibilidade do mecanismo.

Tem-se, então, aqui, um mecanismo que serve para medir o fluxo de corrente, bastando para isso ligar-se um ponteiro à bobina do eletroímã de modo a girar com ela e por meio de uma escala determinar-se o grau de rotação da mesma e, assim, a grandeza da corrente.

Assim, se em vez de um eletroímã têm-se uma bobina móvel leve e sensível, um ímã permanente adequado e outros componentes descritos anteriormente ter-se-á o Galvanômetro D'Arsonval o qual funcionará, indicando na escala do mostrador em função da variação de corrente na bobina móvel.

Portanto, em todos os instrumentos em que seja usado este mecanismo, o funcionamento será idêntico; dependerá sempre da reação entre dois campos magnéticos, dos quais, um é fixo (ímã permanente) e outro variável de acordo com a corrente (bobina móvel).

Convém lembrar que, devido às características de construção e sensibilidade, este dispositivo de medição suporta e mede uma quantidade muito pequena de corrente. Para o perfeito funcionamento, deve-se conectá-lo observando a polaridade e o tipo de corrente, que deve ser sempre de corrente contínua (CC).

Equilíbrio

Um fator importante nos instrumentos é o "equilíbrio mecânico". Definindo-se o termo citado, pode-se dizer que é a condição do sistema móvel com respeito à gravidade.

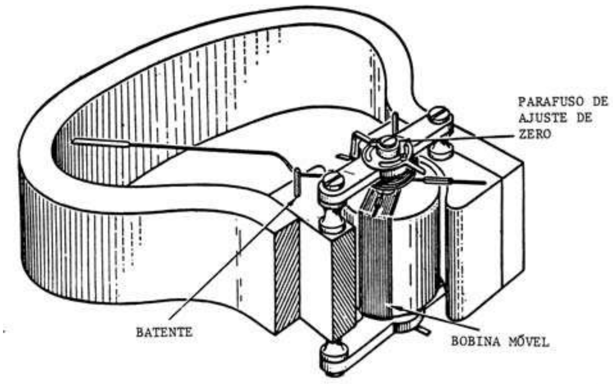


Figura 5-5 Mecanismo de um galvanômetro do tipo D' Arsonval

Num medidor bem equilibrado, o ponteiro permanecerá no mesmo ponto de escala do mostrador independentemente da posição do instrumento quando não houver corrente pela bobina móvel (desligado).

A importância deste equilíbrio é evidente ao se considerar um medidor no avião ou então um aparelho portátil. Não sendo equilibrado, a posição zero do ponteiro na escala não permanecerá a mesma.

Este equilíbrio é feito nos braços ou cruz de equilíbrio do ponteiro. Movendo-se, mediante procedimento especial, os pesos existentes nesta cruz de equilíbrio, pode-se obter o equilíbrio necessário ao sistema.

Estes pesos são em forma de espirais ou porcas.

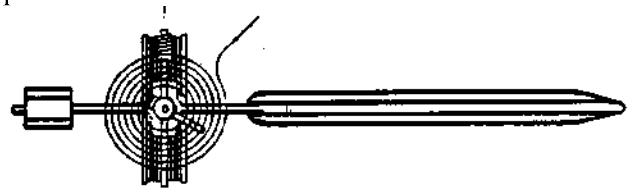


Figura 5-6 Mecanismo de equilíbrio do ponteiro

AMPERÍMETROS

Na prática, faz-se necessário um instrumento que possa medir qualquer quantidade de corrente através de um circuito.

Para fazer-se tal medição, bastaria colocar-se um galvanômetro em série com o circuito. Para tal coisa, entretanto, seria necessário que a corrente máxima não excedesse o valor para a bobina móvel do instrumento dar sua deflexão (sensibilidade). Entretanto, na maioria dos circuitos que se deseja medir, a quantidade de corrente excede em muito àquela que o mecanismo pode receber com segurança.

Para resolver este problema, foi idealizado um dispositivo baseado na Lei de Ohm, para emprego nos amperímetros, instrumentos destinados a medir e indicar a quantidade de corrente em um determinado circuito.

O amperímetro nada mais é do que um galvanômetro (outro nome do mecanismo de D'Arsonval) com uma resistência de valor baixo em paralelo. Esta resistência recebe o nome particular de resistor "Shunt".

Encontra-se na prática, grande número de amperímetro com escalas múltiplas e diversos "Shunts" selecionáveis por meio de uma chave seletora.

Princípio de Funcionamento

Sabe-se que quando duas resistências são colocadas em paralelo, haverá através de cada ramal um fluxo de corrente proporcional ao valor "R" de cada ramal; se as derivações tiverem resistências iguais, ter-se-ão iguais quantidades de correntes. Se ao contrário, um dos ramais tiver uma resistência maior que a do outro, a maior parte da corrente fluirá pela derivação de menor resistência. Este princípio é aplicado aos galvanômetros para convertê-los em amperímetros.

O mecanismo do galvanômetro está em paralelo com um resistor "Shunt".

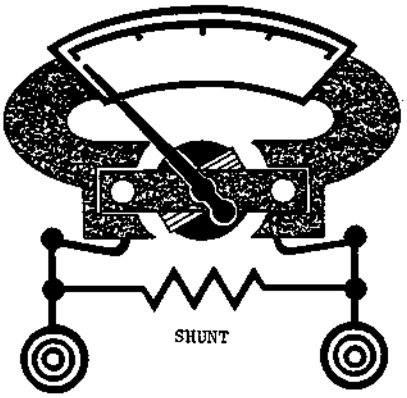


Figura 5-7 Mecanismo de um amperímetro

Quando o amperímetro é conectado em série no circuito para fazer a medição, a corrente total que entra no instrumento dividir-se-á, circulando uma pequena parte pela bobina móvel e a maior parte pela resistência de lastro que é chamada de “Shunt”ou derivação.

Assim, apesar de estar fluindo uma quantidade muito pequena de corrente na bobina, o instrumento estará medindo e indicando a corrente do circuito, porque o restante estará sendo desviado através do “Shunt”.

Para tanto é necessário determinar-se o valor do “Shunt”, que é determinado pelo alcance ou corrente máxima que esta combinação (amperímetro) vai medir.

Suponha-se que determinado amperímetro seja contruído para medir um máximo de 300 A. Suponha-se também que a sensibilidade do mecanismo seja de 0,01A (a bobina deflexionará totalmente com esta corrente).

Se a corrente máxima que irá circular pelo instrumento for de 300A, pode-se afirmar então que 299,99A deverão fluir pelo “Shunt”e 0,01A pela bobina móvel para ter-se a deflexão total do ponteiro na escala. Conforme a corrente diminui, ter-se-á também uma diminuição proporcional no “Shunt”e bobina móvel. Pode-se afirmar então que a quase totalidade da corrente passa pelo “Shunt”, consequentemente sua resistência deve ser bem menor do que a bobina móvel.

Pela que já foi visto, a corrente através do “Shunt” é 29.999 vezes maior que a da bobina; logo, se a resistência é inversamente proporcional à corrente, para se determinar o valor do “Shunt”, basta dividir o valor de resistência da bobina móvel pelo valor 29.999.

Se for considerada a “R” da bobina igual a 5 ohms, ter-se-á que o valor do “Shunt”, para um amperímetro cujo mecanismo tem uma sensibilidade de 0,01A e alcance máximo de 300 A, será igual a:

$$^{R}\text{Shunt} = 5/29.999 = 0{,}000166 \text{ ohms}.$$

Para amperímetro que se destinam a medir valores diferentes, maiores ou menores do que o exemplificado, pode-se usar o mesmo mecanismo, variando-se apenas o valor do “Shunt”, em função do alcance máximo de cada escala.

Se o valor ôhmico da derivação for aumentado, maior quantidade de corrente passará pela bobina móvel e a leitura será maior do que a normal; ao contrário, se for colocado, por exemplo, um “Shunt” de um amperímetro de 300A, a maior corrente passará através do “Shunt”, causando uma leitura que seria 2/3 menor do que a real. Se houver dúvidas, quanto à corrente a ser medida, esolher-se-á sempre a escala de maior valor. Se após a primeira leitura, verificar-se que o valor medido cabe na escala menor, poder-se-á reselecionar para obter-se uma leitura mais precisa.

O amperímetro é por característica e construção um instrumento de baixíssima resistência, portanto, deve ser sempre ligado em série com o circuito que se vai medir. Se for ligado em paralelo, a corrente através dele será demasiada, o que poderá danificá-lo totalmente, Veja a figura 5-8.

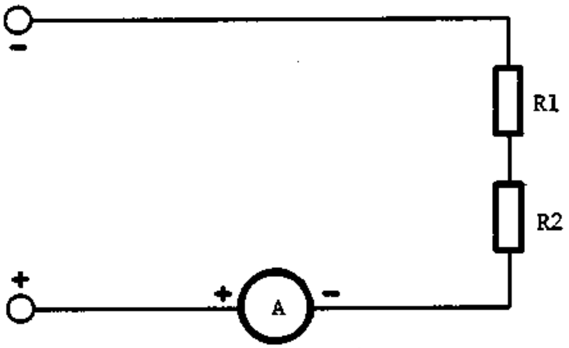


Figura 5-8 Ligação de um amperímetro em um circuito

VOLTÍMETROS

O mecanismo de D’Arsonval poderá ser usado para medir tensões, se a resistência interna do mesmo for reconhecida. Como já se sabe há uma queda de tensão quando uma corrente flui através de uma resistência.

Assim, um voltímetro tem uma importância vital nas pesquisas de circuitos e tem a finalidade de medir e indicar os diversos valores de tensão de uma carga ou circuito.

O voltímetro nada mais é do que um galvanômetro D’Arsonval em série com uma alta resistência.

Esta resistência recebe o nome de resistência multiplicadora. São encontrados instrumentos com um só alcance ou com vários, usando um mesmo mecanismo.

Estes aparelhos têm em seu interior várias resistências multiplicadoras de acordo com os diferentes alcances, que por sua vez são selecionadas por meio de uma chave seletora incorporada ao instrumento. Veja a figura 5-9.

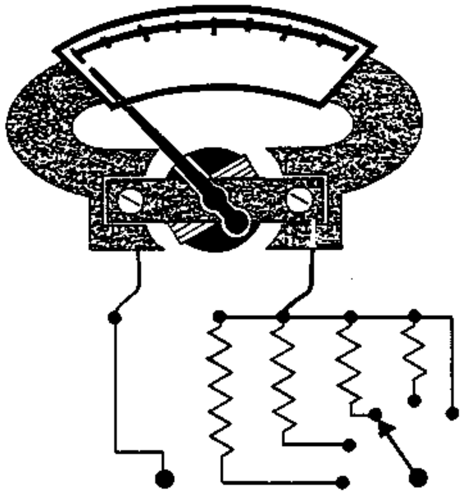


Figura 5-9 Princípio de um multivoltímetro

Princípio de Funcionamento

Veja o circuito da figura 5-10.

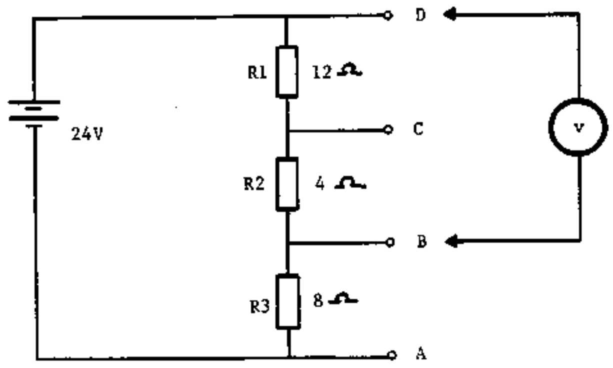


Figura 5-10 Utilização de um voltímetro

Ao ligar-se um galvanômetro entre os pontos B e D da figura 5-10 ele estará medindo corrente, mas pela Lei de Ohm pode-se determinar a tensão.

No circuito, vê-se que há 16 volts de ddp entre os pontos citados e através do mecanismo foi criado um novo caminho para a corrente, já que está em paralelo com os resistores (R1 e R2).

Se for considerada a bobina móvel, tendo uma resistência de 5 ohms, pode-se determinar o valor da corrente que passa através do instrumento.

Sabe-se pela Lei de Ohm que I = E/R, logo:

I = 16/5 = 3,2 ampères.

Esta corrente, entretanto, é muito alta pois sabe-se que a bobina móvel desses mecanismos é muito sensível e não suportaria tal valor. Outro fator a considerar-se seria que tal corrente afetaria o circuito que está sendo medido.

Para se contornar esta dificuldade foi adotado o sistema de se colocar uma resistência de alto valor em série com a bobina móvel, pois só assim reduziría-se ao mínimo estes incovenientes.

Pergunta-se, então, qual deve ser o valor da resistência de queda ou multiplicadora?

Esse valor de R vai ser determinado pelo alcance em que o voltímetro vai operar.

Por exemplo, se quiser construir um voltímetro cujo alcance máximo seja de 30 V e um mecanismo de sensibilidade igual a 0,01A, ter-se-á que a resistência interna do instrumento será de:

R = E/I logo: R = 30/0,01 = 3.000 ohms

Conhecendo-se este valor que representa a resistência total do voltímetro, e sabendo-se também o valor ôhmico da bobina móvel e como o circuito está em série, bastaria subtrair-se para se encontrar o valor da resistência multiplicadora.

Supondo-se que o valor da bobina seja de 5 ohms, ter-se-á:

Resistência multiplicadora = 3.000 – 5 = 2.995 ohms

Se uma tensão inferior a 30 volts fosse aplicada ao instrumento que se está descrevendo, a corrente através dele seria diminuída na mesma proporção, fazendo com que o ponteiro indicasse na escala a referida tensão.

Portanto, cada tensão produz uma certa corrente, e cada corrente produz certo movimento no ponteiro correspondente à tensão que a cria. Assim, a escla é graduada em volts apesar da bobina do galvanômetro estar deflexionando em função da corrente.

Quanto menor for a corrente requerida para a deflexão total de um galvanômetro, maior será sua sensibilidade. A sensibilidade de um voltímetro é dada em ohms por volts.

Assim sendo, quanto maior for o número de ohms por volts, menor será a corrente necessária para a deflexão total e conseqüentemente maior a sensibilidade do medidor.

Um voltímetro deve ter uma resistência muito alta, de maneira que consuma pouca corrente e afete o menos possível o circuito durante as medições. Portanto, a precisão da leitura depende da sensibilidade do medidor.

Se ele tiver uma baixa resistência, terá baixa sensibilidade e, ao ser colocado em um circuito de alta resistência, a leitura indicada poderá ser falsa.

Para esse tipo de circuito requer-se um instrumento de alta resistência, ou seja, de alta sensibilidade. Para se encontrar a resistência de um voltímetro, basta multiplicar a sensibilidade pela tensão. Por exemplo, se estiver usando um voltímetro cuja sensibilidade seja de 1000 ohms/volts na escala de 0-100 V, sua resistência será de: 1000 x 100 = 100 kohms

A sensibilidade pode ser determinada dividindo-se a resistência toral do medidor pela escala total do mesmo.

Um voltímetro de 100 kohms, na escala de 0-500V teria a sensibilidade igual a 100.000/500, ou seja, 200ohms/volt.

Deve-se ter as seguintes precauções ao se usar um voltímetro.

- conectá-lo no circuito sempre em paralelo com o que se está medindo;
- observar sempre a polaridade, pois é um mecanismo tipo galvanômetro;
- usar a escala apropriada e se a tensão for desconhecida, selecionar para a de maior alcance.

Para exemplificar serão detalhadas as funções do voltamperímetro da aeronave EMB-120 “BRASÍLIA”.

Os parâmetros a serem medidos são selecionados por uma chave rotativa localizada entre os dois voltamperímetros

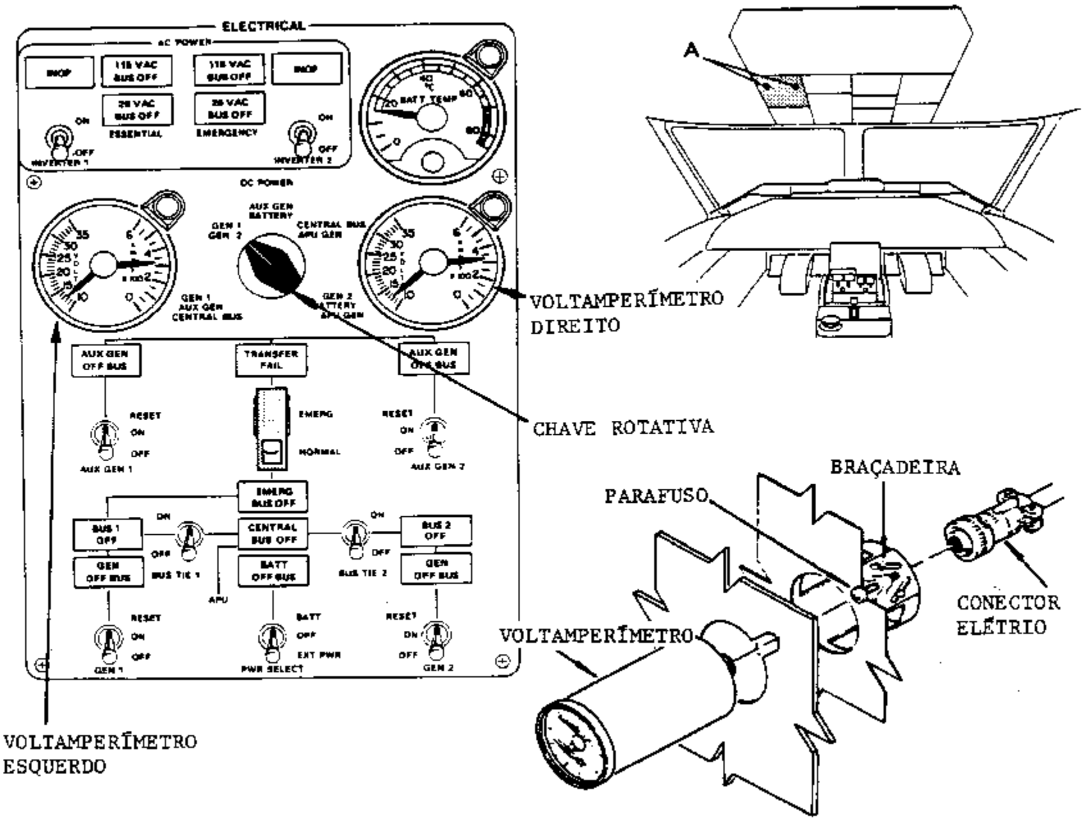

ELECTRICAL
AC POWER
INOP
115 VAC BUS OFF
26 VAC BUS OFF
ESSENTIAL
EMERGENCY
INVERTER 1
INVERTER 2
ON
OFF
BATT TEMP
DC POWER
AUX GEN OFF BUS
TRANSFER FAIL
EMERG
NORMAL
RESET
AUX GEN 1
AUX GEN 2
EMERG BUS OFF
BUS 1 OFF
CENTRAL BUS OFF
BUS 2 OFF
GEN OFF BUS
BATT OFF BUS
BUS TIE 1
BUS TIE 2
APU
GEN 1
GEN 2
BATT
EXT PWR
PWR SELECT
A
VOLTAMPERÍMETRO DIREITO
CHAVE ROTATIVA
BRAÇADEIRA
PARAFUSO
CONECTOR ELÉTRIO
VOLTAMPERÍMETRO
VOLTAMPERÍMETRO ESQUERDO

Figura 5-11 Localização dos voltímetros

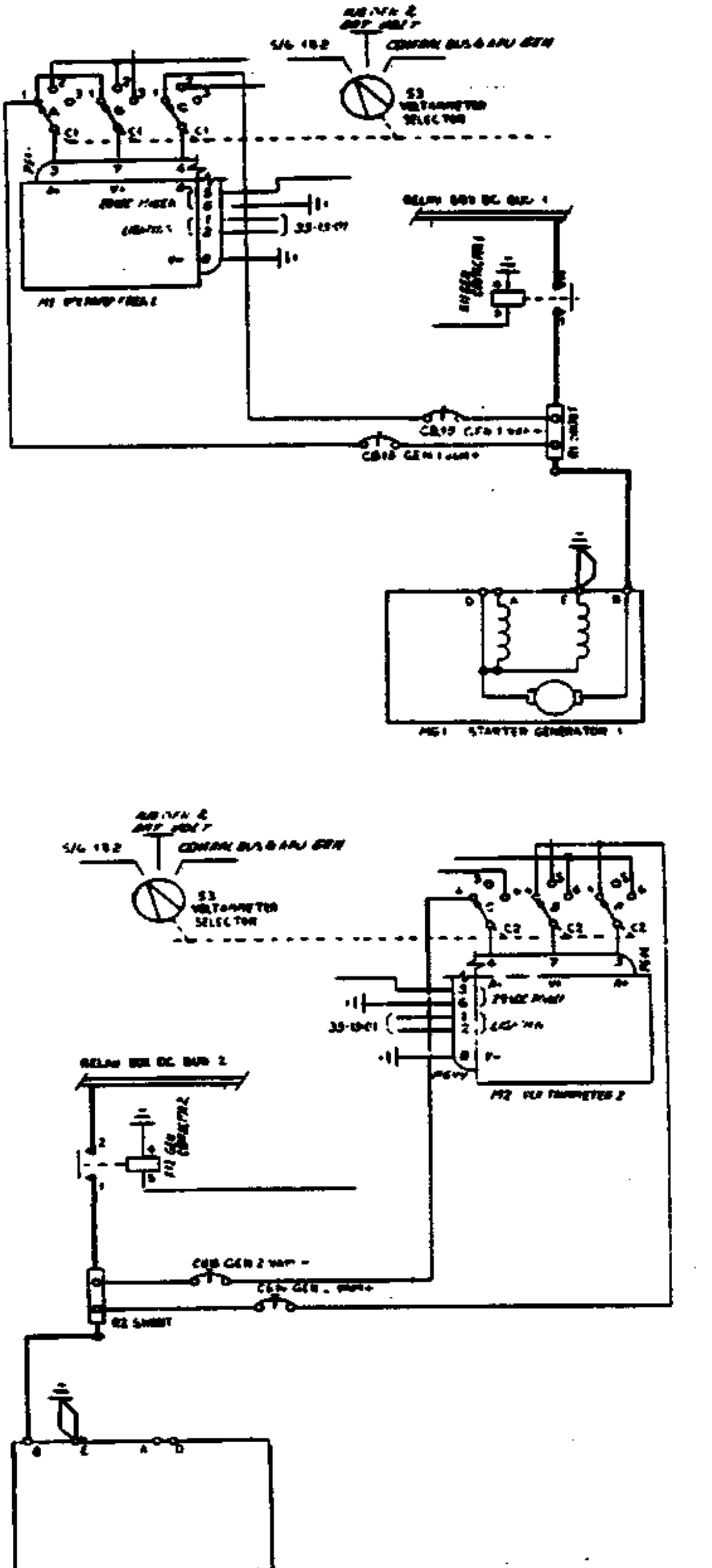

S/G 1&2
S3
SELECTOR
S3
SELECTOR
STARTER GENERATOR 1
STARTER GENERATOR 2
B
E
A
D

Figura 5-12 Utilização da chave seletora em GEN 1 / GEN 2 lendo-se as tensões e correntes dos geradores 1 e 2 nos instrumentos da esquerda e da direita respectivamente

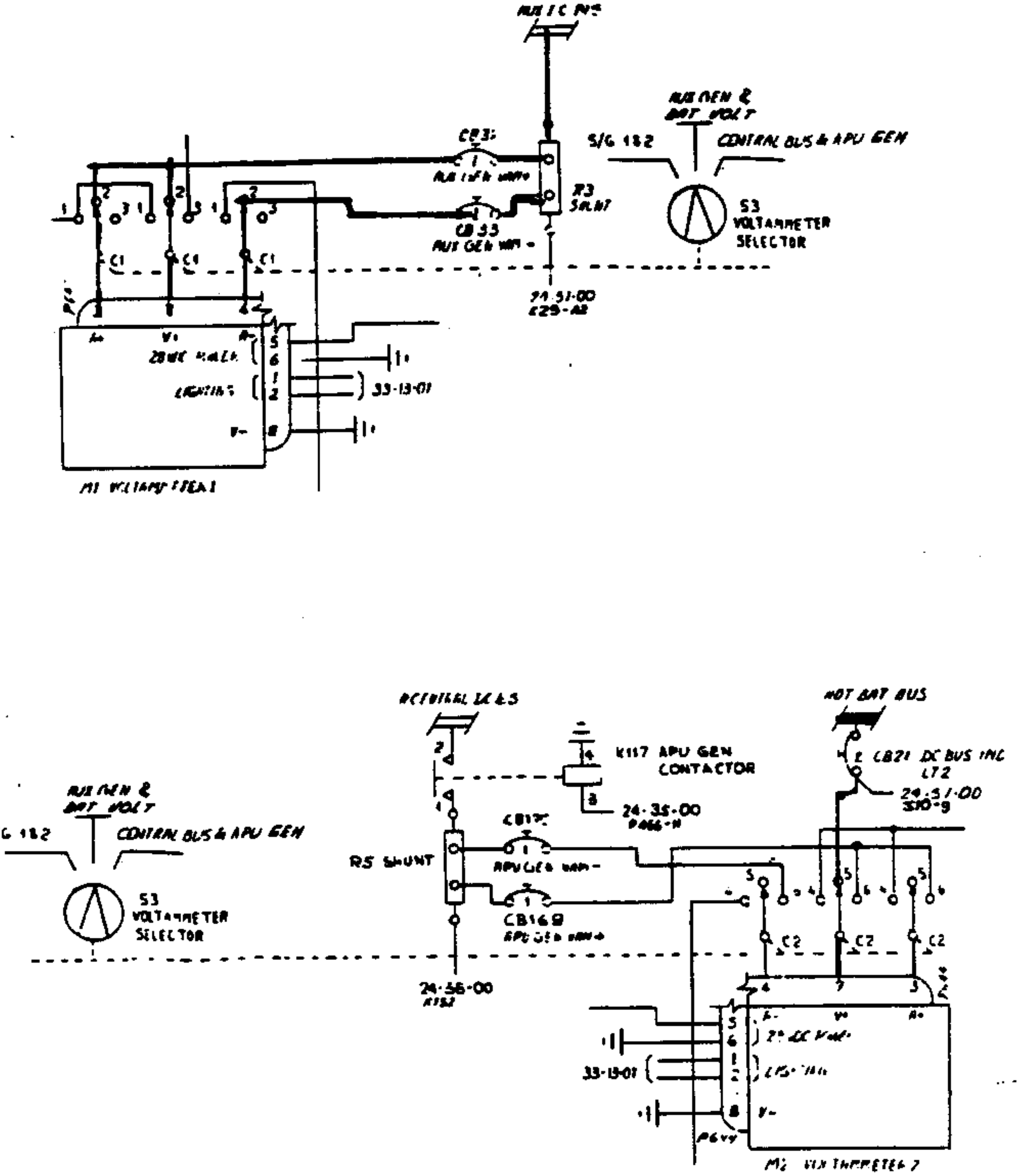

CB35
AUX GEN VAM -
R3 SHUNT
CB33
AUX GEN VAM +
S/G 1&2
AUX GEN &
BAT VOLT
CENTRAL BUS & APU GEN
S3
VOLTAMMETER
SELECTOR
24-51-00
33-13-01
M1 VOLTAMMETER 1
K117 APU GEN CONTACTOR
24-35-00
HOT BAT BUS
CB21 DC BUS IND
24-51-00
R5 SHUNT
CB170
CB169
24-56-00
M2 VOLTAMMETER 2

Figura 5-13 Utilização da chave seletora em AUX GEN / BATTERY sendo lidas a tensão e a corrente dos geradores auxiliares no instrumento da esquerda e a tensão da bateria no instrumento da direita

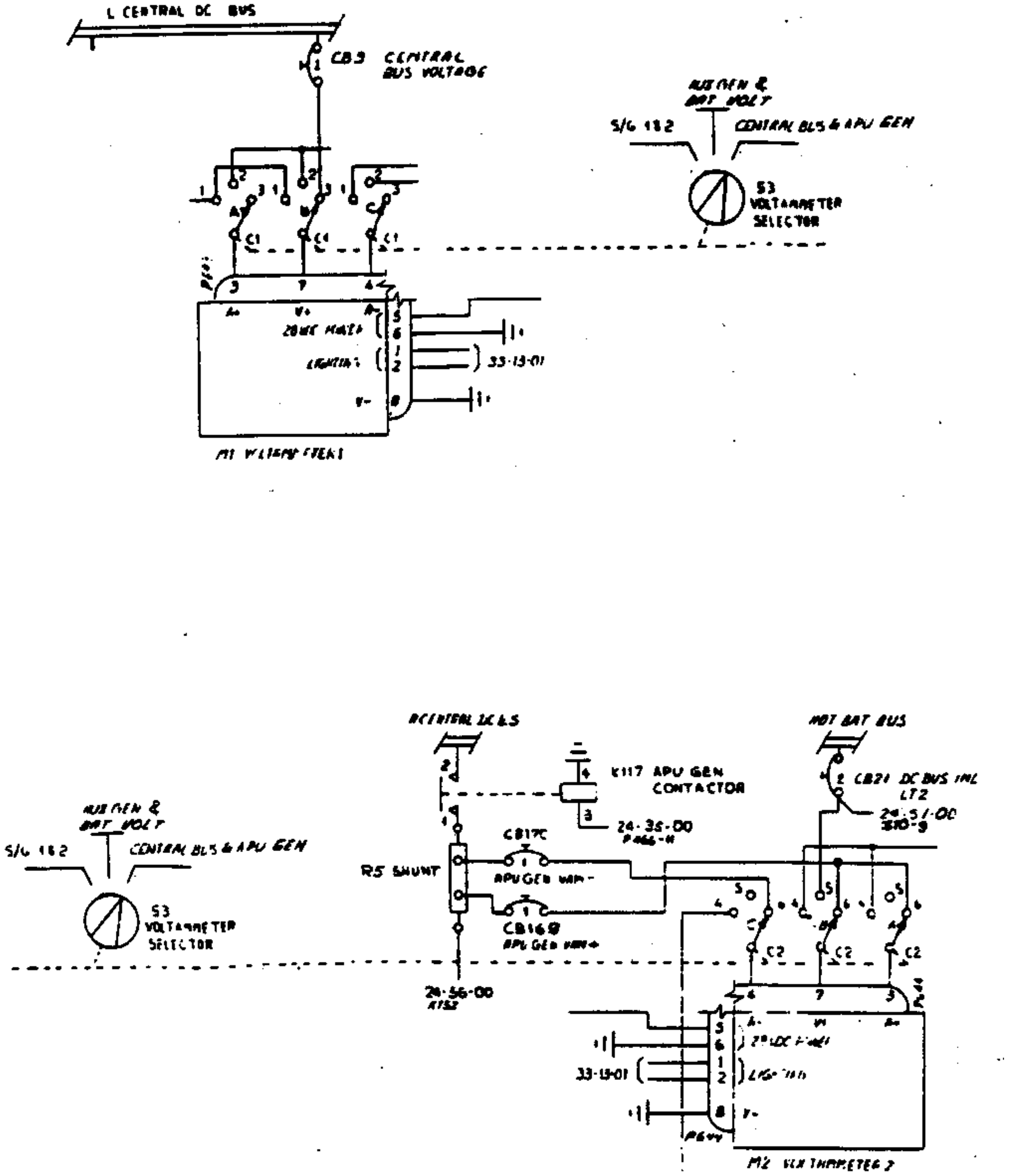
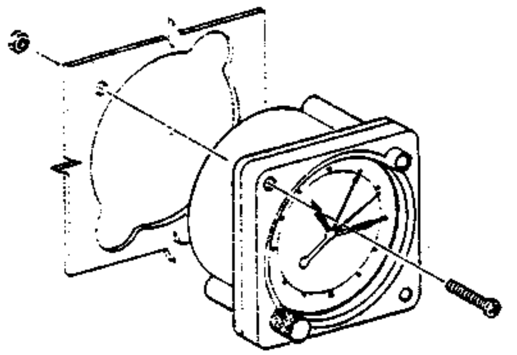

L CENTRAL DC BUS
CB3 CENTRAL BUS VOLTAGE
AUX GEN & BAT VOLT
S/G 1&2
CENTRAL BUS & APU GEN
S3 VOLTAMMETER SELECTOR
C1
28VDC MAIN
LIGHTING
33-13-01
M1 VOLTAMMETER 1
CENTRAL DC BUS
K117 APU GEN CONTACTOR
24-35-00
HOT BAT BUS
CB21 DC BUS IND LT2
R5 SHUNT
CB17C APU GEN VAM-
CB169 APU GEN VAM+
24-56-00
C2
M2 VOLTAMMETER 2

Figura 5-14 Utilização da chave seletora em CENTRAL BUS / APU GEN sendo lida a tensão da barra central no instrumento da esquerda e a tensão e a corrente do gerador da APU no instrumento da direita

RELÓGIO

Devido à necessidade de controlar a duração de um vôo e por mais algumas utilizações com referência à segurança e perfeição de uma viagem, são instalados relógios de precisão, tipo cronômetros, na cabine de comando, nos painéis de instrumentos.



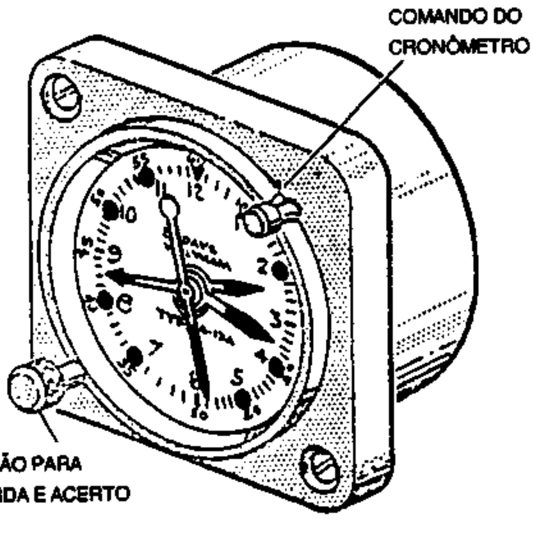


Figura 5-15 Comandos do relógio

Uma mola espiral, bastante forte, é enrolada o máximo possível. O esforço que ela faz para se desenrolar aciona um sistema mecânico, que mantém uma velocidade constante no eixo do ponteiro.

Normalmente estão instalados ponteiros para indicar horas, minutos e segundos. Alguns modelos possuem mais um ponteiro que indica tempo transcorrido. Quase todos têm corda para oito dias, muito embora a praxe seja da tripulação completar a corda antes do início de cada viagem.

O comando do cronômetro comanda o disparo, o bloqueio e a volta dos ponteiros de segundos e de minutos à posição normal, sem afetar a indicação do relógio (horas e minutos).

Calibragem do Relógio

A regulagem consiste de uma escala graduada de F a S. O regulador deverá ser movido para F se o relógio estiver atrasando, e para S, se estiver adiantando. Cada intervalo na escala corresponde a uma variação de 1 a 2 minutos em cada 24 horas.

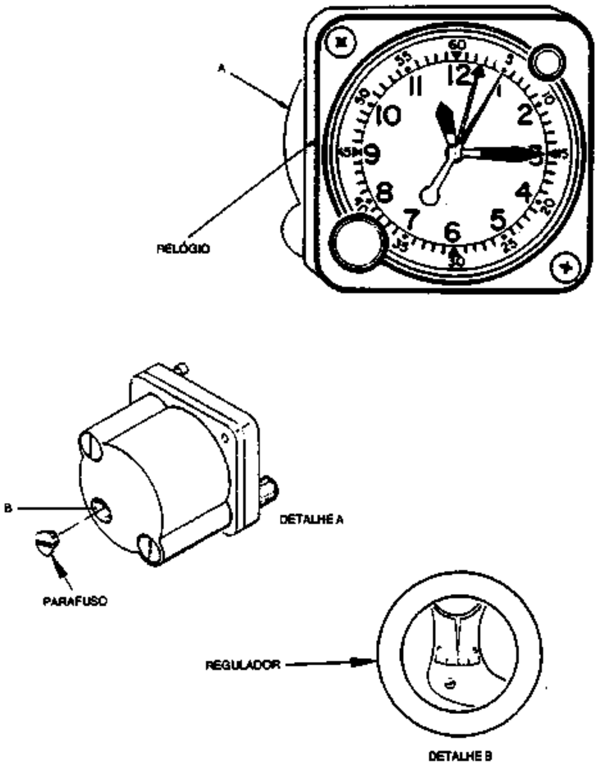


Figura 5-16 Calibragem do relógio

MEDIDOR DE FADIGA

Introdução

Durante o vôo uma aeronave é submetida a acelerações, as quais impõem esforços (cargas) estruturais com efeito cumulativo que podem causar, eventualmente, excesso de fadiga. A vida de fadiga de um determinado tipo de aeronave é definida pelos testes de fadiga nas partes estruturais considerando-se as condições opercionais e pode ser expressa po um limitado número de ciclos para uma faixa determinada de valores de aceleração.

Um acelerômetro montado perto do centro de gravidade (CG) da aeronave pode então ser usado para monitorar as acelerações verticais da linha de vôo e para registrar o número de vezes que os ciclos da aceleração determinada são atingidos. Análises desses registros, junto a dados adicionais, possibilitam uma estimativa real da vida de fadiga total da estrutura.

Características

O medidor de fadiga é um acelerômetro e registrador.

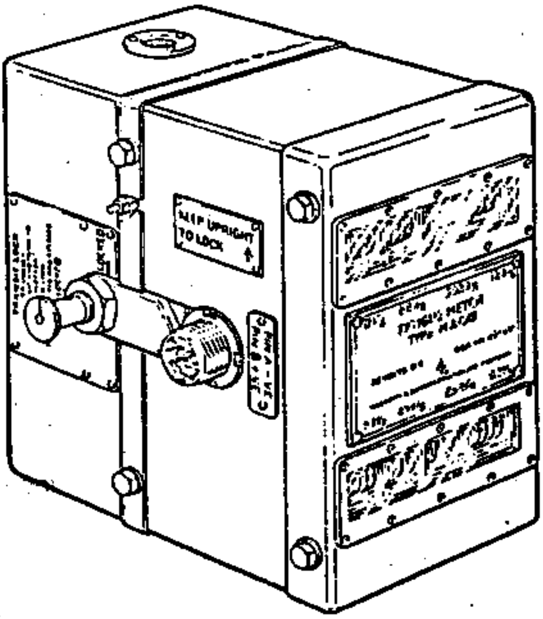


Figura 5-17 Medidor de fadiga

O medidor de fadiga é montado perto do CG da aeronave e a sua função é monitorar acelerações verticais da trajetória de vôo e registrar o número de vezes que cada uma das oito acelerações é excedida (-2,5, -2, -1 + 2,5, + 3,5, + 4,5 + 6,0, + 8,0).

Para assegurar que só serão registradas acelerações em vôo, a alimentação elétrica para o medidor de fadiga é normalmente controlada por um microinterruptor no trem de pouso ou por um outro localizado no interior do velocímetro. O medidor de fadiga consiste de uma caixa metálica contendo um acelerômetro e oito contadores eletromagnéticos.

Para assegura que só serão registradas variações na aceleração, que poderiam causar danos de fadiga significativos, os contadores operam em duas condições: travado e destravado. O circuito trava quando um valor de aceleração é atingido e destrava completando e contagem se o valor próximo de 1g é atingido.

A diferença entre estes valores de aceleração é conhecida como faixa limite, e os contadores são diferenciados pelo valor de trava.

Como é necessário registrar acelerações correpondentes a lentas variações do fator de carga (causados por manobras), mas desprezar acelerações comparáveis de alta freqüência resultante de vibrações que causam danos de fadiga desprezíveis, o acelerômetro possui um sistema especial que controla rigidamente a resposta de freqüência.

Este sistema consiste de uma mola principal, uma massa principal, molas secundárias, massa secundária e um amortecedor de corrente parasita proporcional à velocidade, e é destinado a causar um corte instantâneo da razão da amplitude da resposta com aumento de freqüência que pode ser obtida por um sistema simples de uma mola, uma massa e um amortecedor proprocional.

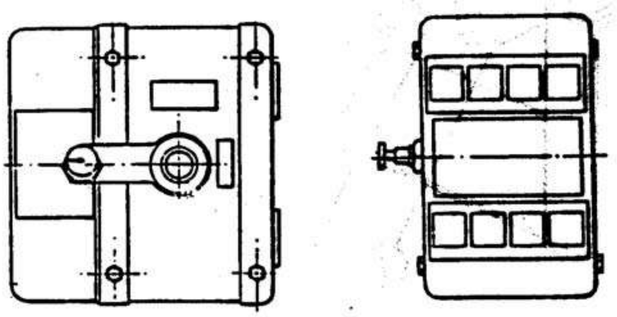


Figura 5-18 Vistas lateral e frontal do medidor de fadiga

Este projeto tem também a vantagem da grande redução do fator de carga no sistema de amortecimento, o qual permite grande confiança no sistema e vida mais longa.

Para proteger o acelerômetro contra os impactos normais no manuseio, o instrumento é equipado com um mecanismo de trava para trânsito o qual imobiliza o acelerômetro antes da instalação na aeronave.

Definição

Os valores de aceleração são absolutos, isto é, em linha e nível de vôo a aceleração indicada é representada por 1g. A aplicação de fator de carga (g) positivo causará tudo no avião para torná-lo mais pesado e vice-versa para fator de carga (g) negativo.

Quando o instrumento está montado na aeronave, a massa principal se move para baixo em resposta ao fator de carga (g) positivo e para cima para fator de carga (g) negativo em relação ao eixo do avião.

Operação

Uma aceleração positiva aplicada no instrumento causará na massa sensora (2), a qual está apoiada na mola principal (1), um movimento para baixo em relação à caixa. Este movimento é transmitido ao tambor da corrente (5) através das molas secundárias (3) e corrente (4) fazendo com que o ressalto (o qual está montado no mesmo eixo que o tambor da corrente) gire sobre a face do comutador. O amortecimento é conseguido por uma unidade de amortecimento da corrente parasita, acionada pela engrenagem (6), e que também atua como uma massa secundária.

A unidade de amortecimento consiste de um cilindro (7) rodando em volta de um núcleo metálico, estando ambos dentro de um campo magnético permanente.

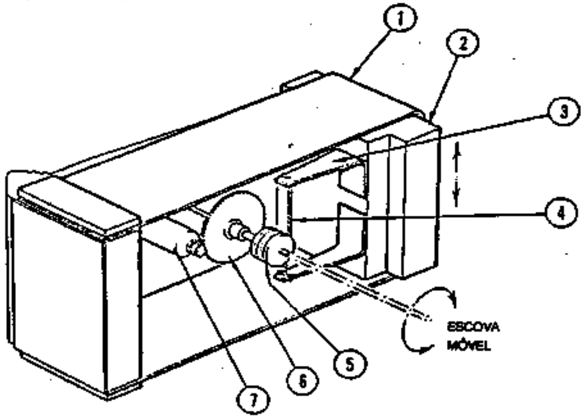


Figura 5-19 Unidades de operação do medidor de fadiga

Operação do Circuito

O circuito elétrico é alimentado por 28 VCC, e possui um microinterruptor, para permitir que o medidor de fadiga só entre em operação quando a aeronave estiver em vôo.

Os indutores (L1 e L2) e os capacitores (C1 e C2) são componentes supressores de interferência de rádio (filtros). O circuito será descrito para o registro de + 4,5G:

- o que controla a escova móvel (A) é a massa sensora;
- se a massa sensora consegue mover a escova móvel, sobe um segmento do comutador (no caso 4,5G), então;
- um massa é colocado no ponto "T" do contador eletromagnético 6;
- a bobina iniciadora recebendo um massa e já estando provida de 28 VCC (aeronave em vôo) faz com que esta se energize e deste modo cause a mudança dos contatos;
- os contatos do relé alimentam a bobina contadora que já possui massa na outra extremidade. O resistor R2 em série com a bobina contadora serve como limitação da corrente;
- é registrada então a contagem;
- os contatos do relé também fornecem 28 VCC (através do R1) para a bobina mantenedora que mantém o relé energizado mesmo depois da escova móvel deixar o segmento do comutador que o ligará à bobina iniciadora;
- o relé continua energizado até que um massa é colocado no ponto S do contador eletromagnético 6 proporcionado pelo contato do segmento do comutador (2,0G – neste exemplo);
- para que o relé seja desenergizado dois sinais de massa estarão presentes na bobina mantenedora;
- o resistor (R1) que está em série com a bobina mantenedora limitará a corrente fornecida quando esta bobina estiver curto circuitada;
- o diodo (D1) permite a supressão da centelha para proteger o comutador.

Resumo:

Quando a massa sensora oscila, provocada pelas acelerações a que é submetida pelo movimento do avião, a corrente transforma o movimento linear vertical do peso em movimento rotativo da escova. Esta escova, passando sobre a superfície do comutador em quantidade proporcional ao valor da aceleração sofrida, aciona os contadores atingidos por esta aceleração, registrando assim o valor atingido.

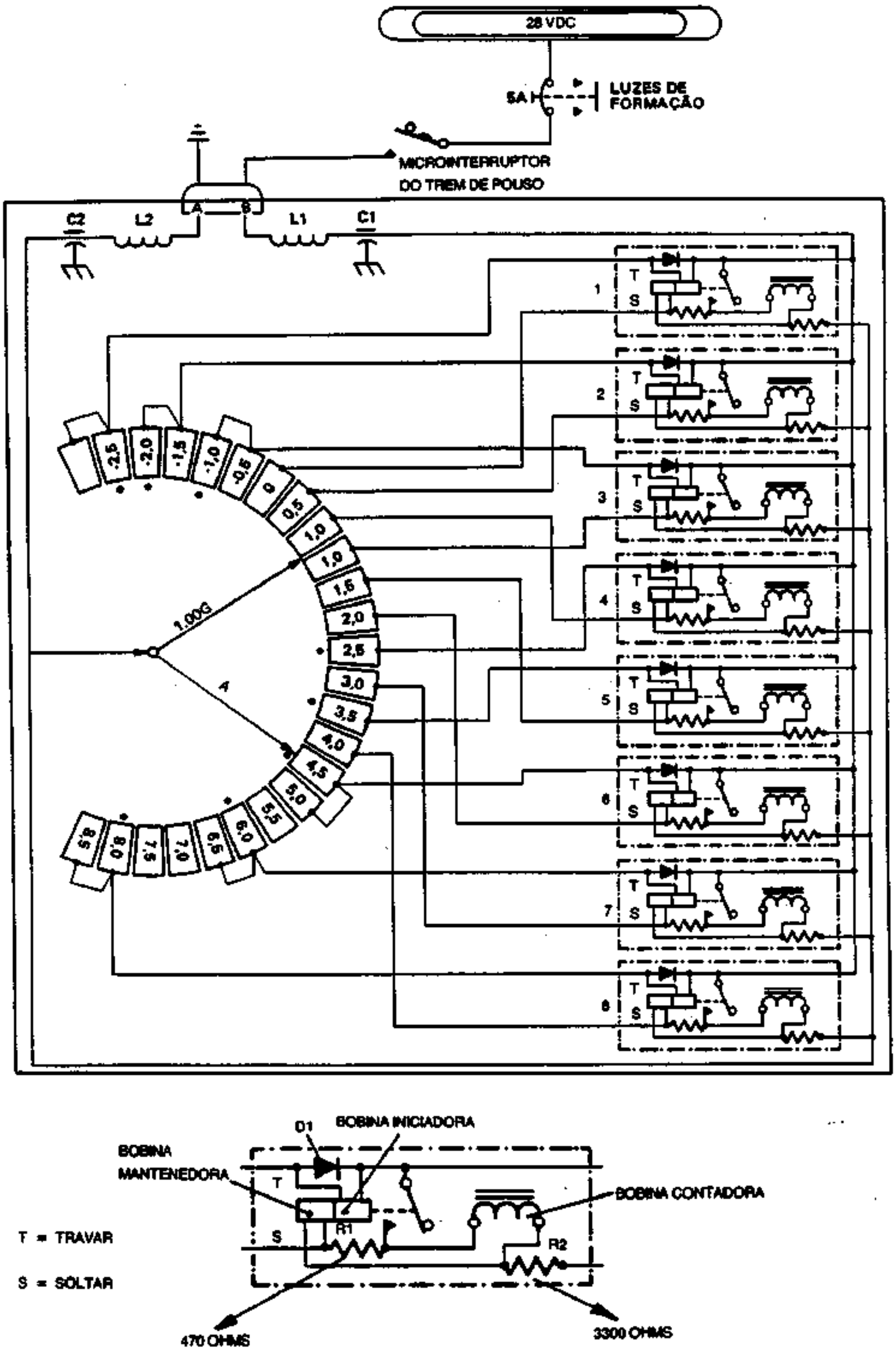

28 VDC
SA
LUZES DE FORMAÇÃO
MICROINTERRUPTOR DO TREM DE POUSO
C2
L2
A
B
L1
C1
1
2
3
4
5
6
7
8
T
S
-2,5
-2,0
-1,5
-1,0
-0,5
0
0,5
1,0
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
5,5
6,0
6,5
7,0
7,5
8,0
8,5
1,00G
A
D1
BOBINA INICIADORA
BOBINA MANTENEDORA
BOBINA CONTADORA
R1
R2
T = TRAVAR
S = SOLTAR
470 OHMS
3300 OHMS

Figura 5-20 Diagrama esquemático do circuito elétrico do medidor de fadiga

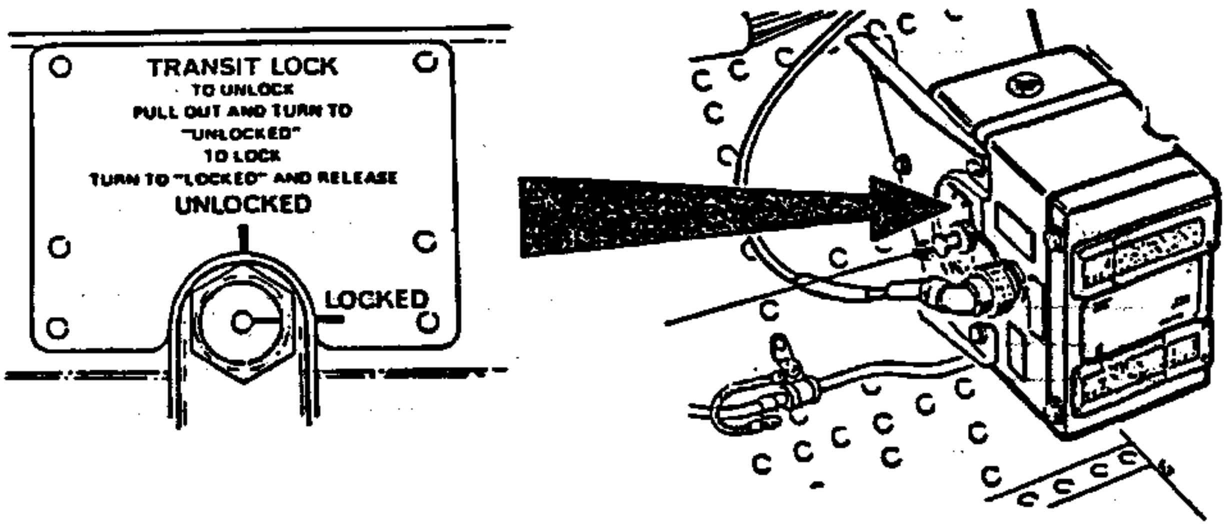


Figura 5-21 Localização da trava de trânsito que evita o registro quando não estiver devidamente instalado na aeronave

INDICADOR DE TEMPERATURA DO AR EXTERNO

O princípio de funcionamento do sistema de indicação da temperatura do ar exterior é idêntico ao de temperatura do óleo, variando apenas na localização do bulbo sensor e no intrumento de indicação cujo mostrador permite leituras a partir de – 60ºC até 60º C.

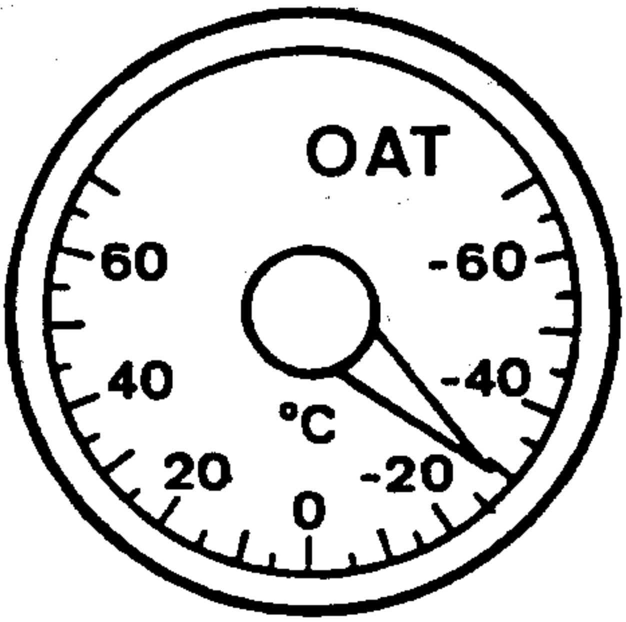


Figura 5-22 Indicador de temperatura do ar externo

Considerações Adicionais

Os termômetros instalados em aeronaves têm a sua parte sensível projetada para fora da fuselagem, para medir a temperatura do ar exterior.

Essa medida é correta, se a aeronave é de baixas velocidades. Entretanto, se a aeronave é de alta velocidade, há o aquecimento do ar provocado pelo atrito em torno da fuselagem. Esse aquecimento é também chamado calor de compressão.

Esse aquecimento provoca uma indicação errônea de temperatura que deve ser corrigido para propósitos de navegação.

A temperatua decresce com a altitude, em 2º para cada 1000 pés. Se um termômetro indica, num lugar ao nível do mar, 26ºC, a temperatura no nível de:

4000 pés = 18ºC (Queda de temperatura = 4 x 2º = 8º. Logo 26º - 8º = 18ºC.

6000 pés = 14ºC (Queda de temperatura = 6 x 2º = 12º. Logo 26º - 12º = 14ºC).

Se a temperatura for medida numa altitude qualquer, 4.000 pés, por exemplo, ela decresce 2º a cada 1000 pés acima dessa altitude e aumenta 2º para cada 1000 pés abaixo desse nível.

INDICADORES DE QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL

Sistema tipo bóia

O sistema de indicação de quantidade de combustível mais simples é o do tipo bóia. Um sistema deste tipo está apresentado de forma esquemática na figura 5-23, onde são vistos todos os seus componetes.

A figura 5-24 apresenta a bóia ligada a um transmissor de nível e através de ligações elétricas a indicação de quantidade é transmitida ao instrumento indicador na cabine.

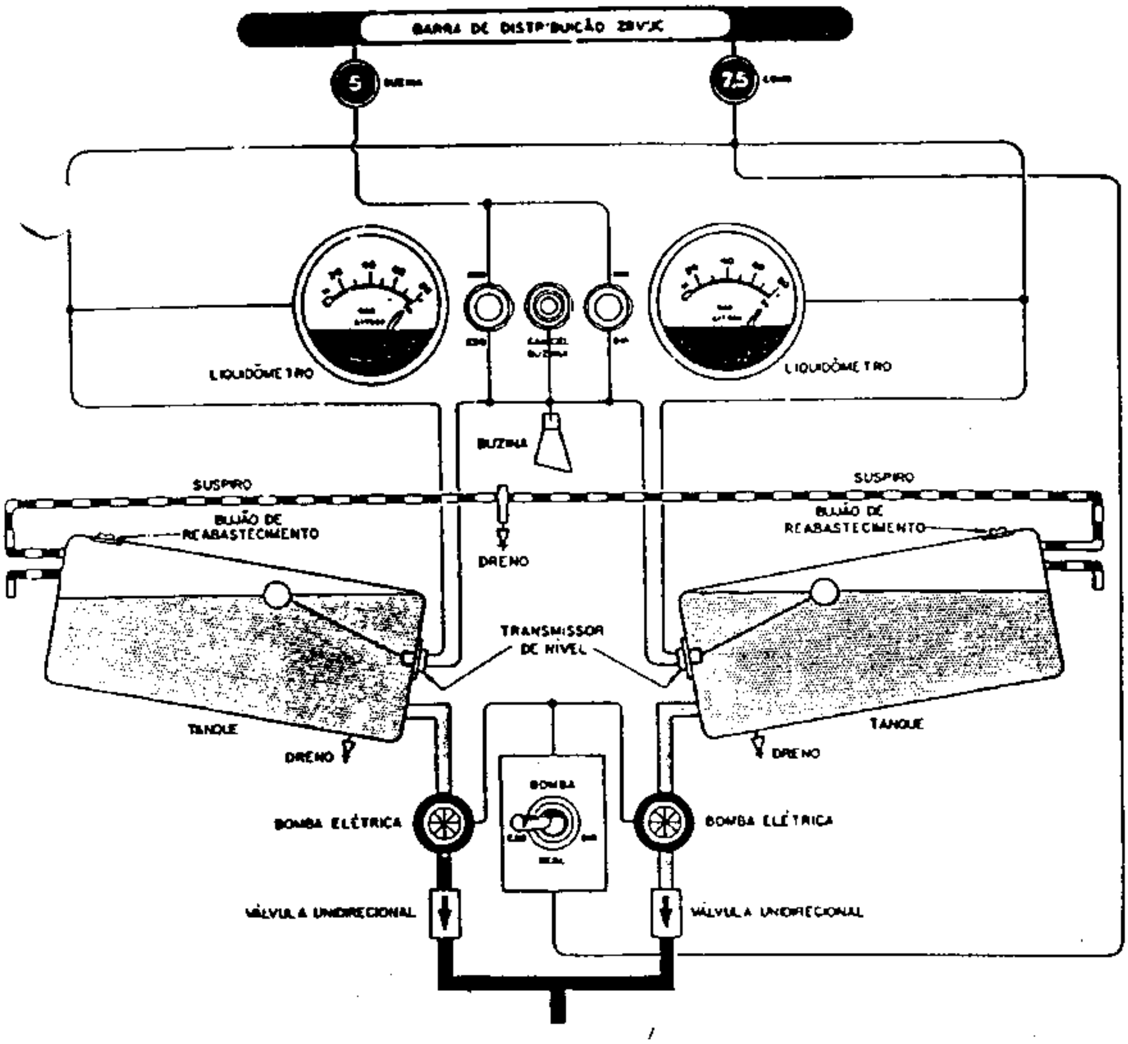

BARRA DE DISTRIBUIÇÃO 28VCC
5
7,5
LIQUIDÔMETRO
CANCEL BUZINA
LIQUIDÔMETRO
BUZINA
SUSPIRO
SUSPIRO
BUJÃO DE REABASTECIMENTO
BUJÃO DE REABASTECIMENTO
DRENO
TRANSMISSOR DE NÍVEL
TANQUE
TANQUE
DRENO
DRENO
BOMBA
BOMBA ELÉTRICA
BOMBA ELÉTRICA
VÁLVULA UNIDIRECIONAL
VÁLVULA UNIDIRECIONAL

Figura 5-23 Sistema esquemático de combustível do tipo bóia

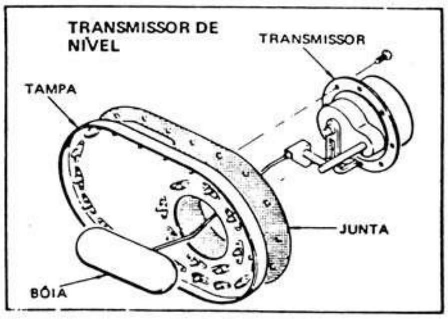

TRANSMISSOR DE NÍVEL
TRANSMISSOR
TAMPA
JUNTA
BÓIA

Figura 5-24 Transmissor de nível

Um outro sistema de indicação de quantidade de combustível do tipo bóia é o utilizado no helicóptero Esquilo e está apresentado na figura 5-25.

Este sistema possui internamente nos tanques um transmissor (figura 5-26) em cujo interior desloca-se uma bóia que movimenta um conjunto de ímãs transmitindo ao instrumento indicador (figura 5-27) o nível do combustível existente no tanque.

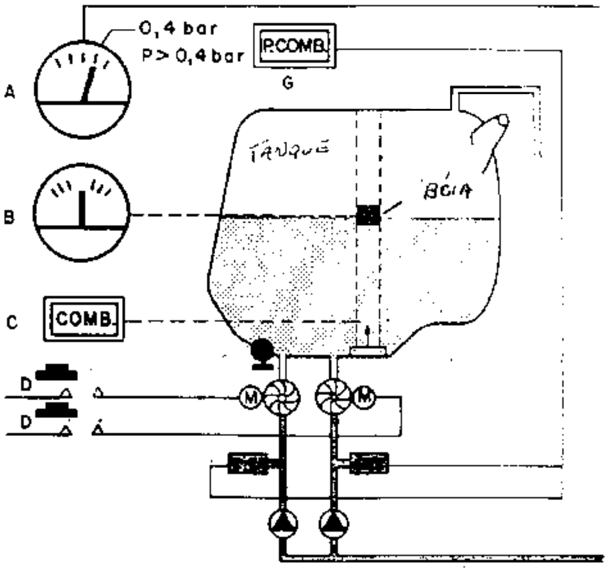


Figura 5-25 Sistema tipo bóia com alarme

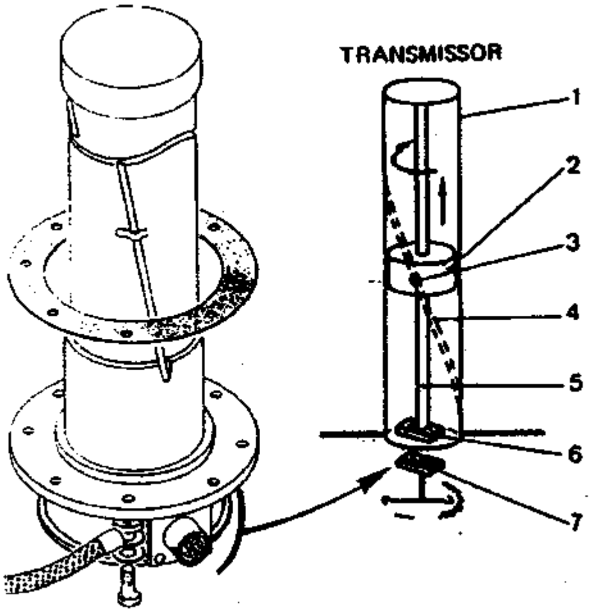


Figura 5-26 Transmissor

O transmissor é do tipo bóia e came helicoidal comandando um potenciômetro e um contato de nível baixo. O indicador é do tipo bobinas de fluxos cruzados. A bóia (2) instalada num tubo (1), acompanha o nível do combustível. Um pino (3) solidário com a bóia, desloca-se em um fenda helicoidal (4) do tubo. Uma haste de comando (5) transmite a rotação da bóia a um ímã transmissor (6). Do outro lado da divisão estanque, um segundo ímã (7) acompanha os delocamentos do primeiro.

Este ímã aciona dois cursores:

- o cursor A atrita-se com a resistência do potenciômetro de medição de nível;
- o cursor B serve de contato de nível baixo na faixa do setor C (de 60 litros a 0 litros).

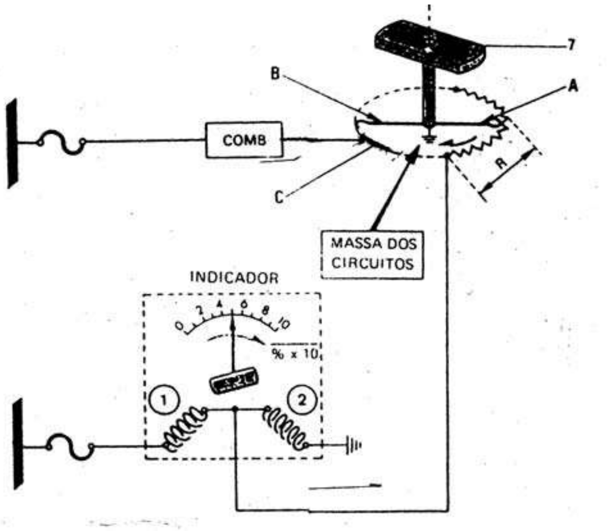


Fig. 5-27 Circuito do indicador de nível

As variações da resistência R (figura 5-27) modificam a direção do campo resultante das bobinas (1) e (2). A cada posição da bóia corresponde uma posição do ponteiro indicador.

Quando o nível 60 litros é atingido, o cursor B fecha o circuito no setor C e a luz “COMB” acende informando ao piloto que só dispõe de combustível para aproximadamente 20 minutos de vôo.

Sistema tipo Capacitor

O sistema de medir combustível do tipo capacitor é um dispositivo eletrônico que determina com exatidão o peso do combustível nos tanques de um avião.

Os componentes básicos do sistema são: um indicador, uma sonda do tanque, uma unidade ponte e um amplificador.

Em alguns sistemas, a unidade ponte e o amplificador são uma só unidade montada na mesma caixa.

Sistemas mais modernos foram projetados com a unidade ponte e um amplificador transistorizado, construído dentro do estojo do instrumento.

O indicador de quantidade de combustível mostrado na figura 5-28 é um instrumento selado, auto balanceado, contendo um motor, um conjunto de ponteiro, amplificador transistorizado, circuito ponte e potenciômetros de ajuste.

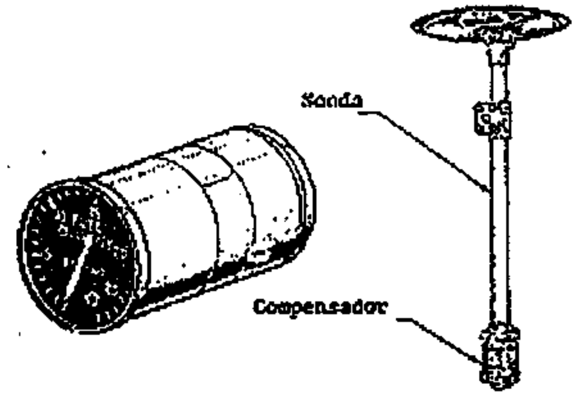


Figura 5-28 Indicador e sonda de um sistema tipo capacitor

Uma mudança na quantidade de combustível de um tanque causa mudança na capacitância da unidade do tanque. Essa unidade do tanque faz parte de um circuito de capacitância.

O sinal de voltagem resultante do desequilíbrio desse circuito é amplificado sensitivamente na unidade de força; este sinal energiza um motor de indução, aciona um potenciometro na direção apropriada para reequilibrar o circuito, e ao mesmo tempo posiciona um ponteiro indicador mostrando a quantidade de combustível remanescente no tanque.

Uma versão simplificada de uma unidade do tanque é mostrada na figura 5-29.

A capacitância de um capacitor depende de três fatores:

- A área das chapas;
- A distância entre as chapas;
- O dielétrico constante do material entre as chapas.

O único fator variável da unidade do tanque é o dielétrico do material entre as chapas. Quando o tanque está cheio, o material dielétrico é todo combustível. Sua constante dielétrica é cerca de 2,07 a 0ºC comparado a um dielétrico constante de 1 para o ar.

Quando o tanque está pela metade existe ar entre as metades superiores das placas, e combustível entre as placas em sua parte inferior. Assim o capacitor tem menor capacitância do que tinha antes quando o tanque estava cheio.

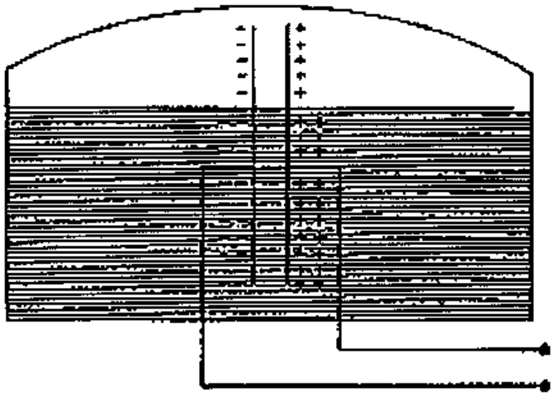


Figura 5-29 Circuito tanque-capacitância

Quando o tanque está vazio, haverá somente ar entre as placas e, conseqüentemente, a capacitância será ainda menor. Qualquer mudança na quantidade de combustível entre o tanque cheio e o tanque vazio provoca uma mudança correspondente na capacitância.

Um circuito de capacitância simplificado é mostrado na figura 5-30. O capacitor do tanque de combustível e um capacitor de referência fixo estão conectados em séries, através de uma bobina transformadora secundária.

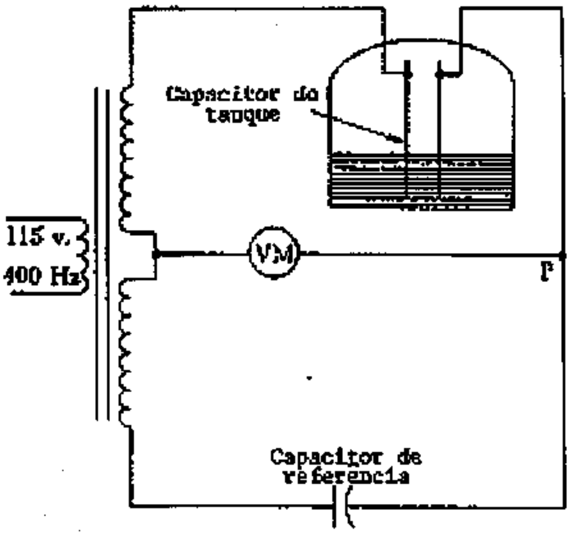


Figura 5-30 Circuito ponte de capacitância

Um voltímetro está conectado do centro da bobina do transformador até um ponto entre os dois capacitores.

Se as duas capacitâncias são iguais a queda de voltagem será igual, e a voltagem entre o centro e o ponto “P “ será zero. Assim que a quantidade de combustível aumenta, a capacitância da unidade do tanque aumenta causando maior fluxo de corrente na unidade do tanque e no circuito. Isto causará a existência de uma voltagem através do voltímetro, que está ligado em fase com a voltagem aplicada ao transformador.

Se a quantidade do tanque diminui, haverá um menor fluxo da corrente no lado do tanque. A voltagem através do voltímetro está agora fora de fase com a voltagem aplicada ao transformador. Em um instrumento atual tipo capacitor, a informação para o amplificador de dois estágios está conectada em lugar do voltímetro. Ele amplifica o sinal de um desbalanceamento na unidade ponte.

A saída do amplificador energiza uma bobina no motor indicador de duas fases. A outra bobina motor, chamada “Fase de Linha”, está constantemente energizada pela mesma voltagem que é aplicada ao transformador no circuito ponte, mas sua fase está desalinhada 90º por um capacitor.

Como resultado, o motor indicador é sensível a fase, isto é, ele vai operar em qualquer direção, dependendo se a capacitância da unidade do tanque está aumentando ou diminuindo. Quando a capacitância do tanque aumenta ou diminui, devido a mudança na quantidade de combustível, é necessário reajustar o circuito ponte para uma condição de balanceamento, de forma que o motor indicador não continue mudando a posição da agulha indicadora. Isto é conseguido por um potenciômetro balanceador, conectado através da metade do transformador secundário, conforme mostrado na figura 5-31.

O motor indicador move o braço do potenciômetro na direção necessária para manter equilíbrio contínuo na ponte. O circuito mostrado na figura 5-31 é um circuito de ponte com equilíbrio próprio.

Um potenciômetro “vazio” e um calibrado “cheio” estão ligados através das partes do transformador secundário em pontas opostas da bobina. Estes potenciômetros podem ser ajustados para equilibrar as voltagens da ponte sobre um sistema completo, de alcance de capacitância, de vazio até completamente cheio de um específico sistema.

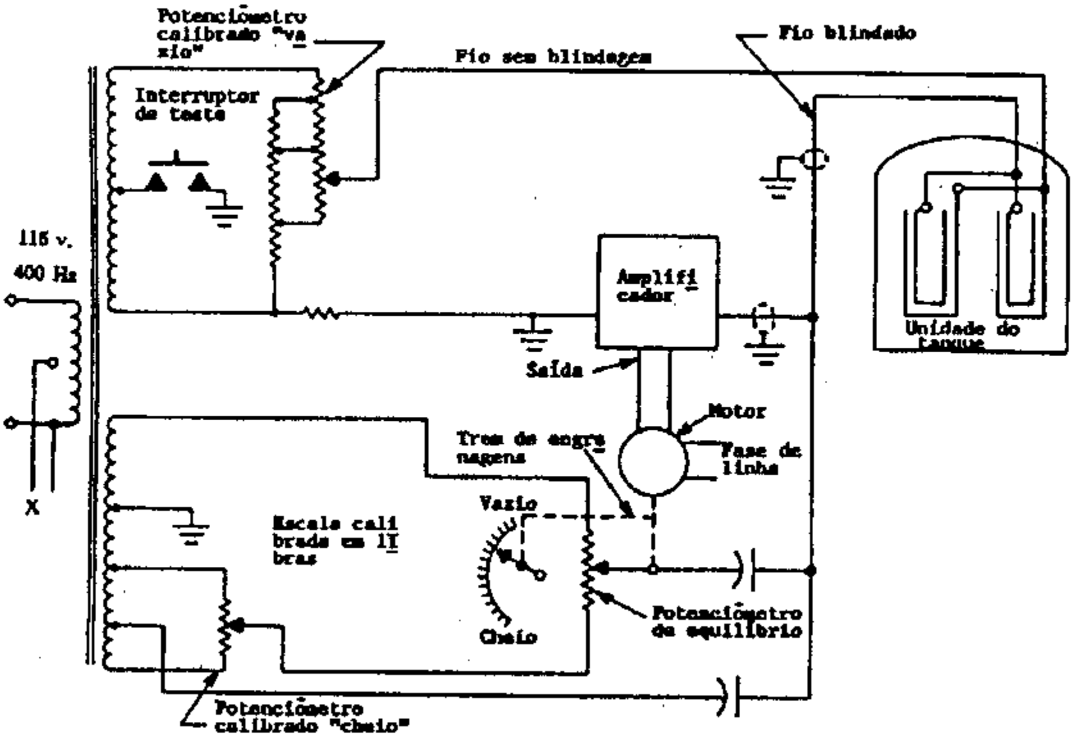

Potenciômetro calibrado "vazio"
Fio sem blindagem
Fio blindado
Interruptor de teste
115 v.
400 Hz
X
Amplificador
Unidade do tanque
Saída
Motor
Trem de engrenagens
Fase de linha
Vazio
Escala calibrada em libras
Cheio
Potenciômetro de equilíbrio
Potenciômetro calibrado "cheio"

Figura 5-31 Circuito de ponte de equilíbrio próprio

Em algumas instalações onde o indicador mostra o conteúdo de somente um tanque, e onde o tanque é mais ou menos simétrico, uma unidade é o suficiente, entretanto para maior exatidão, em tanques de forma peculiar, duas ou mais unidades são ligadas em paralelo para minimizar o efeito de mudanças na atitude do avião e o deslocamento do combustível nos tanques.

SISTEMAS DE INDICAÇÃO DO ÂNGULO DE ATAQUE

O sistema de indicação do ângulo de ataque detecta o ângulo de ataque do avião de um ponto na lateral da fuselagem, e fornece informações para o controle e atuação de outras unidades e sistemas no avião. Os sinais são fornecidos para operar um indicador de ângulo de ataque (figura 5-32) localizado no painel de instrumentos, onde uma indicação visual contínua do atual ângulo de ataque é mostrada.

Um sistema típico de ângulo de ataque fornece sinais elétricos para a operação de um atuador dos pedais do leme, o que alerta o operador de um estol iminente quando o avião está se aproximado de um ângulo de ataque crítico.

Chaves elétricas são atuadas no indicador de ângulo de ataque a vários ângulos de ataque pré-estabelecidos.

O sistema indicador de ângulo de ataque consiste de um detector (transmissor) da direção de corrente de ar (figura 5-32B) e um indicador localizado no painel de instrumentos.

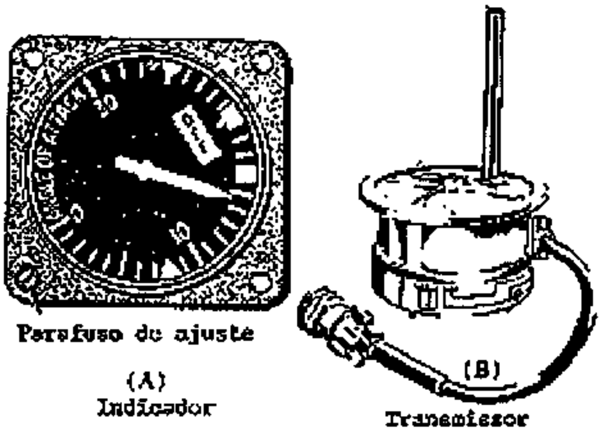


Figura 5-32 Sistema de indicação do ângulo de ataque

O detector de direção de corrente de ar contém um elemento sensitivo que mede a direção local da corrente de ar, relativo ao ângulo do ataque verdadeiro, detectando a diferença angular entre o fluxo de ar local e um ponto de referência na fuselagem do avião. O elemento sensível opera em conjunção com o circuito ponte balanceado que converte as posições da antena em sinais elétricos.

A operação de sistema indicativo de ângulos de ataque está baseada na detecção de pressão diferencial, no ponto onde a corrente de ar está fluindo numa direção que não é paralela ao verdadeiro ângulo de ataque do avião. Esta pressão diferencial é causada por mudanças no fluxo de ar ao redor da unidade antena.

A antena estende-se através da fuselagem do avião para o vento relativo.

O final exposto da antena contém duas fendas paralelas que detectam a pressão diferencial do fluxo de ar (figura 5-33).

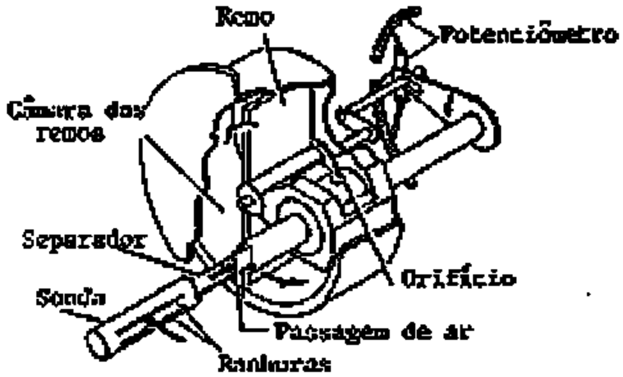


Figura 5-33 Detector da direção do fluxo de ar

O ar que passa pelas fendas é transmitido através de duas passagens separadas, para compartimentos separados em uma câmara, onde existem dispositivos em forma de remo. Qualquer pressão diferencial causada por desalinhamento da antena em relação a direção do fluxo de ar causará uma rotação nos remos.

Os remos movendo-se rodarão a antena através de um mecanismo, até que a diferencial de pressão seja zero. Isto ocorre quando as fendas estão simétricas com a direção da corrente de ar. Dois potenciômetros eletricamente separados rodando com a antena fornecerão sinais para indicações remotas. A posição da antena ou rotação é convertida em um sinal elétrico por um dos potenciômetros, que é o componente transmissor de um circuito auto-ajustável. Quando um ângulo de ataque do avião é mudado e, subseqüentemente, a posição do potenciômetro transmissor é alterada, um erro de voltagem existe entre o potenciômetro transmissor e o potenciômetro receptor.

Fluxos de corrente através de um relé sensível polarizado rodam um servo motor no indicador.

O servo motor energiza o receptor potenciômetro na direção exigida para reduzir a voltagem, e restaurar o circuito a uma condução eletricamente equilibrada.

O ponteiro indicador está ligado, e se move com o receptor potenciômetro para indicar no mostrador o ângulo de ataque relativo.

INDICADORES DE PRESSÃO HIDRÁULICA

Os mecanismos usados no recolhimento ou abaixamento, do trem de pouso, ou os flapes, na maioria dos aviões são operados por um sistema hidráulico.

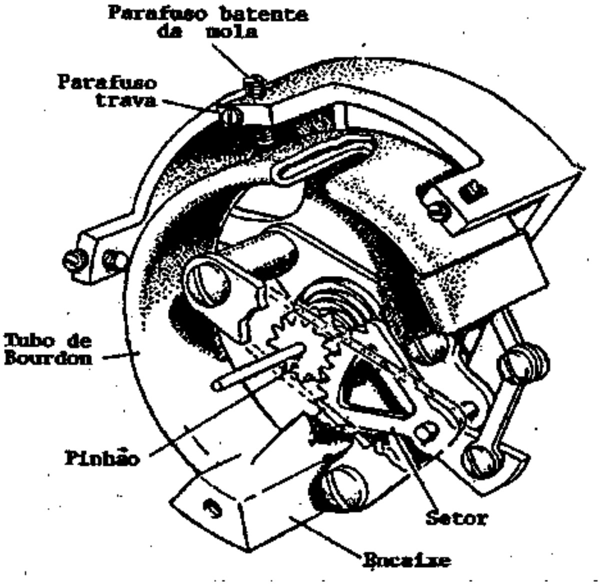


Figura 5-35 Indicador de pressão tipo tubo de Bourdon

Um indicador para medir a pressão diferencial no sistema hidráulico indica como este sistema está funcionando. Os indicadores de pressão hidráulica são projetados para indicar, ou a pressão do sistema completo, ou a pressão de uma unidade em particular no sistema.

Um mostrador típico de pressão hidráulica é mostrador na figura 5-36.

O estojo desse instrumento contém um tubo Bourdon e um mecanismo de coroa e pinhão, através do qual os movimentos de deformação do turbo Bourdon são amplificados e transferidos para o ponteiro.

A posição do ponteiro no mostrador calibrado indica a pressão hidráulica em libras por polegada ao quadrado.

As bombas que geram pressão para as unidades hidráulicas dos aviões são movidas, ou pelo próprio motor do avião, ou por motor elétrico, ou por ambos.

Alguns sistemas usam um acumulador de pressão para manter uma reserva de fluido hidráulico sob pressão em qualquer tempo. Em tais casos, o indicador de pressão registra permanentemente a pressão no acumulador.

Em outros sistemas hidráulicos a pressão de operação é gerada somente quando necessária, e o registro de pressão no instrumento somente aparecerá durante essas condições.

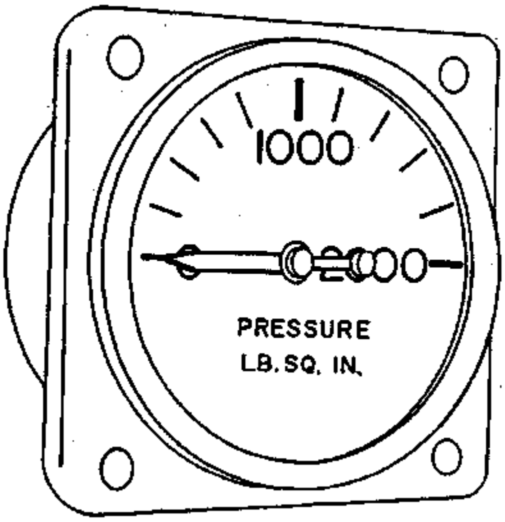


Figura 5-36 Indicador de pressão hidráulica

INDICADORES DE PRESSÃO DO SISTEMA DE DEGELO

Alguns aviões são equipados com câmaras de borracha nas superfícies frontais das asas e estabilizadores. Essas câmaras inflam e esvaziam com ar fornecido por um sistema de pressão próprio. A finalidade é provocar a quebra de gelo acumulado nessas superfícies.

Essas câmaras de ar serão chamadas, daqui para frente de "*BOOTS*". Os *Boots* de expansão de borracha, que degelam os bordos de ataque das asas e estabilizadores em alguns aviões, são operados por um sistema de ar comprimido.

Há um instrumento que mede a pressão do sistema, medindo a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão no interior do sistema de degelo, indicando se há suficiente pressão para operar os boots degeladores. O instrumento também fornece ao sistema um método de medida ao se ajustar a válvula de alívio e o regulador do sistema degelo.

Um indicador típico de pressão é mostrado na figura 5-37.

O estojo tem um respiro na parte inferior para manter pressão atmosférica no interior do instrumento, bem como prover um dreno para qualquer umidade que possa acumular-se no interior do instrumento.

O mecanismo do instrumento de medir a pressão de degelo consiste de um tubo Bourdon, e uma engrenagem com um pinhão, para amplificar o movimento do tubo e transferi-lo para o ponteiro.

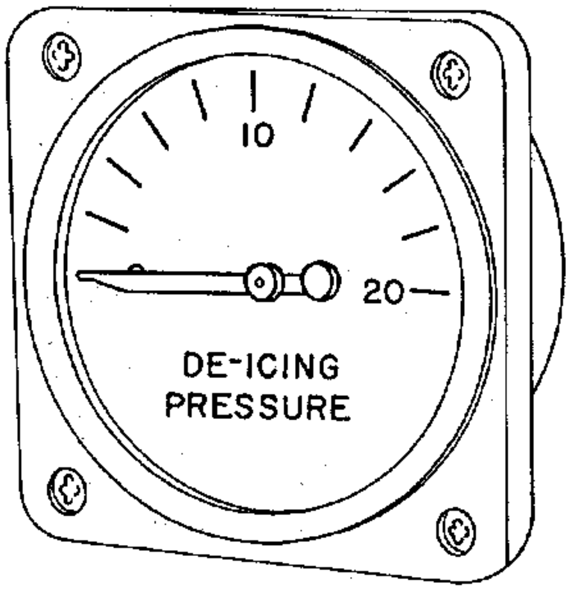


Figura 5-37 Indicação da pressão do degelador.

A pressão do sistema de degelo entra no tubo Bourdon através de uma conexão na parte posterior do instrumento. Um instrumento de pressão é tipicamente calibrado de 0 PSI até o máximo de 20 PSI, com a escala marcada em graduações de 2 PSI, conforme indica a figura 5-37.

Quando instalado e conectado num sistema de pressão de degelo do avião o indicador do instrumento permanece em 0, a não ser que o sistema degelo esteja operando. O ponteiro do instrumento flutuará de 0 PSI até, aproximadamente, 08 PSI sob condições normais, porque os boots degeladores são intermitentemente inflados e esvaziados. Esta flutuação é normal e não deverá ser confundida com oscilação.

Indicadores de pressão tipo diafragma

Este tipo de instrumento usa um diafragma para medir pressão. A pressão ou sucção a ser medida é admitida ao interior do diafragma sensível a pressão, através de um furo na parte traseira do estojo do instrumento.

Uma pressão oposta, geralmente a pressão atmosférica, é aditivada através de um respiro na caixa do instrumento (figura 5-38).

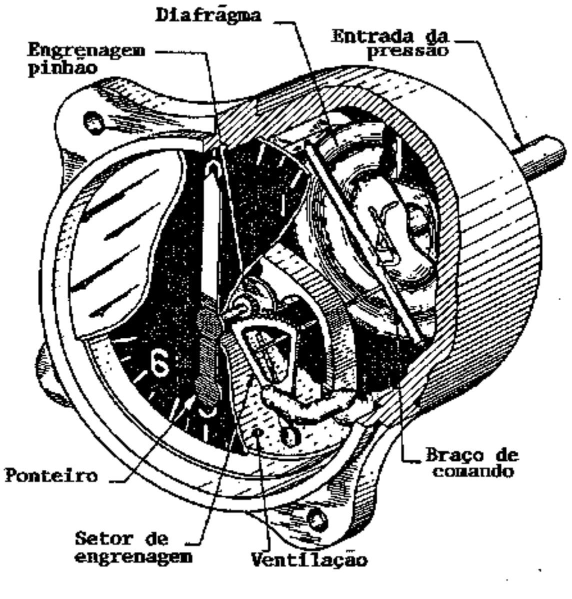


Figura 5-38 Indicador de pressão tipo diafragma.

Como as paredes do diafragma são muito finas, o aumento de pressão causará uma expansão no diafragma; e uma diminuição de pressão causará uma contração no diafragma.

Qualquer movimento do diagrama é transmitido ao ponteiro por meio de um eixo, engrenagem e pinhão que são conectadas à parte da frente.

Esse instrumento mede também a pressão diferencial, porque indica a diferença entre a pressão estática admitida pelo respiro do instrumento, e a pressão dinâmica ou fluxo dentro do diagrama.

INDICADORES DE SUCÇÃO

Indicadores de sucção são usados nos aviões para indicar a quantidade de sucção que aciona os instrumentos giroscópicos movidos por ar. Os rotores dos instrumentos giroscópicos são mantidos em movimento por correntes de ar dirigidas contra a palhetas do rotor. Essas correntes de ar são produzidas pelo bombeamento de ar para fora das caixas do instrumento por uma bomba de vácuo. A pressão atmosférica, então, força o ar para o interior dos estojos dos instrumentos através de filtros, e é este ar que é dirigido conta as palhetas do rotor para movê-los e girá-los.

O indicador de sucção indica se o sistema de vácuo está trabalhando adequadamente. O indicador de sucção tem um respiro para a atmosfera ou para a linha do filtro de ar, e contém um diafragma sensível à pressão e mais o mecanismo usual multiplicador que amplifica o movimento do diafragma e transfere esse movimento ao ponteiro.

A leitura do instrumento de sucção indica a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão negativa no sistema de vácuo.

CAPÍTULO 6

MATERIAIS ELÉTRICOS

FIOS E CABOS CONDUTORES

O desempenho satisfatório de qualquer avião moderno depende, em grande parte, da confiança contínua nos sistemas e subsistemas elétricos. A instalação ou manutenção incorreta ou descuidada da fiação pode ser fonte de perigo imediato e potencial.

O funcionamento adequado e contínuo dos sistemas elétricos depende do conhecimento e da técnica do mecânico que instala, inspeciona e mantém os fios e cabos do sistema elétrico.

OS PROCEDIMENTOS E PRÁTICAS APRESENTADOS NESTE MANUAL SÃO RECOMENDAÇÕES GERAIS, E NÃO PRETENDEM SUBSTITUIR AS INSTRUÇÕES E PRÁTICAS APROVADAS PELO FABRICANTE.

Para efeito deste manual, um fio é apresentado como um condutor singelo e rígido ou como um condutor retorcido, ambos revestidos com um material isolante. A figura 6-1 ilustra estas duas definições de um fio.

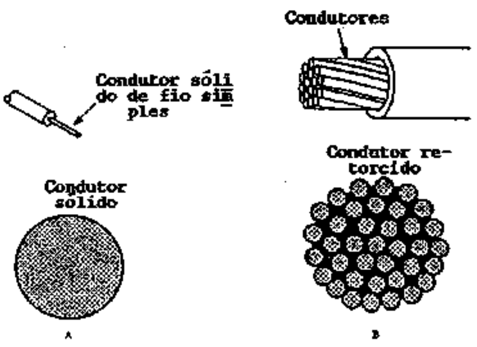


Figura 6-1 Dois tipos de fio de avião

O termo cabo, como é usado nas instalações elétricas da aeronave inclui:

- Dois ou mais condutores isolados separadamente e no mesmo invólucro (cabo multicondutor).
- Dois ou mais condutores isolados separadamente e torcidos juntos (par torcido).
- Um ou mais condutores isolados, revestidos com uma blindagem trançada metálica (cabo blindado).
- Um condutor central singelo isolado, com um condutor externo de revestimento metálico (cabo de radiofreqüência). A concentricidade do condutor central e do condutor externo é cuidadosamente controlada durante a fabricação para assegurar que eles sejam coaxiais (cabo coaxial).

BITOLA DE FIO

O fio é fabricado em bitola de acordo com o modelo padrão especificado pelo AWG (American Wire Gage).

		Secção em corte		Ohms / 1.000 pés	
Bitola	Diâmetro	Mils Circular	Pol²	25°C (77°F)	65°C (149°F)
0000	460.0	212,000.0	0.166	0.0500	0.0577
000	410.0	168,000.0	.132	.0630	.0727
00	365.0	133,000.0	.105	.0795	.0917
0	325.0	106,000.0	.0829	.100	.116
1	289.0	83,700.0	.0657	.126	.146
2	258.0	66,400.0	.0521	.159	.184
3	229.0	52,600.0	.0413	.201	.232
4	204.0	41,700.0	.0328	253	.292
5	182.0	33,100.0	.0260	.319	.369
6	162.0	26,300.0	.0206	.403	.465
7	144.0	20,800.0	.0164	.508	.586
8	128.0	16,500.0	.0130	.641	.739
9	114.0	13,100.0	.0103	.808	.932
10	102.0	10,400.0	.00815	1.02	1.18
11	91.0	8,230.0	.00647	1.28	1.48
12	81.0	6,530.0	.00513	1.62	1.87
13	72.0	5,180.0	.00407	2.04	2.36
14	64.0	4,110.0	.00323	2.58	2.97
15	57.0	3,260.0	.00256	3.25	3.75
16	31.0	2,580.0	.00203	4.09	4.73
17	45.0	2,050.0	.00161	5.16	5.96
18	40.0	1,620.0	.00128	6.51	7.51
19	36.0	1,290.0	.00101	8.21	9.48
20	32.0	1,020.0	.000802	10.4	11.9
21	28.5	610.0	.000636	13.1	15.1
22	25.3	642.0	.000505	16.5	19.0
23	22.6	509.0	.000400	20.8	24.0
24	20.1	404.0	.000317	26.2	30.2
25	17.9	320.0	.000252	33.0	38.1
26	15.9	254.0	.000200	41.6	48.0
27	14.2	202.0	.000158	52.5	60.6
28	12.6	160.0	.000126	66.2	76.4
29	11.3	127.0	.0000995	83.4	96.3
30	10.0	101.0	.0000789	105.0	121.0
31	8.9	79.7	.0000626	133.0	153.0
32	8.0	63.2	.0000496	167.0	193.0
33	7.1	50.1	.0000394	211.0	243.0
34	6.3	39.8	.0000312	266.0	307.0
35	5.6	31.5	.0000248	335.0	387.0
36	5.0	25.0	.0000196	423.0	488.0
37	4.5	19.8	.0000156	533.0	616.0
38	4.0	15.7	.0000123	673.0	776.0
39	3.5	12.5	.0000098	848.0	979.0
40	3.1	9.9	.0000078	1,070.0	1,230.0

Figura 6-2 Tabela da bitola AWG para o fio rígido

Como apresentado na figura 6-2, os diâmetros do fio tornam-se menores à medida que os números do calibre tornam-se maiores. A maior bitola do fio mostrado na figura 6-2 é o número 0000, e a menor é o número 40. As bitolas maiores e menores são fabricadas, mas não são comumente usadas.

Um calibre de fio é apresentado na figura 6-3. Este tipo de calibre medirá os fios variando em bitola do 0 até o número 36. O fio a ser medido é colocado na fenda menor, que só medirá o fio desencapado. O número do calibre correspondente à fenda indica o bitola do fio.

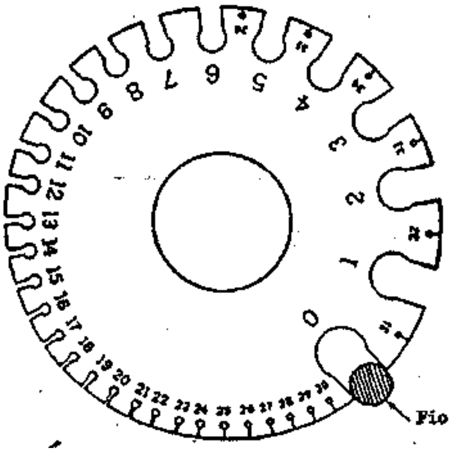


Figura 6- 3 Calibre para fio

A fenda possui lados paralelos e não deve ser confundida com a abertura semi-circular na extremidade interna. A abertura simplesmente permite o movimento livre do fio em direção, e através da fenda. Os números do calibre são úteis na comparação da bitola dos fios, mas nem todos os tipos de fio ou cabo podem ser medidos precisamente com um calibre.

Os fios maiores são geralmente trançados para aumentar sua flexibilidade. Em tais casos, a área total pode ser determinada, multiplicando-se a área de um fio trançado (geralmente computado em milipolegadas circulares quando o diâmetro ou número da bitola é conhecido) pelo número de fios no cabo trançado.

Fatores que afetam a seleção da bitola do fio

Diversos fatores devem ser considerados na seleção da bitola do fio para transmissão e distribuição de força elétrica.

O primeiro fator é a perda da energia permitida (perda I2R) na linha. Esta perda representa a energia elétrica transformada em calor. O uso de condutores maiores reduz a resistência e, portanto, a perda de I2R. Entretanto, os condutores maiores, em princípio, são mais caros do que os menores; eles são mais pesados e necessitam de suportes mais substanciais.

Um segundo fator é a queda de voltagem permitida (queda IR) na linha. Se a fonte mantiver uma voltagem constante na entrada para as linhas, qualquer variação na carga da linha provocará uma variação na corrente e, conseqüentemente, uma variação de queda IR na linha. Uma variação extensa da queda IR na linha provoca uma regulagem deficiente de voltagem na carga. A solução óbvia é reduzir a corrente ou a resistência.

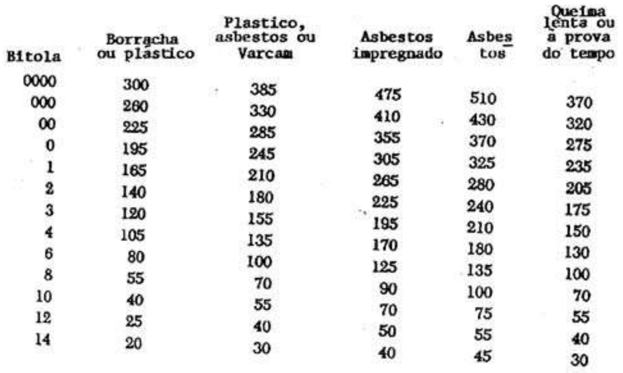
Uma redução na corrente de carga diminui a potência de saída da energia que está sendo transmitida, enquanto que, uma redução na resistência da linha aumenta o tamanho e o peso dos condutores necessários.

Geralmente é alcançado um ponto de equilíbrio, por meio do qual a variação de voltagem na carga permanece dentro dos limites toleráveis, e o peso dos condutores na linha não é excessivo.

Um terceiro fator é a capacidade do condutor para conduzir corrente. Quando a corrente passa através do condutor há produção de calor. A temperatura do fio aumentará até que o calor irradiado, ou dissipado, seja igual ao calor gerado pela passagem de corrente através da linha. Se o condutor for isolado, o calor gerado no condutor não será logo removido. Dessa forma, para proteger o isolante de calor excessivo, a corrente através do condutor deve ser mantida abaixo de um certo valor. Quando os condutores elétricos acham-se instalados em locais onde a temperatura ambiente é relativamente alta, o calor pelas fontes externas constituem uma parte apreciável do aquecimento total do condutor. Uma compensação pela influência do aquecimento externo sobre a corrente permitida no condutor deve ser feita, e cada caso possui suas próprias limitações específicas.

A temperatura máxima de operação permitida no condutores isolados varia com o tipo de isolante que está sendo utilizado. Existem tabelas que relacionam os valores de segurança de corrente para as várias bitolas e tipos de condutores, revestidos com diversos tipos de isolantes.

A figura 6-4 mostra a capacidade dos condutores singelos de cobre em conduzir corrente em ampères, numa temperatura ambiente abaixo de 30º C. Este exemplo fornece medidas somente para uma relação limitada de bitolas de fios.



Bitola	Borracha ou plastico	Plastico, asbestos ou Varcam	Asbestos impregnado	Asbestos	Queima lenta ou à prova do tempo
0000	300	385	475	510	370
000	260	330	410	430	320
00	225	285	355	370	275
0	195	245	305	325	235
1	165	210	265	280	205
2	140	180	225	240	175
3	120	155	195	210	150
4	105	135	170	180	130
6	80	100	125	135	100
8	55	70	90	100	70
10	40	55	70	75	55
12	25	40	50	55	40
14	20	30	40	45	30

Figura 6-4 Capacidade do fio em conduzir corrente

Fatores que influenciam na seleção do material condutor

Embora a prata seja o melhor condutor, seu custo limita o uso a circuitos especiais, onde é necessário um material com alta condutibilidade.

Os dois condutores mais comumente usados são o cobre e o alumínio. Cada um possui características próprias que tornam seu uso vantajoso sob certas circunstâncias. Possuem também suas desvantagens. O cobre possui maior condutibilidade; ele é mais dúctil (pode ser estirado), possui relativamente alta resistência à tração e pode ser facilmente soldado. Ele é mais caro e pesado do que o alumínio.

Embora o alumínio possua apenas cerca de 60% da condutibilidade do cobre, ele é usado extensivamente. Sua leveza torna possível vãos extensos e, seu diâmetro, relativamente grande para uma dada condutibilidade, reduz a corona (a descarga de eletricidade do fio quando ele possui um alto potencial). A descarga é maior quando é usado um fio de diâmetro menor ao invés de um fio de diâmetro maior. Algumas barras de ligação são feitas de alumínio ao invés de cobre onde existe uma superfície de radiação maior para a mesma condutância. As características do cobre e do alumínio são comparadas na figura 6-5.

CARACTERÍSTICAS	COBRE	ALUMÍNIO
Resistência a tensão	55.000	25.000
Resistência a tensão para a mesma condutividade (lb)	55.000	40.000
Peso para a mesma condutividade (lb)	100	48
Secção para a mesma condutividade (C.M)	100	160
Resistência específica (W/mil ft.)	10,6	17

Figura 6-5 Características do cobre e do alumínio

Queda de voltagem nos fios e nos cabos de um avião

É recomendado que a queda de voltagem dos cabos principais da fonte de força de geração do avião ou a da bateria para a barra não deve exceder 2% da voltagem regulada, quando o gerador estiver conduzindo uma corrente nominal ou a bateria estiver sendo descarregada na razão de 5 minutos.

A tabela da figura 6-6 mostra a queda de voltagem máxima recomendada em circuitos em carga entre a barra e o equipamento de utilização

	QUEDA DE VOLTAGEM PERMISSÍVEL	
VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	OPERAÇÃO CONTÍNUA	OPERAÇÃO INTERMITENTE
14	0,5	1
28	1	----
115	4	8
200	7	14

Figura 6-6 Queda de voltagem máxima recomendada nos circuitos de carga

A resistência do circuito de retorno de corrente à massa, através da estrutura da aeronave, é sempre considerada desprezível.

Entretanto, isto se baseia na suposição de que tenham sido proporcionadas adequadas ligações à estrutura ou ao circuito especial de retorno da corrente elétrica à massa, e que sejam capazes de conduzir a corrente elétrica necessária com uma queda mínima de voltagem.

A medida de resistência de 0,005 ohm de um ponto massa do gerador ou da bateria, até o terminal massa de qualquer componente elétrico, é considerado satisfatório.

Outro método satisfatório de determinar a resistência do circuito é o de verificar a queda de voltagem através do circuito.

Se a queda de voltagem não exceder os limites estabelecidos pelo fabricante do componente ou do avião, o valor da resistência para o circuito será considerado satisfatório.

Quando se usa o método de queda de voltagem para verificar um circuito, a voltagem de entrada deve ser mantida num valor constante.

Instruções para usar o gráfico de fios elétricos

Os gráficos das figuras 6-7 e 6-8 aplicam-se a condutores de cobre conduzindo corrente contínua. As curvas 1, 2 e 3 são traçadas para mostrar a máxima amperagem nominal para o condutor, especificado sob as condições apresentadas.

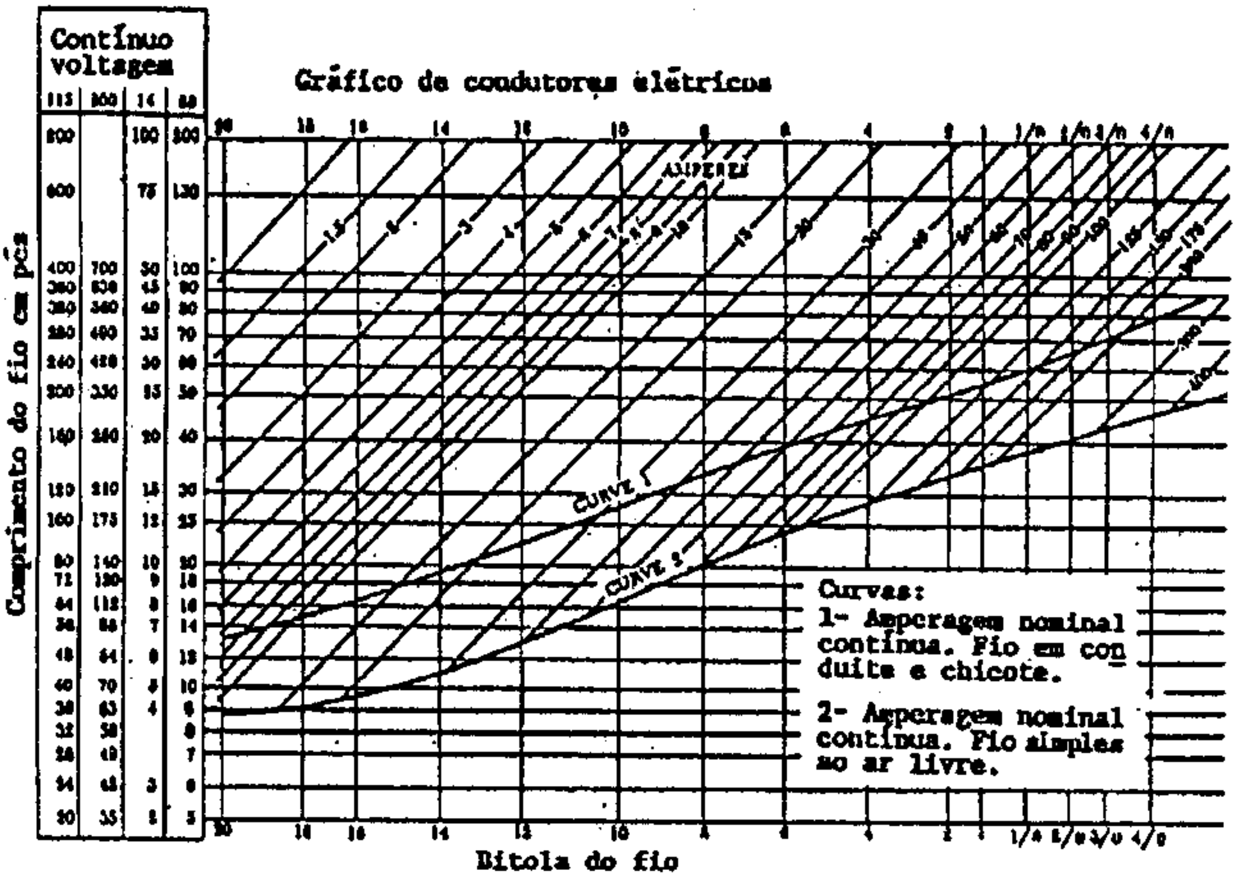


Figura 6-7 Gráfico de condutor fluxo contínuo (aplicável aos condutores de cobre)

Para selecionar a bitola correta do condutor, dois requisitos principais devem ser obedecidos:

1. A bitola do fio deve ser suficiente para evitar queda de voltagem excessiva, enquanto estiver conduzindo a corrente devida na distância necessária;
2. A bitola deve ser suficiente para evitar superaquecimento do cabo durante o transporte da corrente devida.
3.

Os gráficos das figuras 6-7 e 6-8 podem simplificar essas determinações. Para usar estes gráficos, a fim de selecionar a bitola apropriada do condutor, deve-se conhecer o seguinte:

- O comprimento do condutor em pés.
- O número de ampères da corrente a ser conduzida.
- O valor da queda de voltagem permitida.
- Se a corrente a ser conduzida é intermitente ou contínua e, se contínua, se o condutor é singelo, ao ar livre, em conduíte ou em chicote.

Suponha-se que seja desejado instalar um condutor a 50 pés da barra do avião para o equipamento, num sistema de 28 volts.

Para essa distância, uma queda de 1 volt é permitida para operação contínua.

Consultando-se o gráfico da figura 6-7, pode-se determinar o número máximo de pés que um condutor pode possuir, conduzindo uma corrente específica com uma queda de 1 volt.

Neste exemplo, é escolhido o número 50. Suponha-se que a corrente requerida pelo equipamento seja de 20 ampères.

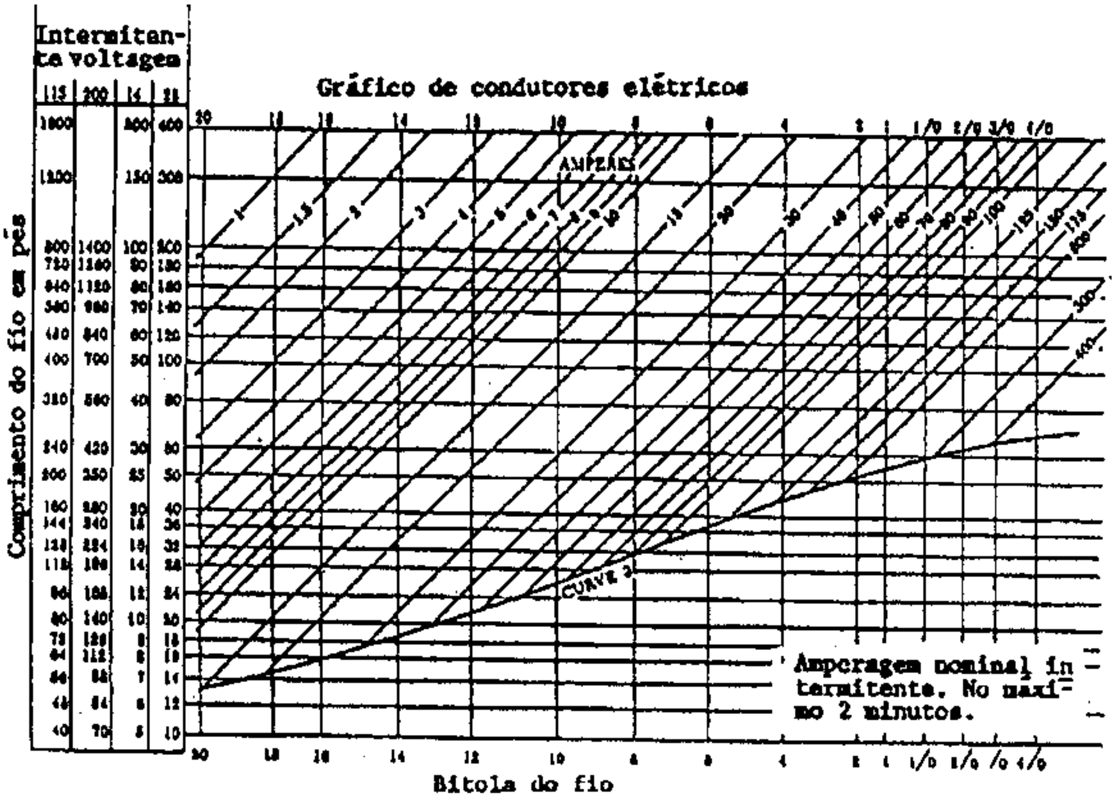


Figura 6-8 Gráfico de condutor fluxo intermitente

A linha que indica o valor de 20 ampères deve ser selecionada pelas linhas diagonais.

Leva-se a linha diagonal para baixo até que ela intercepte a linha horizontal de nº 50.

Deste ponto, passa-se direto para baixo do gráfico, para achar que um condutor entre as bitolas 8 e 10 seja necessário, e evite uma queda maior que 1 volt. Estando o valor indicado entre dois números, o de maior bitola, o nº 8, deve ser selecionado. Esse é o condutor de menor bitola, que pode ser usado para evitar uma queda de voltagem excessiva. Determinar que bitola do condutor é suficiente para evitar superaquecimento, basta desprezar ambos os números, ao longo do lado esquerdo do gráfico e das linhas horizontais.

Suponha-se que o condutor seja um fio singelo exposto ao ar livre que conduz corrente contínua.

Localiza-se um ponto alto do gráfico na linha diagonal numerada de 20 ampères.

Segue-se esta linha até interceptar a linha diagonal marcada "curva 2". É preciso descer deste ponto diretamente até o fundo do gráfico;

este ponto está entre os números 16 e 18. A bitola maior de número 16 deve ser a selecionada. Este é o condutor de menor bitola, aceitável para conduzir uma corrente de 20 ampères num fio singelo ao ar livre, sem superaquecimento.

Se a instalação, se aplicar ao equipamento tendo apenas uma necessidade intermitente (máximo de 2 minutos) de energia, o gráfico da figura 6-8 será usado da mesma maneira.

IDENTIFICAÇÃO DE CONDUTORES

Para facilidade de instalação e manutenção, os condutores elétricos são identificados através de uma combinação, de algarismos e letras, neles impressa. A identificação é determinada na fase de projeto e é inserida em todos os desenhos de esquemas elétricos.

Todos os condutores devem ser identificados conforme os seguintes tipos de identificação:

a) Identificação tipo “significante”ou

b) Identificação tipo “não significante”

Identificação tipo “Significante”

Este tipo de identificação indica a função do circuito ao qual pertence o condutor. Um exemplo de identificação deste tipo é mostrado a seguir.

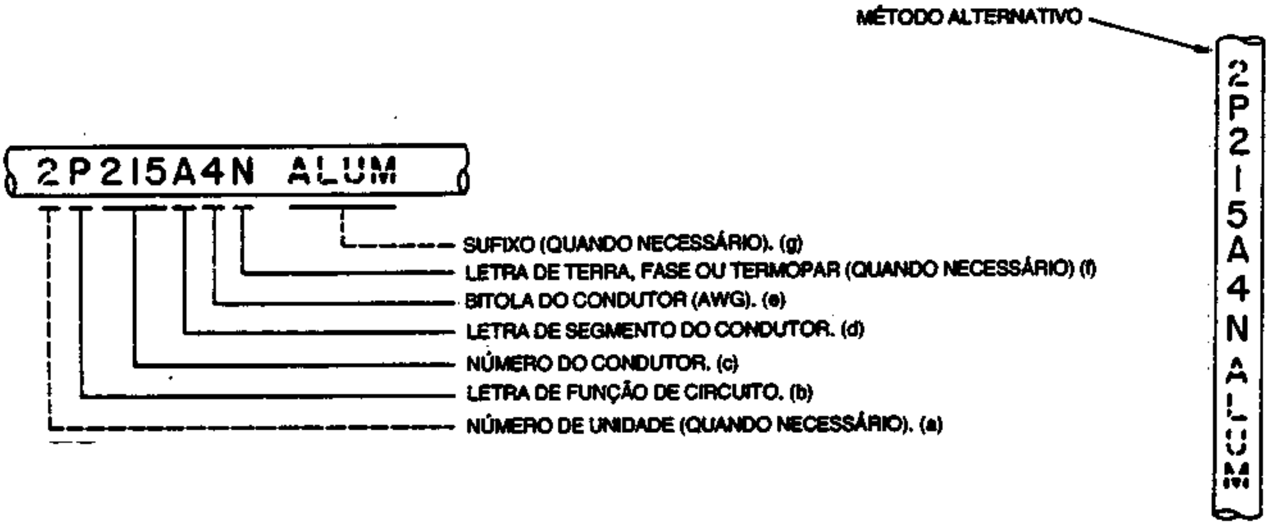

MÉTODO ALTERNATIVO
2P215A4N ALUM
SUFIXO (QUANDO NECESSÁRIO). (g)
LETRA DE TERRA, FASE OU TERMOPAR (QUANDO NECESSÁRIO) (f)
BITOLA DO CONDUTOR (AWG). (e)
LETRA DE SEGMENTO DO CONDUTOR. (d)
NÚMERO DO CONDUTOR. (c)
LETRA DE FUNÇÃO DE CIRCUITO. (b)
NÚMERO DE UNIDADE (QUANDO NECESSÁRIO). (a)
2P215A4NALUM

Figura 6-9 Identificação tipo “significante”

A seguir, a definição de cada item do código combinado de letras e algarismos.

a) **Número de unidade**

Este número é utilizado quando na aeronave for usado mais de um equipamento idêntico. Por exemplo: se forem usados 2 VOR idênticos:

- 1RN 168A22 é utilizado quando na aeronave for usado mais de um equipamento idêntico.
- 2RN 168A22 é o fio correspondente à mesma função no outro sistema de VOR (número 2).

Usa-se, normalmente, o número de ordem “1” para o lado esquerdo e “2” para o lado direito; sendo que esta regra não se aplica a componentes duplicados de um mesmo sistema.

Quando o sistema é único dispensa-se o uso do “1”.

b) **Letra designativa da função do circuito**

Esta letra indica que categoria de circuito o condutor é usado. No exemplo apresentado a letra P indica ser um condutor do sistema de potência elétrica CC.

A lista a seguir relaciona as letras e as funções dos respectivos circuitos.

Letra	**Sistema**
A	Armamento
B	Fotografia
C	Comandos de vôo
D	Instrumentos diversos (exceto de vôo ou do motor
E	Instrumentos do motor
F	Instrumentos de vôo
G	Comandos do Trem de Pouso
H	Ar condicionado/Degelo
I	Não é utilizado para evitar confusão com o número 1
J	Ignição
K	Comandos do motor
L	Iluminação
M	Miscelânea elétrica
N	Não ocupada
O	Não é utilizada para evitar confusão com o dígito zero (0)
P	Potência elétrica – CC
Q	Comando de combustível e óleo
R	Rádio (Navegação e comunicação)
RA	Instrumentos de aterragem
RC	Comando
RD	Rádio goniométrico (ADF)
RF	VHF de ligação
RL	HF de comunicação
RM	“Marker Beacon”
RN	Navegação (VOR)
RS	SHF de comando
RT	Rádio teletipo
RU	UHF de comando
RV	VHF de comando
RX	Gravador, FM, AM
RZ	Interfone
S	Radar
SA	Altímetro
SF	Interceptor
SG	De tiro
SM	De mapeamento
SN	De navegação
SQ	De bombardeio
SR	Gravação
SS	De busca
SV	Especiais
SW	Alarme
SX	De reconhecimento (IFF)
T	Eletrônica especial
TA	Adaptadores
TB	Controle de radar
TC	Controle de rádio
TD	Anunciador de bordo
TE	Contramedida eletrônica (ECM)
TF	Repetidores
TG	GM de direção
TK	Telemetria
TL	Indicador de Atitude
TM	Fardos especiais
TN	Navegação
TP	Balisa
TQ	Transceptores
TR	Receptores
TS	Anti-submarino (ASW)
TT	Transmissores
TW	Dispositivos meteorológicos
TX	Transmissores de TV
TY	Receptores de TV
TZ	Dispositivos de bombardeio
U	Miscelânea eletrônica
V	Potência CC
W	Alarme de emergência
X	Potência CA
Y	Sistemas de armamentos especiais
YA	Ar-Ar
YB	Ar-Terra
YC	Multifunção
YW	Orientação de mísseis
YT	Torre
Z	Não ocupada

c) **Número do condutor**

É o número de cada condutor por ordem de seqüência no mesmo circuito e serve para diferenciá-lo dos outros. Números diferentes serão atribuídos a condutores que não tiverem ponto de terminação ou conexão em comum.

d) **Letra designativa do segmento do condutor**

Um segmento de um condutor é um trecho do mesmo, compreendido entre dois seccionamentos quaisquer da aeronave; por exemplo: conectores, caixas de junção, blocos de terminais, etc.

As letras de segmento são usadas para diferenciar os fios em diferentes trechos de seu seccionamento.

Quando possível, os segmentos devem ser numerados em ordem alfabética, sendo a letra **A** reservada ao primeiro segmento a partir da fonte de alimentação.

e) **Bitola do condutor**

Esse número corresponde à secção do condutor segundo a especificação AWG.

f) **Letras de massa, fase ou termopar**

As letras A, B ou C identificam as fases de um sistema CA trifásico no qual o condutor é usado. A letra "N" indica que o condutor completa um circuito para o massa. Pode-se ter ainda a letra "V" indicativa de fio não ligado à massa e pertencente a um sistema monofásico.

g) **Sufixo**

Para condutores de termopares, os seguintes sufixos devem ser aplicados:

CHROM – Cromel

ALML – Alumel

IRON – Ferro

CONST – Constantan

COP – Cobre

Em condutores de alumínio a sigla "ALUM" deve ser acrescentada ao símbolo de identificação.

Identificação tipo "Não Significante" MIL-W-5088-H

Este tipo de identificação não indica a função do circuito ao qual pertence o condutor.

Cada cablagem é identificada pela letra "W', seguida por um número identificador de, no máximo, quatro dígitos.

As cablagens do "Sistema Elétrico" são identificadas com números pares e as do "Sistema Eletrônico", com números ímpares.

Exemplo:

– W002 cablagem elétrica

– W003 cablagem eletrônica

Quando os fios passam por um conector, o número da cablagem é modificada.

Para cada condutor, há uma única identificação alfanumérica para distingui-lo de todos os outros condutores da aeronave.

Cada número do condutor inclui a identificação da cablagem a que pertence, um número identificador, um número de sua bitola, código especial de cor, condutores termopar e blindagem.

Exemplo:

W	023	–	005	–	24	WH
(a)	(b)	(f)	(c)	(f)	(d)	(e)

Onde:

(a) Letra classificatória de cablagem

(b) Número que identifica a cablagem (até 4 dígitos)

(c) Número identificador do condutor (até 4 dígitos)

(d) Número da bitola do condutor

(e) Código especial

(f) Separação (hífen)

(c) O número identificador do condutor distingue cada condutor de todos os outros, dentro de uma mesma cablagem. Este número não deve exceder quatro dígitos. A numeração dos condutores é em ordem crescente, começando pelo que sai da fonte de alimentação.

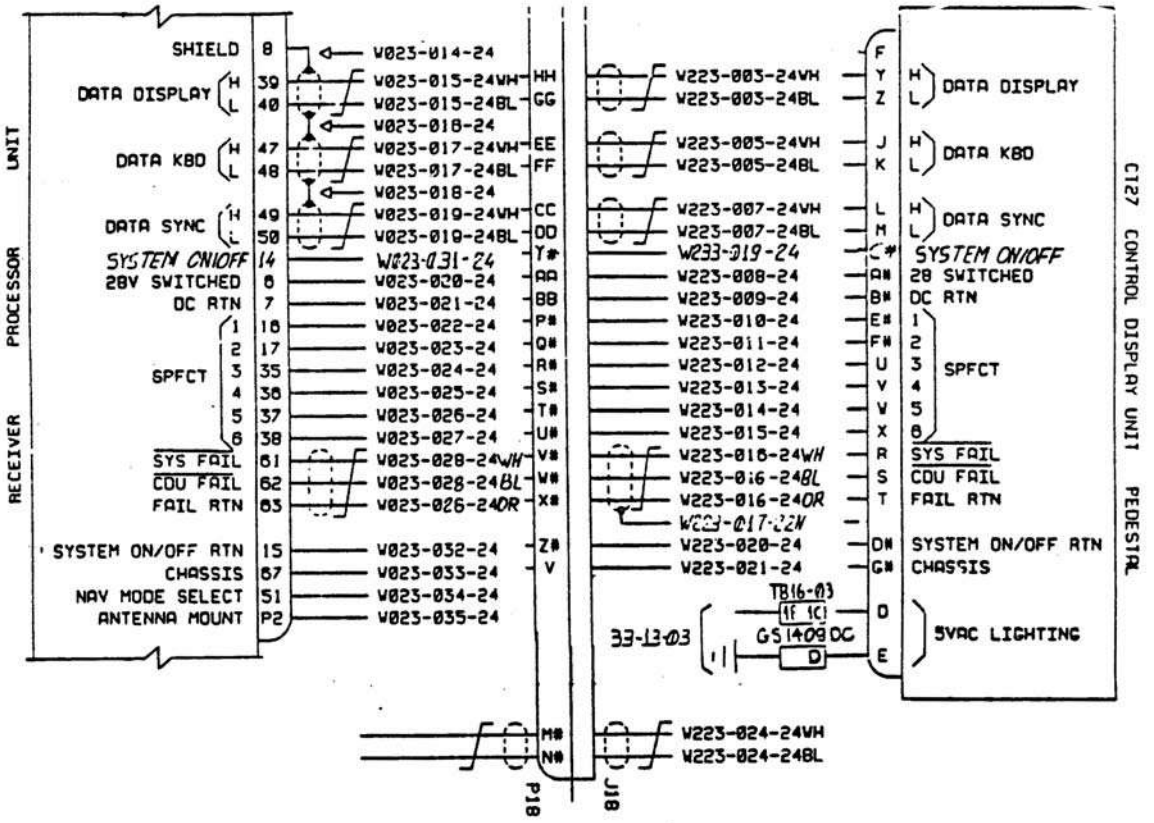
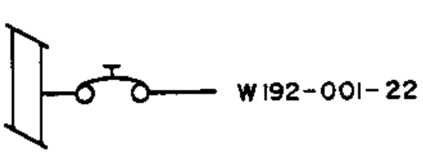
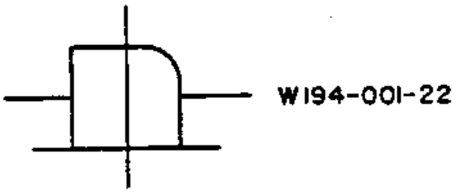
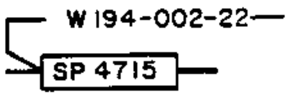

RECEIVER PROCESSOR UNIT
SHIELD
DATA DISPLAY
DATA KBD
DATA SYNC
H
L
SYSTEM ON/OFF
28V SWITCHED
DC RTN
SPFCT
1
2
3
4
5
6
SYS FAIL
CDU FAIL
FAIL RTN
SYSTEM ON/OFF RTN
CHASSIS
NAV MODE SELECT
ANTENNA MOUNT
8
39
40
47
48
49
50
14
6
7
16
17
35
36
37
38
61
62
63
15
67
51
P2
W023-014-24
W023-015-24WH
W023-015-24BL
W023-016-24
W023-017-24WH
W023-017-24BL
W023-018-24
W023-019-24WH
W023-019-24BL
W023-031-24
W023-020-24
W023-021-24
W023-022-24
W023-023-24
W023-024-24
W023-025-24
W023-026-24
W023-027-24
W023-028-24WH
W023-028-24BL
W023-026-24OR
W023-032-24
W023-033-24
W023-034-24
W023-035-24
HH
GG
EE
FF
CC
DD
Y#
AA
BB
P#
Q#
R#
S#
T#
U#
V#
W#
X#
Z#
V
M#
N#
P18
J18
W223-003-24WH
W223-003-24BL
W223-005-24WH
W223-005-24BL
W223-007-24WH
W223-007-24BL
W233-019-24
W223-008-24
W223-009-24
W223-010-24
W223-011-24
W223-012-24
W223-013-24
W223-014-24
W223-015-24
W223-016-24WH
W223-016-24BL
W223-016-24OR
W223-017-22N
W223-020-24
W223-021-24
TB16-03
1F 1C
33-13-03
GS1409DC
D
W223-024-24WH
W223-024-24BL
F
Y
Z
J
K
L
M
C#
A#
B#
E#
F#
U
V
W
X
R
S
T
D#
G#
D
E
DATA DISPLAY
DATA KBD
DATA SYNC
SYSTEM ON/OFF
28 SWITCHED
DC RTN
SPFCT
SYS FAIL
CDU FAIL
FAIL RTN
SYSTEM ON/OFF RTN
CHASSIS
5VAC LIGHTING
C127 CONTROL DISPLAY UNIT PEDESTAL

Figura 6- 10 Modificação do número na passagem por conector






W194-002-22
SP 4715

A numeração dos condutores reunidos por “Splices” deve ser seqüencial sempre que possível.

Exemplo:

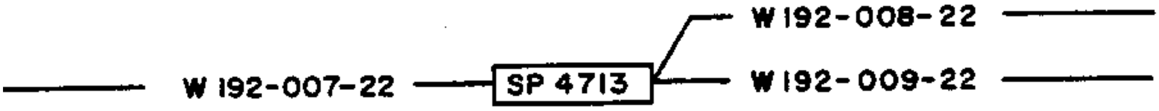

W192-007-22
SP 4713
W192-008-22
W192-009-22

Figura 6-11 Modificação após “*splices*”

(d) Este número indica a bitola do referido condutor. Para cabo coaxial e condutores termopar, este número pode ser omitido de sua identificação.

(e) Para condutores termopar, o seguinte código de letras é usado.

Cromel	CR
Alumel	AL
Ferro	FE
Constantan	CN
Cobre	CU

Exemplo:

W 102 – 645 – CR

Código de Cores

Os condutores pertencentes a um mesmo cabo, codificados por meio de cores através de listras, faixa ou inteiramente colorido, devem ser designados com o mesmo número identificador. A cor de cada condutor deve ser indicada pelo uso de duas letras, logo após o número de sua bitola, de acordo com a tabela a seguir:

COR	LETRAS	COR	LETRAS
Preta	BK	Verde	GN
Marron	BR	Azul	BL
Vermelha	RD	Violeta	VT
Laranja	OR	Cinza	GY
Amarela	YE	Branca	WH
		Rosa	PK

Figura 6-12 Código de cores

Para condutores de alumínio, o sufixo ALUM deve ser adicionado ao seu código de identificação.

Se o código de identificação exceder a 15 dígitos, o sufixo ALUM deve ser substituído por AM.

ISOLAMENTO DO CONDUTOR

As duas propriedades fundamentais dos materiais isolantes (borracha, vidro, amianto ou plástico, etc.) são: a resistência do isolamento e; a força dielétrica. Essas são propriedades inteiramente diferentes e distintas.

A resistência do isolamento é a resistência da passagem da corrente, através e ao longo da superfície dos materiais isolantes.

A resistência do isolamento pode ser medida com um medidor (MEGGER) sem danificar o isolamento, de modo que a informação obtida sirva como guia para determinar as condições gerais. Entretanto, a informação, obtida desta maneira, não será um retrato fiel da condição do isolamento. Isolamento limpo e seco contendo fendas ou defeitos pode mostrar um alto valor de resistência de isolamento, mas não é adequado para uso.

A força dielétrica é a propriedade que o isolante possui de suportar a diferença de potencial e, é, geralmente, expressa em termos de voltagem, na qual o isolamento não funciona devido à tensão eletrostática. A força dielétrica máxima pode ser medida, aumentando-se a voltagem de uma amostra de teste até que o isolamento seja rompido.

Devido ao custo do isolamento e seu efeito de endurecimento junto a grande variedade de condições físicas e elétricas, sob as quais os condutores são operados, somente o isolamento mínimo necessário é aplicado para qualquer tipo específico é aplicado par qualquer tipo específico de cabo destinado a desempenhar uma determinada tarefa.

O tipo de material de isolamento do condutor varia com o tipo de instalação. Tais tipos de isolantes como a borracha, seda e papel não são mais usados nos sistemas do avião. Os mais comuns hoje em dia são: o vinil, o algodão, o náilon, o teflon e o amianto mineral.

INSTALAÇÃO DE FIAÇÃO ELÉTRICA

Os seguintes procedimentos recomen-dados para a instalação da fiação elétrica nos aviões são típicos daqueles usados na maioria. Para melhor finalidade desta descrição, as seguintes definições são aplicáveis:

1) Fiação descoberta – qualquer fio, grupo de fios ou chicote não envolvido por conduíte.
2) Grupo de fios – dois ou mais fios indo para o mesmo local amarrados juntos para reter a identitificação do gurpo.
3) Chicote ou cablagem – dois ou mais grupos de fios amarrados juntos, porque eles estão indo na mesma direção para um ponto onde a amarração está localizada.
4) Fiação protegida eletricamente – fios que incluem (no circuito) proteção contra sobrecarga tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos de limitação.
5) Fiação sem proteção elétrica – fios (geralmente dos geradores até os pontos de distribuição da barra principal) que não possuem proteção tais como fusíveis, disjuntores ou outros dispositivos limitadores de corrente.

Grupos de fios e chicotes (cablagens)

Deve-se evitar a formação de chicote ou grupos com certos fios, tais como fiação de força elétrica e fiação para duplicação de equipamento vital quando eletricamente desprotegidas.

Os chicotes geralmente devem ser consituídos em menos de 75 fios, ou ter de 1 ½ a 2 polegadas de diâmetro, onde possível. Quando diversos fios estiverem agrupados em caixas de junção, barras de terminais, painéis, etc, a identidade do grupo de fios no chicote (figura 6-13) pode ser mantida.

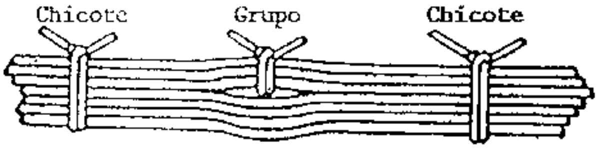


Figura 6-13 Amarrações de grupo de fios e chicotes

Amarração da Cablagem (chicote)

Os fios e cabos são enfeixados coma finalidade de facilitar a instalação, a manutenção e a inspeção.

Deve-se usar nas amarrações um barbante chato (sempre que possível). Barbante circular também poderá ser usado, porém seu uso não é o preferido pois sua tendência é cortar o isolante do fio. Pode-se usar barbante de algodão, linho, nylon ou fibra de vidro, de acordo com as limitações de temperatura.

O barbante deverá ser pré-tratado para protegê-lo da umidade e do ataque de fungos.

Em feixes que contenham cabos coaxiais utilizar somente barbante de nylon.

A braçadeira plástica (tirap) deverá ser usada em temperatura abaixo de 350ºF (aproximadamente 176ºC).

Cuidados na Amarração

- Amarrar o feixe suficientemente apertado para não permitir escorregamento, porém ficar atento para não deformar ou cortar o isolante.

- Cuidados especiais devem ser tomados quando se amarram cabos coaxiais devido ao fato deles possuirem um isolante (macio) entre os condutores.

- Nunca usar nós em cablagens protegidas por conduítes.

- possuam conectores evitar amarrações próximas a eles a fim de impedir a divergência de contatos.

- Em cablagens de espessura maior do que 1 polegada (2,54cm) usar bastante duplo.

- Quando a amarração for feita em painéis, observe os seguintes cuidados:

Em cablagens que

A - antenha os fios em paralelos;

B - Quando o feixe for muito comprido, amarre-os a cada 5 cm (aproximadamente);

C - Cada fio ao ser incorporado à cablagem deverá ser mantido na externa do feixe;

D -Amarrar o feixe toda vez que sair um fio.

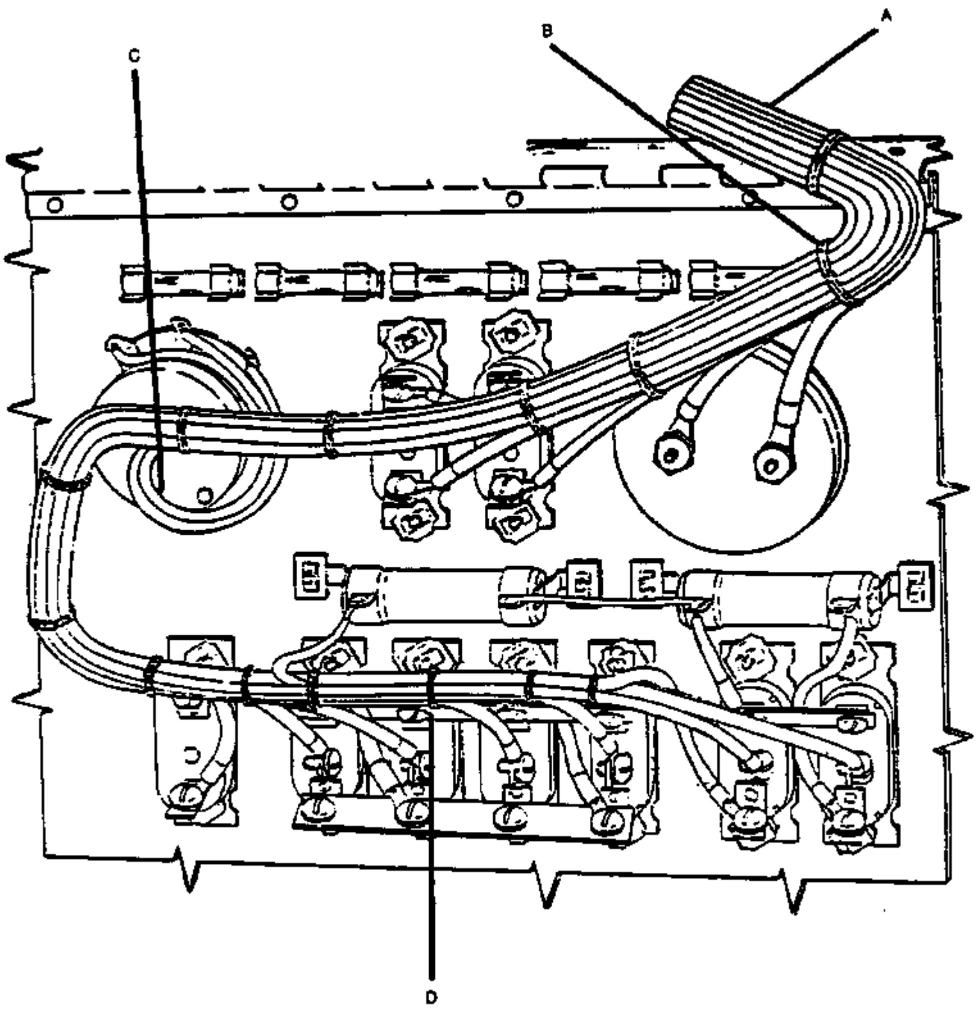


Figura 6-14Cuidados na amarração em painéis

Amarração com nó simples

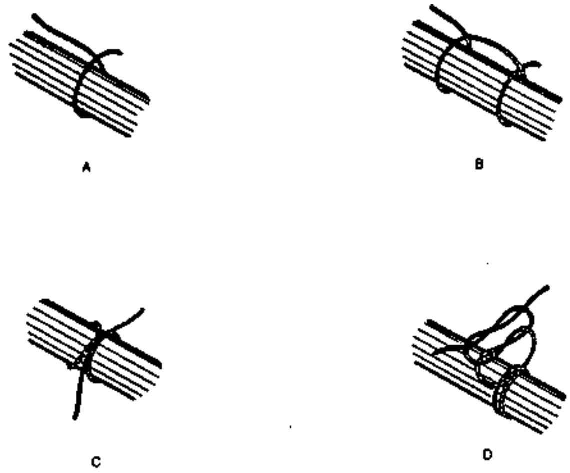


Figura 6-15 Amarração com nó simples

1) Siga os passos descritos abaixo:

   A. Com barbante apropriado, dê uma volta ao redor do feixe;
   B. Forme um volta dupla;
   C. Puxe as extremidades livres do barbante até que a volta dupla seja apertada contra os fios;
   D. Dê dois “nós cegos” para encerrar.

2) Corte os extremos do barbante deixando 3/8” (aproximadamente 1cm) no mínimo.

Observações:

a) O espaçamento entre cada nó, neste tipo de armarração, é de aproximadamente 5cm.

b) Este nó só deverá ser aplicado em feixes com diâmetro menor do que 1.

Amarração com nó de laçada

O nó de laçada é feito da seguinte maneira:

A. Dobrar um barbante de aproximadamente 30 centímetros e formar uma volta dupla de extremidade presa;

B. Colocar a extremidade livre do barbante em volta da cablagem de fios e através da volta dupla;

C. Depois de certificar-se que todos os fios e cabos dentro da cablagem estão em paralelo, puxe as extremidades livres do barbante até que a volta dupla seja apertada contra os fios;

D. Apertar bem o nó de laçada contra a cablagem separando as duas pontas livres e puxando-as em direções opostas;

E. Dar um nó cego e apertar o nó de laçada;

F. Cortar o excesso de barbante a 1cm do nó.

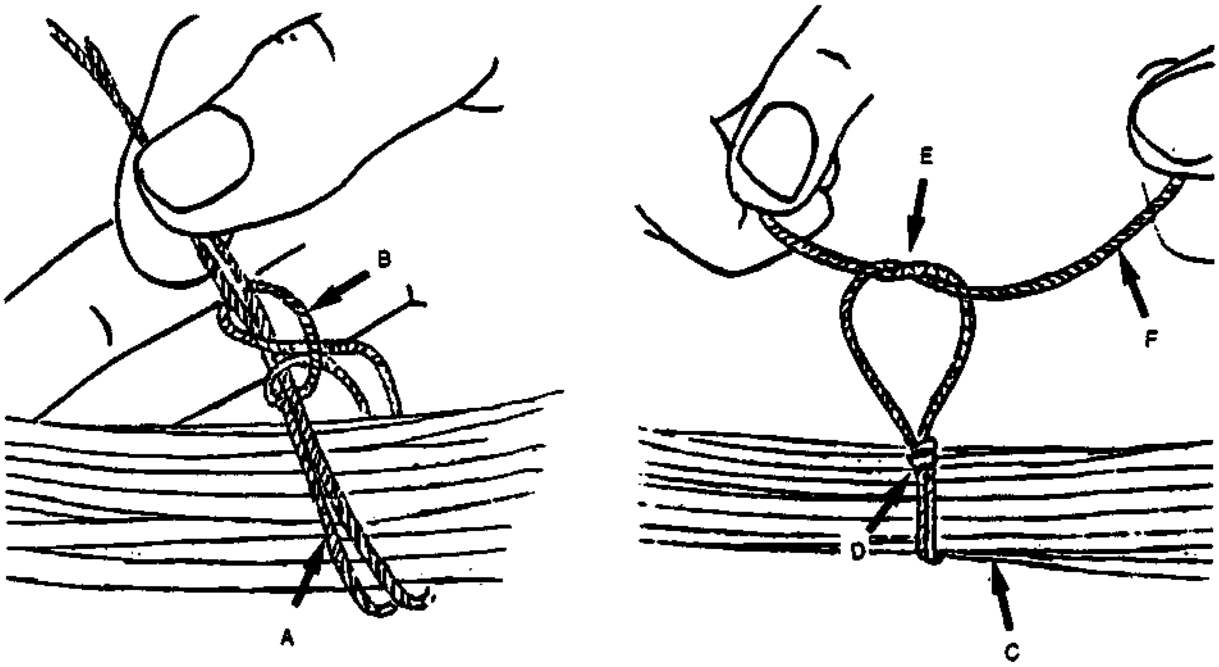


Figura 6-16 Amarração com nó de laçada

Se em algum caso, não for aconselhável o uso somente de nó simples ou do nó de laçada, pode-se iniciar a amarração com estes nós e continuar usando meios laços para, finalmente, terminar com um nó simples ou duplo.

1) Amarração contínua iniciada com nó simples (ver a figura 6-17 a, b, c, d)

   a) Iniciar com nó simples (sem o nó cego). Cortar a ponta deixando no mínimo 1 cm.

   b) Apertar o nó no começo. Fazer o meio laço sendo que o barbante deve cruzar sempre por baixo da alça.

   c) Encerrar a amarração com o mesmo nó simples.

   d) Ao final da amarração deve ser dado um reforço, como mostrado na figura 6-17 d.

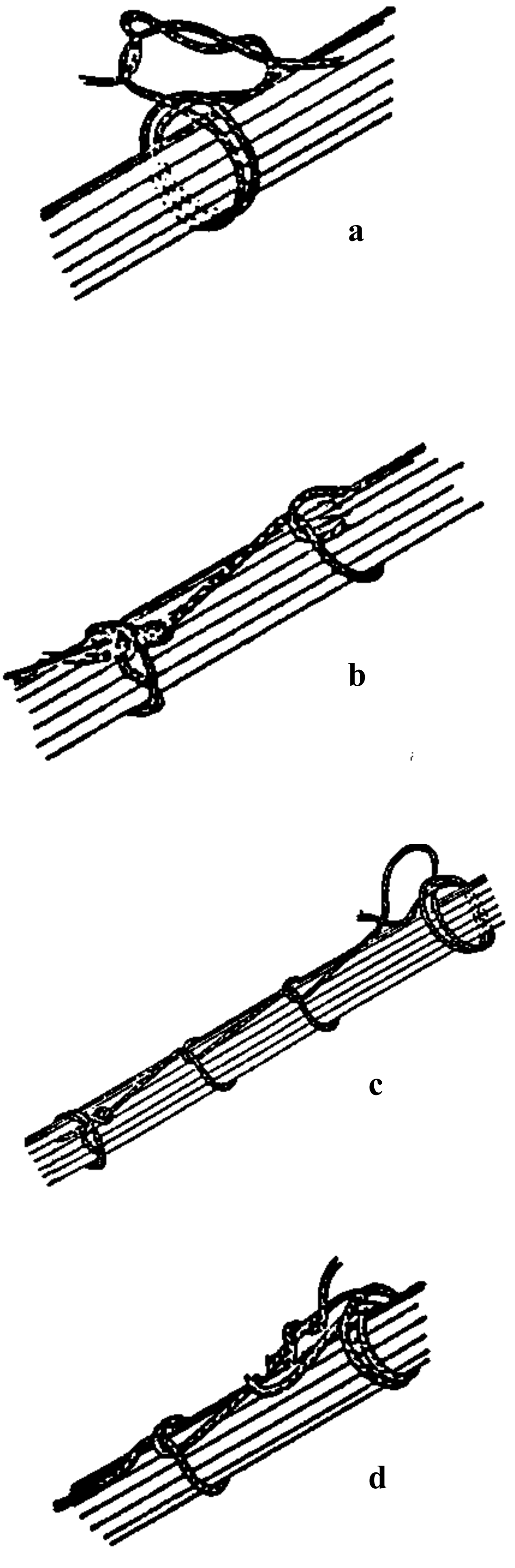


Figura 6-17 Amarração contínua iniciada com nó simples

2) Amarração contínua iniciada com nó de laçada
   a) Iniciar com nó de laçada (sem o nó cego).
   b) Fazer o meio laço
   c) Encerrar a armação com cruzamento dos barbantes e nó cego.

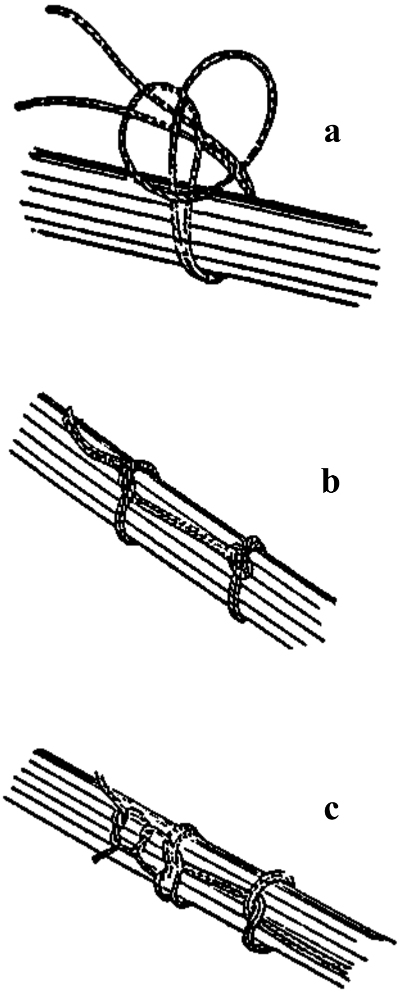


Figura 6-18 Amarração contínua iniciada com nó de laçada

Fios Trançados

Quando especificados em desenhos de engenharia ou quando realizados como uma prática local, os fios paralelos devem, às vezes, ser trançados.

Os exemplos que se seguem são os mais comuns:

1) Fiação nas vizinhanças de bússola magnética ou da válvula de fluxo.

2) Fiação de distribuição trifásica.

3) Certos fios (geralmente na fiação para o sistema rádio) como especificado nos desenhos de engenharia.

Trança-se os fios de modo que eles se acomodem entre si, formando aproximadamente o número de voltas por pés como mostra a figura 6-19.

Verifica-se sempre se o isolamento dos fios ficou danificado depois de trançados. Se o isolamento estiver rompido ou com desgaste, o fio é substituído.

	BITOLA DO FIO									
	# 22	# 20	# 18	# 16	# 14	# 12	# 10	# 8	# 6	# 4
2 Fios	10	10	9	8	$7^{1/2}$	7	$6^{1/2}$	6	5	4
3 Fios	10	10	$8^{1/2}$	7	$6^{1/2}$	6	$5^{1/2}$	5	4	3

Figura 6-19 Número de torcidas recomendadas por pé

Emendas nos chicotes (cablagens)

As emendas em grupos de fios devem ser localizadas de modo que elas possam ser inspecionadas facilmente.

As emendas devem ser afastadas uma das outras (figura 6-20), de modo que o chicote não se torne excessivamente grosso. Todas as emendas não isoladas devem ser revestidas com plástico e presas firmemente nas duas extremidades.

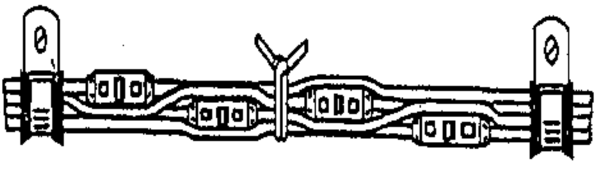


Figura 6-20 Emendas afastadas em um chicote

Frouxidão nos chicotes (cablagens)

Os fios singelos ou chicotes não devem ser instalados com frouxidão excessiva. A frouxidão entre os suportes não deve, normalmente, exceder um deflexão máxima de 1/2 polegada com pressão manual (figura 6-21). Entretanto, ela pode ser excedida se o chicote for fino e as braçadeiras estiverem muito separadas.

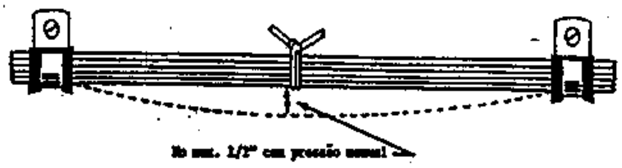


Figura 6-21 Frouxidão no chicote, entre os suportes

Para que o chicote possa roçar contra qualquer superfície, a frouxidão não precisa ser muito grande. Uma quantidade suficiente de frouxidão deve ser permitida próximo a cada extremidade de um chicote para;

1) Permitir fácil manutenção.
2) Permitir a substituição dos terminais.
3) Evitar a fadiga mecânica nos fios, junções dos fios e suportes.
4) Permitir livre movimento do equipamento montado contra choque e vibração.
5) Permitir a remoção do equipamento para fins de manutenção.

Raios de Curvatura

As curvaturas nos grupos de fios não devem ser inferiores a 10 vezes o diâmetro externo dos grupos.

Entretanto, nas barras de terminais, onde o fio está adequadamente suportado em cada extremidade da curvatura, o diâmetro externo do grupo de fios ou do chicote, igual a 3 vezes o diâmetro externo é normalmente aceitável.

Existem, é claro, exceções a essas orientações. É o caso de certos tipos de cabo, como por exemplo, o cabo coaxial, que nunca pode ser curvado num raio inferior a 10 vezes o diâmetro externo.

ENCAMINHAMENTO DA FIAÇÃO ELÉTRICA

Toda fiação deve ser instalada de modo que ela seja firme e de boa aparência. Sempre que possível, os fios e os chicotes devem correr paralelos ou em ângulos retos com as nervuras ou longarinas da área envolvida. Como exceção desta regra temos o cabo coaxial, que é orientado tão diretamente quanto possível.

A fiação deve ser fixada adequadamente em toda a sua extensão. Um número suficiente de suportes deve ser instalado para evitar vibração indevida dos trechos sem sustentações.Todos os fios e grupos de fios devem ser relacionados e instalados para protegê-los de:

1) Fricção ou roçamento
2) Alta temperatura
3) Ser usado como alças ou como suporte de pertences pessoais e equipamento
4) Danos pela movimentação de pessoal no interior do avião
5) Danos por armazenamento ou movimentação da carga
6) Danos por vapores, borrifos ou salpicos de ácido da bateria
7) Danos por solventes ou fluidos

Proteção contra Fricção

Os fios e os grupos de fios devem ser protegidos contra fricção ou roçamento nos locais onde o contato com superfícies pontiagudas, ou outros fios, danificariam o isolamento.

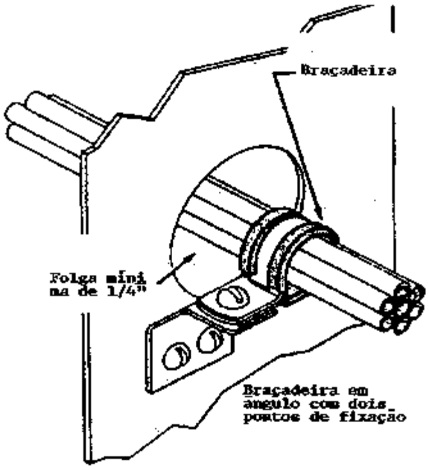


Figura 6-22 Braçadeira de cabo no orifício do anteparo

Os danos ao isolamento podem provocar curto-circuito, mau funcionamento ou operação indevida do equipamento.

As braçadeiras de cabo devem ser usadas para sustentar os chicotes em cada orifício através de um anteparo (figura 6-22). Se os dios se aproximarem mais de ¼ de polegada da borda do orifício, usa-se um gromete adequado como mostra a figura 6-23.

Às vezes é necessário cortar o gromete de náilon, ou borracha, para facilitar a instalação. Nestas circunstâncias, depois de colocado, o gromete pode ser mantido no lugar com cola de uso geral. O corte deverá ser na parte superior do orifício, e feito num ângulo de 45º com o eixo do orifício do chicote.

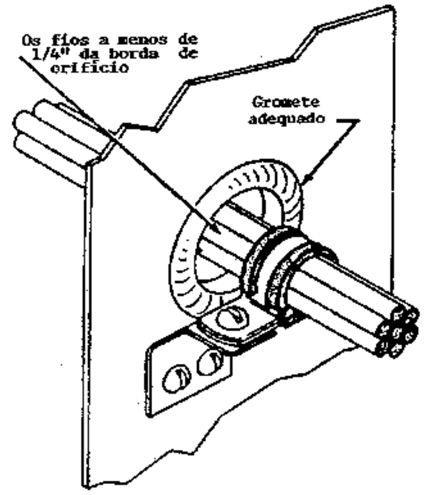


Figura 6-23 Braçadeira de cabo com gromete ilhós

Proteção contra alta temperatura

Para evitar deteriorização do isolamento, os fios devem ser mantidos afastados de equipamentos de alta temperatura, tais como resistores, tubos de descarga ou dutos de aquecimento. A distância de separação é normalmente especificada pelos desenhos de engenharia. Alguns fios devem invariavelmente passar através de áreas quentes. Esses fios devem ser isolados com material de alta temperatura tal como amianto, fibra de vidro ou teflon. Uma proteção adicional é, também, freqüentemente necessária sob a forma de conduítes. Um fio com isolamento de baixa temperatura não deve nunca ser usado para substituir um fio com isolamento de alta temperatura.

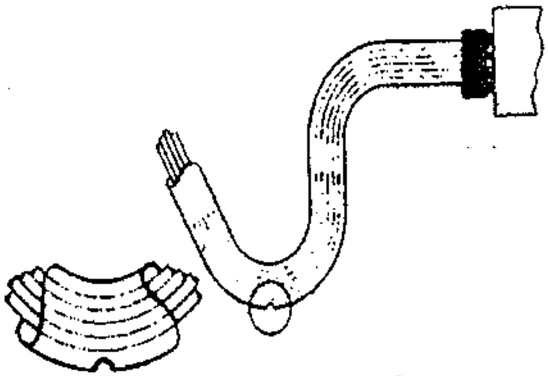
Muitos cabos coaxiais possuem isolamento de plástico mole tal como polietileno, o qual está especialmente sujeito a deformações e deteriorização a temperaturas elevadas. Todas as áreas de temperatura elevada devem ser evitadas ao se instalar esses cabos isolados com plástico ou polietileno.

Uma proteção adicional contra fricção deve ser fornecida aos fios de amianto incluídos no conduíte. Pode ser usado um conduíte com revestimento de borracha de alta temperatura ou os fios de amianto podem ser envolvidos, individualmente, em tubos plásticos de alta temperatura, antes de serem instalados no conduíte.

Proteção contra solventes e fluidos

Os fios não devem ser instalados em áreas onde fiquem sujeitos a estragos por fluidos, a menos de 4 polegadas da parte mais baixa da fuselagem do avião, com exceção daqueles que devem atingir aquela área.

Se houver possibilidade do fio ser molhado com fluidos, deverá ser usada uma tubulação plástica para protegê-lo. Essa tubulação deve estender-se através da área em ambos os sentidos, e deve ser amarrada em cada extremidade.



Furo de drenagem de 1/8" de diâmetro na parte mais baixa do tubo. Fazer o furo após completar a instalaçao tendo a parte mais baixa já estabelecida.

Figura 6-24 Orifício de dreno no ponto mais baixo da tubulação

Se o fio possuir um ponto baixo entre as extremidades da tubulação, é feito um orifício de dreno de 1/8 de polegada, como mostra a figura 6-24. Esse orifício deve ser perfurado na tubulação após completar a instalação e o ponto baixo, definitivamente estabelecido, pelo uso do perfurador para cortar um meio círculo.

Toma-se o cuidado para não danificar qualquer um dos fios no interior da tubulação quando se usar o perfurador.

O fio nunca deve passar por baixo da bateria do avião. Todos os fios na proximidades da bateria devem ser inspecionados freqüentemente, e os fios descoloridos pelos gases prejudiciais da bateria devem ser substituídos.

Proteção dos fios na área do alojamento das rodas

Os fios localizados nos alojamentos das rodas estão sujeitos a diversos problemas adicionais em serviço, tais como: exposição a fluidos, apertos e acentuada flexibilidade.

Todos os chicotes devem ser protegidos por luvas de tubulação flexível, presas firmemente em cada extremidade; e não deve existir nenhum movimento relativo nos pontos onde a tubulação flexível estiver segura. Esses fios e a tubulação isolante devem ser inspecionados cuidadosamente a intervalos freqüentes, e tanto os fios com a tubulação devem ser substituídos ao primeiro sinal de desgate.

Não deve haver nenhum esforço nas fixações quando as partes estiverem completamente estendidas, mas a frouxidão não deverá ser excessiva.

Precauções na instalação

Quando a fiação tiver que ser instalada paralelamente a linhas de fluidos, combustíveis ou de oxigênio em curtas distâncias, a separação fixa deverá ser mantida tanto quanto possível. Os fios devem estar nivelados com ou acima das tubulações.As braçadeiras devem ser espaçadas, de modo que, se um fio for quebrado em uma braçadeira ele não entrará em contato com a linha.

Onde não for possível uma separação de 6 polegadas, o chicote e a tubulação podem ser fixados na mesma estrutura para impedir qualquer movimento relativo. Se a separação dor menor do que 2 polegadas, porém maior do que ½ polegada, uma luva de polietileno pode ser usada sobre o chicote para proporcionar maior proteção. Além disso, duas braçadeiras de cabo, costas com costas, como mostrado na figura 6-25, podem ser usadas somente para manter uma separação rígida, e não para suportar o chicote.

Nenhum fio pode ser direcionado de modo que fique localizado mais próximo do que ½ polegada de uma tubulação. Nem mesmo um fio ou um chicote pode ser sustentado por tubulação que conduza fluidos inflamáveis ou oxigênio.

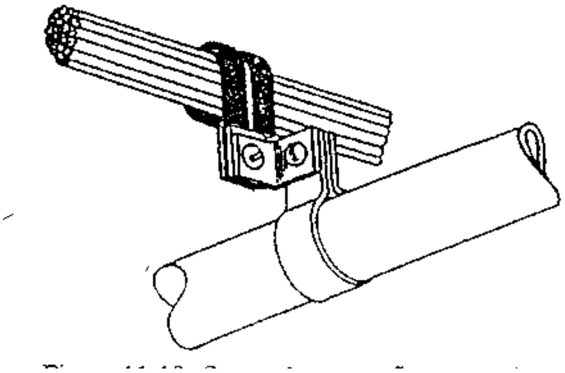


Figura 6-25 Separação entre a fiação e a tubulação

A fiação deve ser instalada para manter uma folga mínima de pelo menos 3 polegadas dos cabos de controle. Se isso não puder ser observado, guardas mecânicas deverão ser instaladas para evitar o contato entre a fiação e os cabos de controle.

Instalação das braçadeiras de cabos

As braçadeiras de cabos devem ser instaladas considerando-se o ângulo adequado, como mostrado na figura 6-26. O parafuso de montagem deve estar acima do chicote.

É também conveniente que a parte traseira da braçadeira de cabo se apóie contra um membro estrutural, onde e quando for prático.

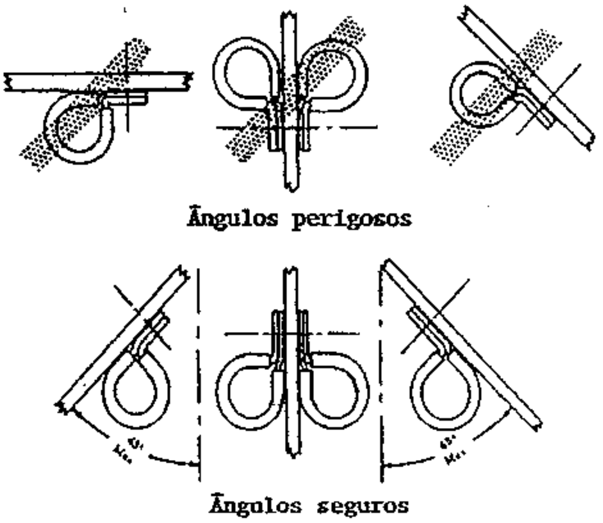

Ângulos perigosos
Ângulos seguros

Fig 6-26 Ângulos de montagem adequados para braçadeiras de cabo

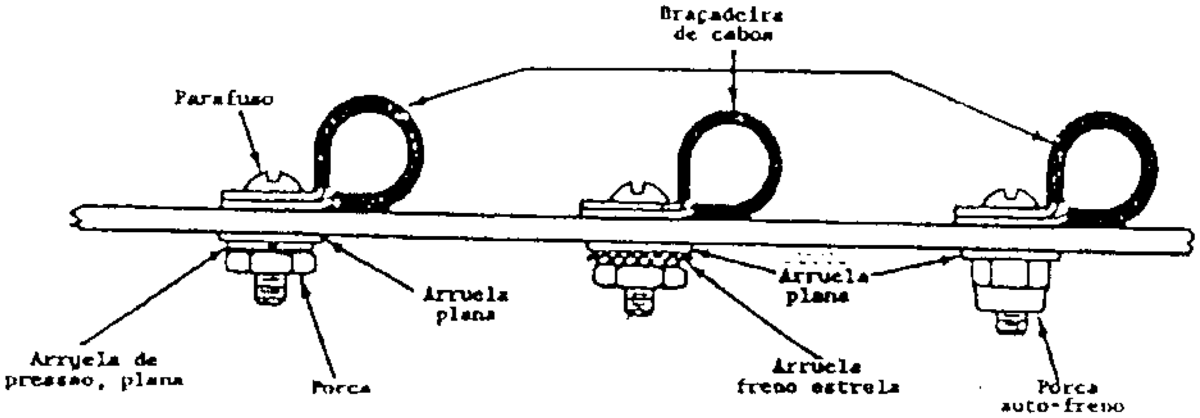

Braçadeira de cabos
Parafuso
Arruela plana
Arruela plana
Arruela de pressao, plana
Porca
Arruela freno estrela
Porca auto-freno

Fig 6-27 Ferragens típicas de montagem para braçadeiras de cabo

A figura 6-27 mostra algumas ferragens típicas de montagens usadas na instalação das braçadeiras de cabo.

Deve-se ter atenção para que os fios não fiquem comprimidos nas braçadeiras de cabo. Onde possível, instala-se os cabos diretamente nos membros estruturais, como mostrado na figura 6-28

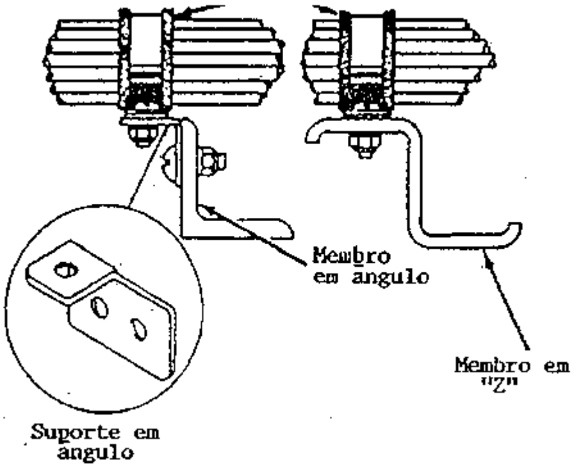


Figura 6-28 Montagem da braçadeira de cabo na estrutura

CONECTORES

Os conectores (PLUGS e receptáculos) facilitam a manutenção quando for necessária uma desconexão freqüente. Visto que o cabo está soldado aos pinos inseridos no conector, as ligações devem ser instaladas individualmente, e o chicote firmemente suportado para evitar danos devido a vibração.

No passado, os conectores foram particularmente vulneráveis à corrosão devido a condensação dentro do invólucro.

Conectores especiais com características à prova de água têm sido desenvolvidos para que possam substituir PLUGS que não são à prova d'água nas áreas onde a umidade constitui um problema. Um conector do mesmo tipo básico e modelo deve ser usado quando substituir outro.

Os conectores suscetíveis à corrosão podem ser tratados com uma gelatina à prova d'água quimicamente inerte. Quando substituir os conjuntos de conector, o tampão do tipo soquete deve ser usado na metade que está "viva" ou "quente", depois da desconexão do conector, para evitar uma ligação à massa não intencional.

Tipos de conectores

Os conectores são identificados pelos números NA, e são divididos em classes com variações do fabricante para cada classe. As variações do fabricante são diferentes em aparência e em método, para se seguir uma especificação. Alguns conectores mais usados encontram-se na figura 6-29. Há 5 (cinco) classes básicas de conectores NA usados na maioria dos aviões. Cada classe de conector se diferencia ligeiramente da outra em sua característica de construção. As classes A, B, C e D são feitas de alumínio, e a classe K é feita de aço.

1 - CLASSE A – Conector sólido, de invólucro traseiro inteiriço com finalidade geral.

2 - CLASSE B – O invólucro traseiro do conector separa-se em duas partes longitudinalmente. Usado, principalmente, onde for importante que os conectores soldados sejam prontamente acessíveis. O revestimento traseiro é mantido junto por um anel roscado ou por parafusos.

3 - CLASSE C – Um conector pressurizado com pinos inseridos não removíveis. Semelhante ao conector classe A na aparência; mas a disposição do selante interno é, às vezes diferente. Ele é usado nas anteparos do equipamento pressurizado.

4 - CLASSE D – Conector resistente à vibração e à umidade, que possui um ilhós selante de borracha no invólucro traseiro. Os fios são passados através dos orifícios apertados de borracha selante no ilhós e, dessa forma selados contra a umidade.

5 - CLASSE K – Um conector à prova de fogo usado em áreas onde é vital que a corrente elétrica não seja interrompida, mesmo quando o conector estiver exposto a uma chama aberta contínua. Os fios são estampados aos pinos ou contatos do soquete, e os invólucros são feitos de aço. Essa classe de conector é geralmente maior do que as outras.

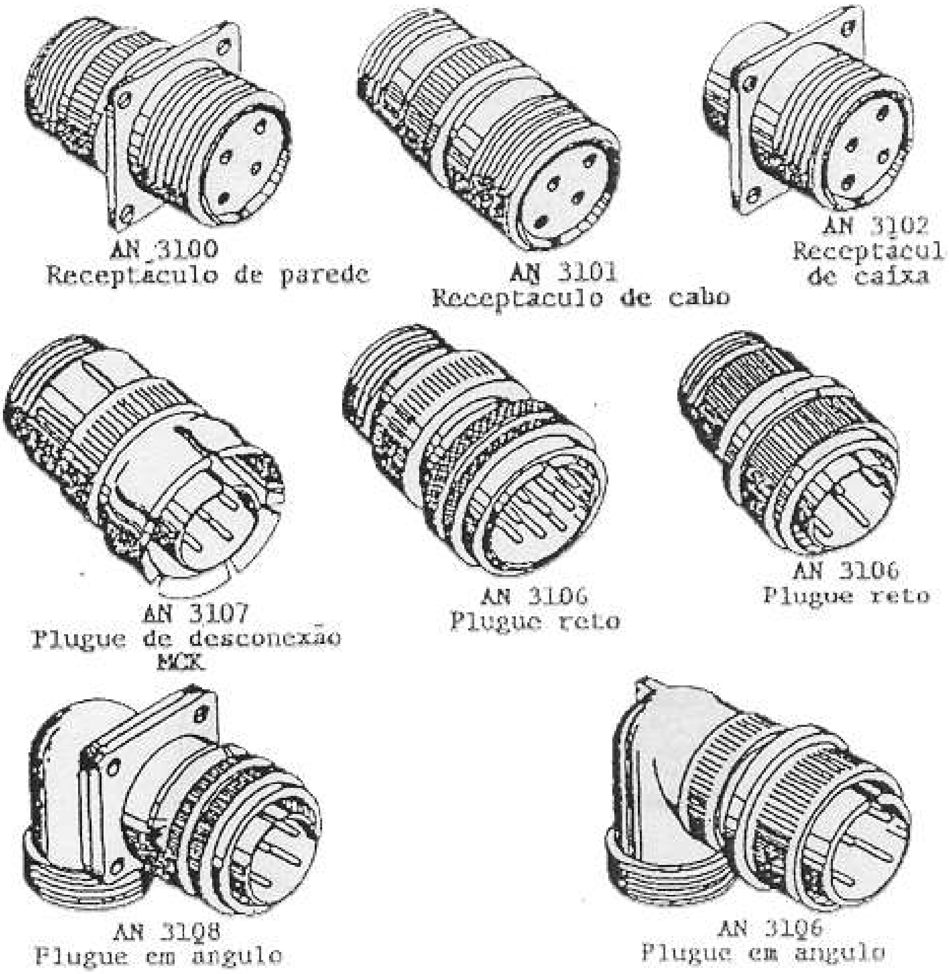

AN 3100
Receptaculo de parede
AN 3101
Receptaculo de cabo
AN 3102
Receptacul
de caixa
AN 3107
Plugue de desconexão
MCK
AN 3106
Plugue reto
AN 3106
Plugue reto
AN 3108
Plugue em angulo
AN 3106
Plugue em angulo

Figura 6 –29 Conectores AN

Identificação de conectores

As letras e os números do código são marcados no anel de acoplamento ou no invólucro para identificar o conector. O código (figura 6-30) proporciona toda informação necessária para se obter uma substituição correta da peça defeituosa ou avariada.

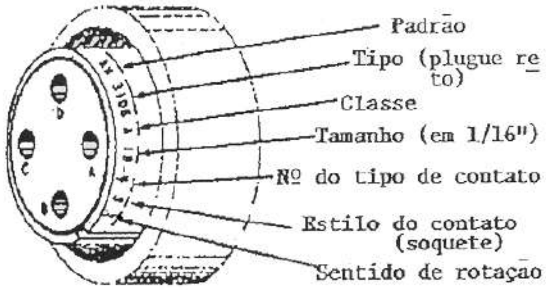

Padrão
Tipo (plugue reto)
Classe
Tamanho (em 1/16")
Nº do tipo de contato
Estilo do contato (soquete)
Sentido de rotação

Figura 6-30 Codificação do conector AN

Muitos conectores com finalidades especiais têm sido construídos para o uso em aeronaves.

Esses incluem conectores de invólucro subminiatura e retangulares, e conectores com invólucro de corpo pequeno ou de construção de invólucro bipartido.

Instalação de conectores

Os procedimentos seguintes descrevem um método recomendado de instalação dos conectores com os receptáculos:

1 - Localizar a posição adequada do PLUG em relação ao recptáculo, alinhando a chaveta de uma peça com a ranhura da outra peça.

2 - Colocar o PLUG no receptáculo com uma leve pressão para frente, e encaixar as roscas do anel de acoplamento e do receptáculo.

3 - Alternadamente, empurrar o PLUG para dentro, e apertar o anel de acoplamento até que o PLUG esteja completamente assentado.

4 - Se o espaço ao redor do conector for muito pequeno para segurar firmemente o conector, usar alicates de conectores para apertar os anéis de acoplamento 1/16 até 1/18 de volta além do aperto manual.

5 - Nunca usar força para unir os conectores aos receptáculos. Não usar martelo para introduzir um PLUG em seu receptáculo, e nunca usar uma chave de torque ou alicate para frenar os anéis de acoplamento. Um PLUG é geralmente desmontado de um receptáculo da seguinte maneira:

- Usar alicates de conectores para afrouxar os anéis de acomplamento que estejam apertados demais para serem afrouxados manualmente.
- Alternadamente, puxar o PLUG e desapertar o anel de acoplamento até que o PLUG esteja solto.
- Proteger os PLUGS e os receptáculos desconectados com tampões ou sacos plásticos, para evitar a entrada de materiais estranhos que possam acarretar falhas.
- Não usar força excessiva, e não puxar os fios instalados.

CONDUÍTES

O conduíte é usado nas instalações do avião para a proteção mecânica dos fios e dos chicotes. Ele é encontrado em materiais metálicos e não metálicos, nas formas rígida e flexível.

Quando é selecionado um diâmetro do conduíte para a aplicação em um chicote (é prática comum para facilitar a manutenção, no caso de uma possível expansão futura) especifica-se o diâmetro interno do conduíte em torno de 25% maior do que o diâmetro máximo do chicote.

O diâmetro nominal de um conduíte metálico rígido é o diâmetro externo. Portanto, para se obter o diâmetro interno, subtraimos duas vezes a espessura da parede do tubo.

Do ponto de vista da abrasão, o condutor é vulnerável nas extremidades do conduíte. Adaptações apropriadas são afixadas às extremidades do conduíte, de maneira que uma superfície lisa entre em contato com o condutor dentro do conduíte.

Quando as conexões não forem usadas, a extremidade do conduite deve ser flangeada para evitar estragos no isolamento do fio.

O conduíte é sustentado por braçadeiras ao longo de seu percurso.

Muitos dos problemas comuns de instalação de conduíte podem ser evitados, prestando-se atenção aos seguintes detalhes:

1 - Não instalar o conduíte onde ele possa ser usado como apoio das mãos ou dos pés.

2 - Instalar orifícios de dreno nos pontos mais baixos ao longo do conduíte. As rebarbas devem ser cuidadosamente retiradas dos orifícios de dreno.

3 - Apoiar o conduíte para evitar atrito na estrutura, e ainda evitar esforço nas adaptações em suas extremidades.

As parters danificadas do conduíte devem ser consertadas para evitar danos aos fios ou aos chicotes.

O raio de curvatura mínimo permitido para um conduíte rígido, deve ser o descrito nas instruções do fabricante. As curvaturas torcidas ou enrugadas num conduíte rígido não são aceitáveis.

O conduíte de alumínio flexível é encontrado comumente em dois tipos: (1) conduíte flexível desencapado; e (2) revestido com borracha.

O conduíte de latão flexível é normalmente usado no lugar do conduíte de alumínio flexível, onde for necessário para minimizar a interferência no rádio.

Conduítes para proteção de fogo

Em cada área sujeita a escapes de vapores de fluidos inflamáveis, há meios de minimizar a probabilidade de ignição desses vapores de fluidos e os danos resultantes, caso corra tal ignição.

Esta proteção é normalmente encontrada nos seguintes locais: asa, empenagem, nariz, compartimento hidráulico, nacele do trem de pouso, etc, onde todas as cablagens são protegidas por conduítes.

A proteção compreende conduítes e um conjunto de fixação que, ligados aos conduítes, formam um envelopes protetor selado, para as cablagens elétricas.

A proteção é composta de:

a) Conduítes – são basicamente, tubos de fluorocarbono, preparados para serem usados numa faixa de temperatura entre – 95ºF (-70ºC) a + 500ºF (+ 260ºC). São tubos quimicamente inertes que não são afetados por solventes ou qualquer espécie de óleo. Como esses fluidos não são absorvidos pelos conduítes, estes não sofrem aumento de peso ou volume.

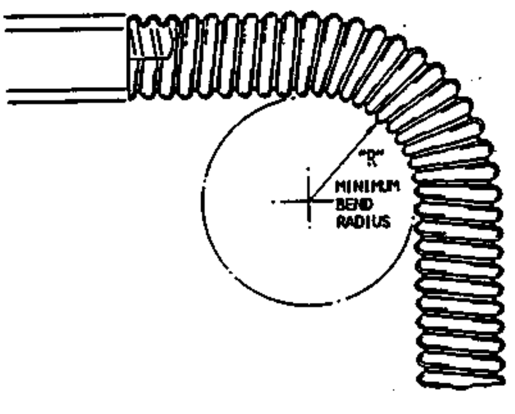
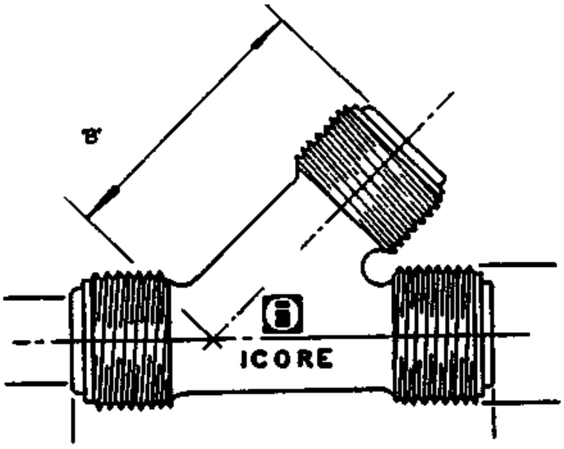
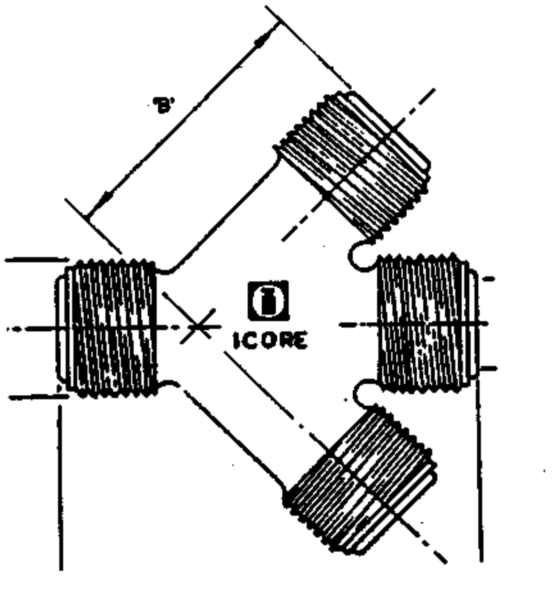


Figura 6-31 Conduite transparente

b) Transições ou derivações – todas as derivações encontradas no avião são feitas de níquel especial e recebem um tratamento de anodização. Há dois tipos básicos que são usados, veja a figura figura 6-32.



TRANSIÇÃO 45º
TIPO "Y"



TRANSIÇÃO 45º
TIPO DUPLO "Y"

Figura 6-32 Derivações tipo "Y" e duplo"Y"

c) Conjunto de adaptadores, O material usado nos adaptadores é níquel e cádmio, com um tratamento especial. Alguns tipos de adaptadores são apresentados na figura 6-33

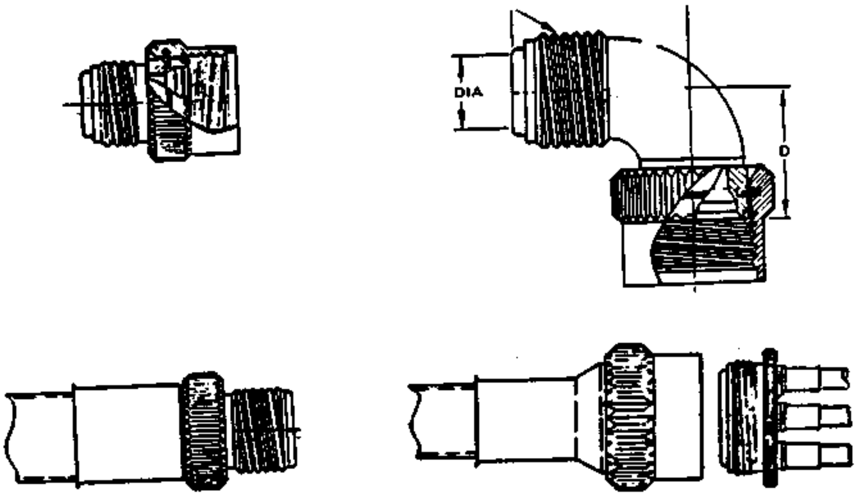


Figura 6-33 Diversos tipos de adaptadores

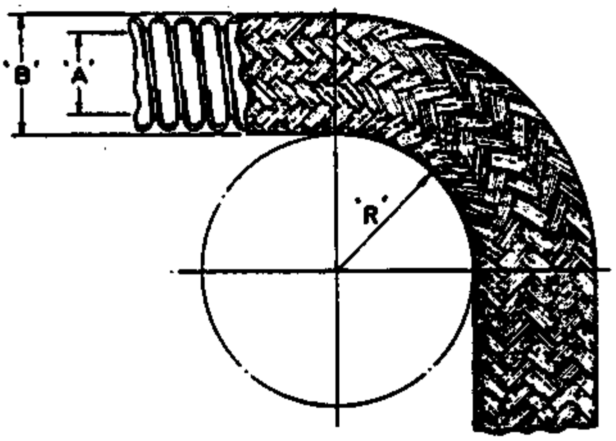


Figura 6-34 Jaqueta de fluorocarbono

Em zonas onde os conduítes podem ser danificados por pedras, como no compartimento do trem de pouso, eles são encapsulados, ou seja, recebem jaqueta especial, de fluorocarbono.

Em caso de um fio ser danificado, uma porca base pode ser facilmente desacoplada do respectivo condutor, possibilitando o acesso ao fio, pela parte posterior desse conector, a fim de que seja procedido seu reparo.

Para substituir um condutor, o extremo do conjunto, pode ser também desacoplado, de modo a permitir a execução do trabalho.

Desse modo, não é necessário o uso de ferramentas especiais e os reparos podem ser efetuados com a remoção da cablagem.

MANUTENÇÃO DE CABLAGENS

Ferramentas para manutenção elétrica

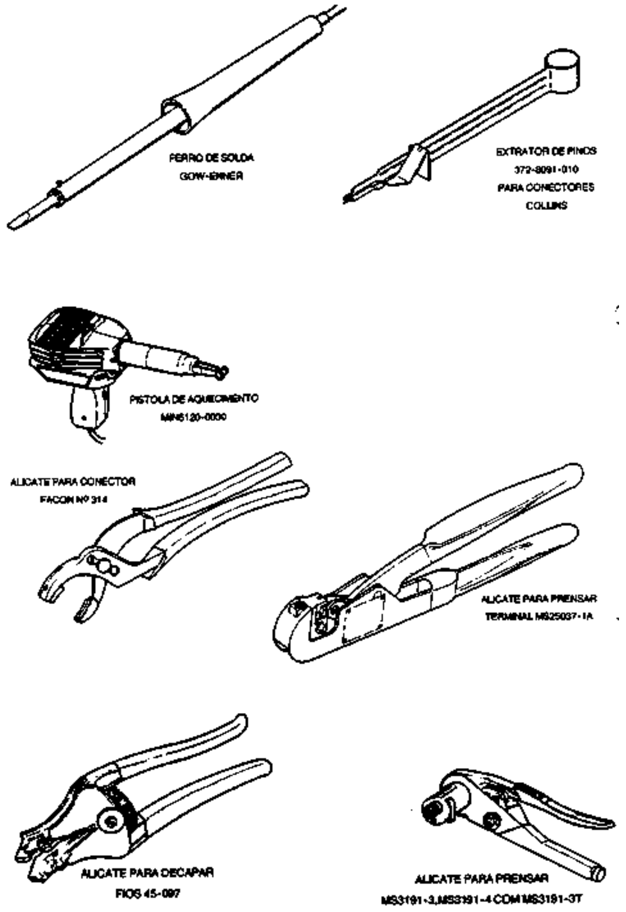

FERRO DE SOLDA
GOW-ENNER
EXTRATOR DE PINOS
372-8091-010
PARA CONECTORES
COLLINS
PISTOLA DE AQUECIMENTO
MN6120-0000
ALICATE PARA CONECTOR
FACON Nº 314
ALICATE PARA PRENSAR
TERMINAL MS25037-1A
ALICATE PARA DECAPAR
FIOS 45-097
ALICATE PARA PRENSAR
MS3191-3,MS3191-4 COM MS3191-3T

Figura 6-35 Diversas ferramentas para manutenção elétrica

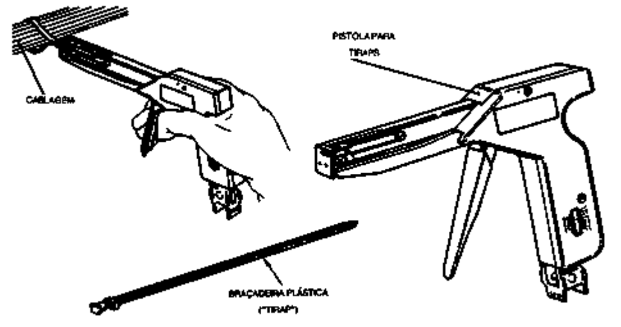

PISTOLA PARA
TIRAPS
CABLAGEM
BRAÇADEIRA PLÁSTICA
("TIRAP")

Figura 6-36 Ferramentas para instalação de braçadeiras em cablagens

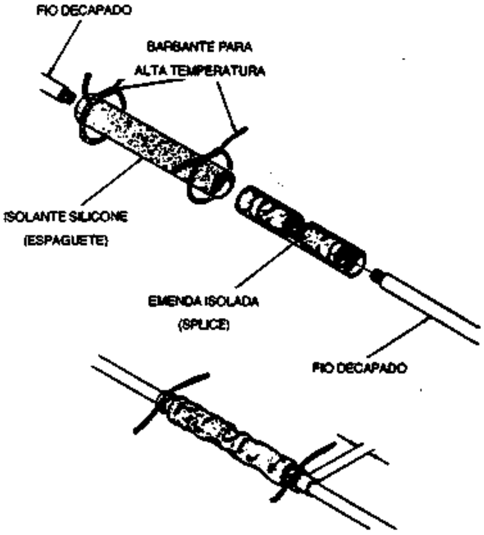

FIO DECAPADO
BARBANTE PARA
ALTA TEMPERATURA
ISOLANTE SILICONE
(ESPAGUETE)
EMENDA ISOLADA
(SPLICE)
FIO DECAPADO

Figura 6-37 Proteção de emendas com espaguete

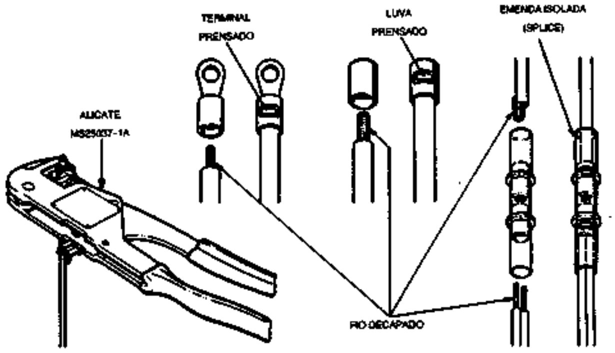

TERMINAL
PRENSADO
LUVA
PRENSADO
EMENDA ISOLADA
(SPLICE)
ALICATE
MS25037-1A
FIO DECAPADO

Figura 6-38 Ferramentas para instalação de terminais e emendas

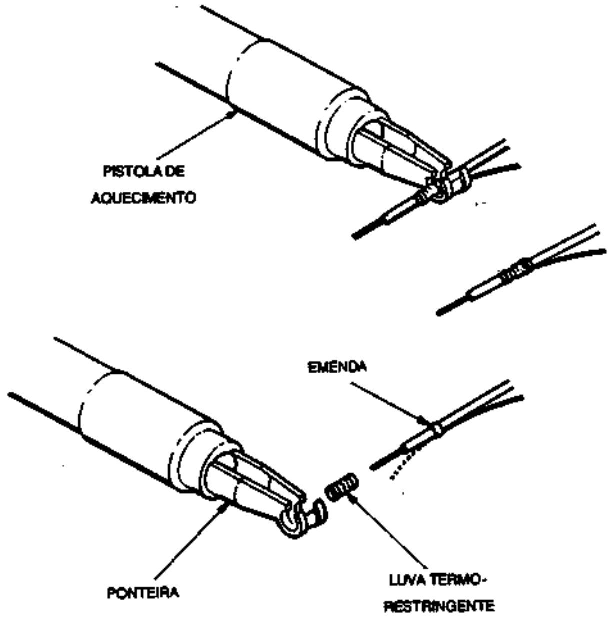

PISTOLA DE
AQUECIMENTO
EMENDA
PONTEIRA
LUVA TERMO-
RESTRINGENTE

Figura 6-39 Ferramentas para instalação de luvas termo-restringentes

ESTAMPAGEM DE TERMINAIS

Existem ferramentas portáteis manuais e elétricas, bem como máquinas elétricas de bancada para estampagem dos terminais.

Essas ferramentas prendem o cilindro do terminal ao condutor e, simultaneamente, prendem a garra isolante ao isolante do fio. Todas as ferramentas de estampagem manual possuem uma catraca autofrenate que evita a abertura de ferramenta até que a estampagem esteja ponta.

Algumas ferramentas de estampagem manual são equipadas com um jogo de diversas estampas para adaptar os tamanhos diferentes de terminais. Outras, são usadas com um tamanho único de terminal. Todos os tipos de ferramentas de estampagem manual são verificadas pelos calibradores para ajuste adequado nas mandíbulas de aperto.

A figura 6-40 mostra um terminal sendo introduzido numa ferramenta manual. Os itens abaixo descrevem o procedimento durante a estampagem:

1 - Desencapar o fio na extensão adequada;

2 - Introduzir o terminal, começando pela alça, nas mandíbulas de aperto da

ferramenta, até que a alça do terminal encoste no batente da ferramenta;

3 - Instalar o fio desencapado no cilindro do terminal até que o isolamento do fio encoste na extremidade do cilindro;

4 - Apertar os punhos da ferramenta até que a catraca seja liberada;

5 - Retirar o conjunto completo, e examiná-lo quanto à estampagem adequada.

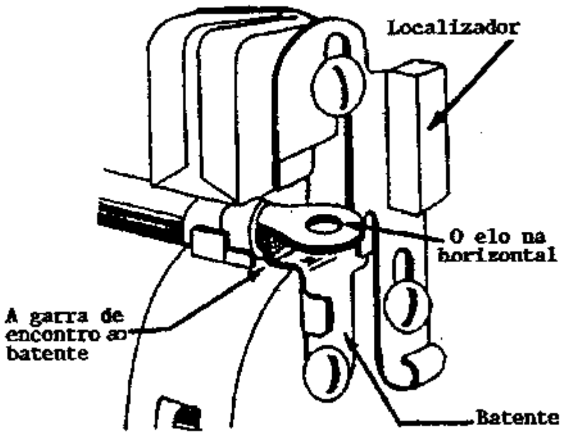

Localizador
O elo na horizontal
A garra de encontro ao batente
Batente

Figura 6-40 Colocação do terminal na ferramenta manual

Alguns tipos de terminais não-isolados são isolados após a instalação num fio, por meio de tubos flexíveis transparentes, denominados luvas. A luva proporciona proteção elétrica e mecânica à conexão.

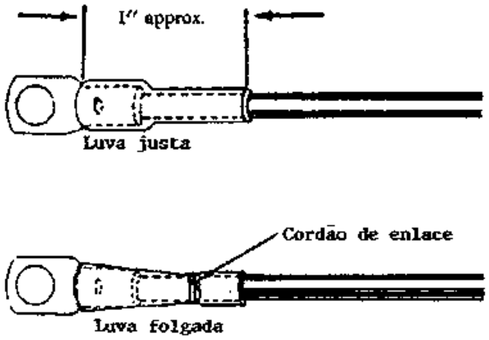

1" approx.
Luva justa
Cordão de enlace
Luva folgada

Figura 6-41 Luva isolante

Quando o tamanho da luva usada for de tal forma que ela se ajuste firmemente sobre o cilindro do terminal, a luva não precisa de aperto; caso contrário, ela deve ser laçada com um cordão de enlace, como ilustrado na figura 6-41.

Terminais de fio de alumínio

O uso do fio de alumínio no sistema de avião está aumentando devido a vantagem de seu peso sobre o cobre.

Entretanto, a dobradura freqüente do alumínio provocará fadiga do metal tornando-o qubradiço. Isso resulta em falha ou rompimento das pernas dos fios, mais cedo do que num caso semelhante com fio de cobre.

O alumínio também forma uma película de óxido altamente resistente assim que exposto ao ar. Para compensar essas desvantagens, é importante que sejam usados os mais seguros procedimentos de instalação.

Somente as alças de terminal de alumínio são usadas para acabamento dos fios de alumínio. Elas são geralmente encontradas em 3 (três) tipos: (1) Retos; (2) Ângulo Reto e (3) Bandeira. Todos os terminais de alumínio possuem um furo de inspeção (figura 6-36) que permite verificar a profundidade de inserção do fio.

O cilindro do terminal de alumínio contém um composto de pó de petrolato de zinco.

Esse composto retira a camada muito fina de óxido de alumínio através do processo de abrasão durante a operaç ao de estampagem.

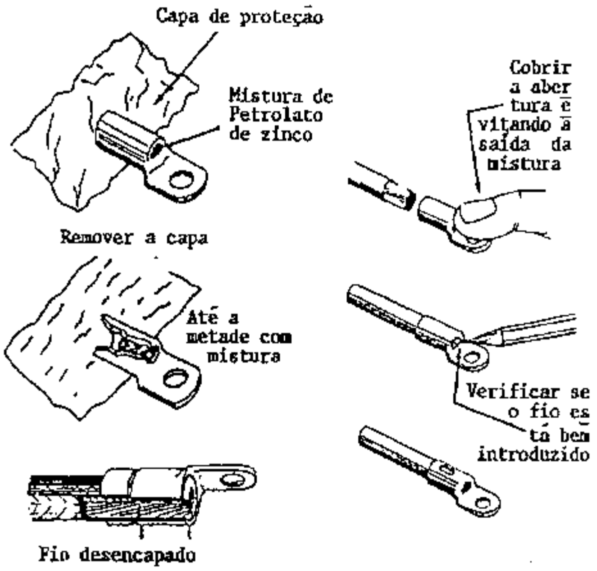

Capa de proteção
Mistura de Petrolato de zinco
Cobrir a abertura evitando a saída da mistura
Remover a capa
Até a metade com mistura
Verificar se o fio está bem introduzido
Fio desencapado

Figura 6-42 Introdução de fio de alumínio em terminal de alumínio

O composto também diminuirá mais tarde a oxidação da conexão, pela eliminação da umidade do ar. O composto é retido na parte interna do cilindro do temrinal por um plástico ou um selante de alumínio na sua extremidade.

Emenda de fios de cobre usando emendas pré-isoladas

As emendas de cobre permanente pré-isoladas unem fios pequenos de bitola 22 até 10. Cada tamanho de emenda pode ser usada para mais de uma bitola de fio. As emendas são isoladas com plástico branco, elas também são usadas para reduzir as bitolas dos fios (figura 6-43).

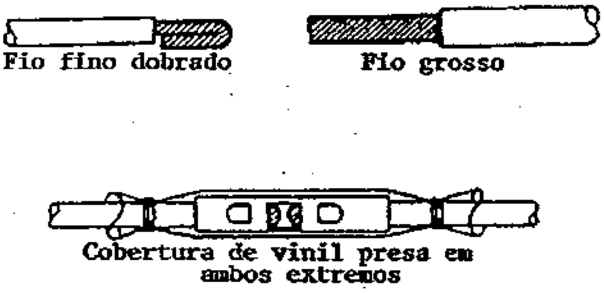


Fig 6-43 Redução da bitola do fio com uma emenda permanente

As ferramentas de estampagem são usadas para realizar esse tipo de emenda. Os procedimentos de estampagem são semelhantes aos usados para os terminais, excetuando-se que o aperto deve ser feito duas vezes, uma para cada extremidade da emenda.

EMENDAS DE EMERGÊNCIA

Os fios quebrados podem ser consertados através de emendas de estampagem, usando-se um terminal do qual a alça foi cortada, ou soldando-se juntas as pernas quebradas, e aplicando-se o composto condutor anti-oxidante. Esses consertos são aplicáveis ao fio de cobre.

O fio de alumínio danificado não deve ser emendado temporariamente. Esses consertos são para uso somente de emergência temporária e devem ser substituídos, logo que seja possível, por consertos permanentes.

Conexão de terminais a blocos terminais

Os terminais devem ser instalados sobre os blocos terminais de modo que eles sejam presos contra o movimento no sentido de afrouxamento (figura 6-44).

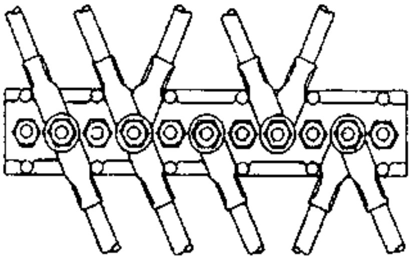


Figura 6-44 Conexão de terminais a blocos de terminais

Os blocos terminais são geralmente equipados com estojos retidos por uma arruela lisa, uma arruela-freno e uma porca.

Ao se conectar os terminais, a prática recomendada é colocar a alça dos terminais de cobre diretamente sobre a porca, seguida por uma arruela lisa e uma porca autofreante, ou uma arruela lisa, arruela-freno de aço e uma porca comum. Os terminais de alumínio devem ser instalados sobre arruelas lisas com banho de latão, seguida por outra arruela igual, uma arruela-freno de aço e uma porca comum ou autofrenante.

PRENSAGEM DE PINOS DE CONTATO

Procedimentos de prensagem de pinos de contato com o alicate de prensar.

1. Com o alicate pré-ajustado para o tipo de contato a ser prensado, introduz-se o tipo de contato pelo lado mostrado na figura 6-45-1. A extremidade deste pino deve facear com o alicate.
2. Introduz-se o fio decapado na extremidade do contato inserido no alicate e fecham-se as hastes da ferramenta até o seu limite; feito isso o pino estará prensado. As hastes do alicate somente se abrem quando o ciclo de prensagem for completo. Remover o contato prensado do alicate conforme mostrado na figura 6-45(2)
3. Um condutor corretamente prensado deve permitir a sua ispenção, conforme demonstrado na figura 6-45(3).

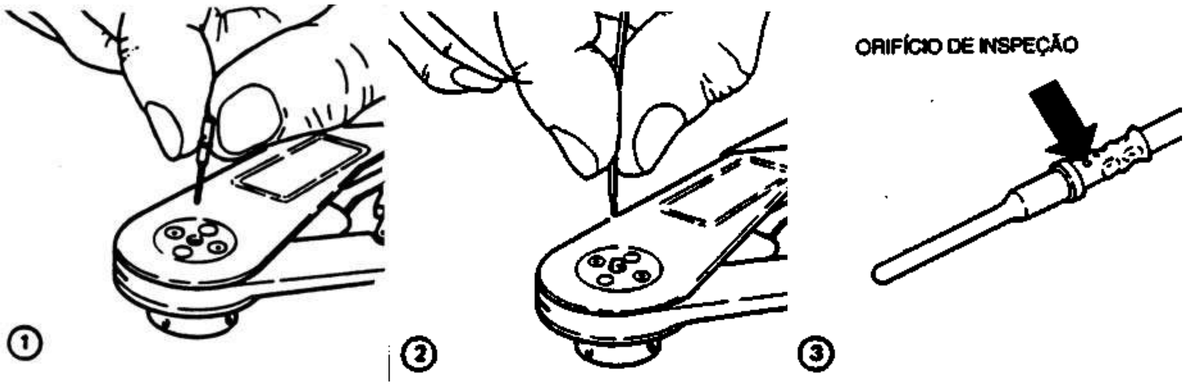
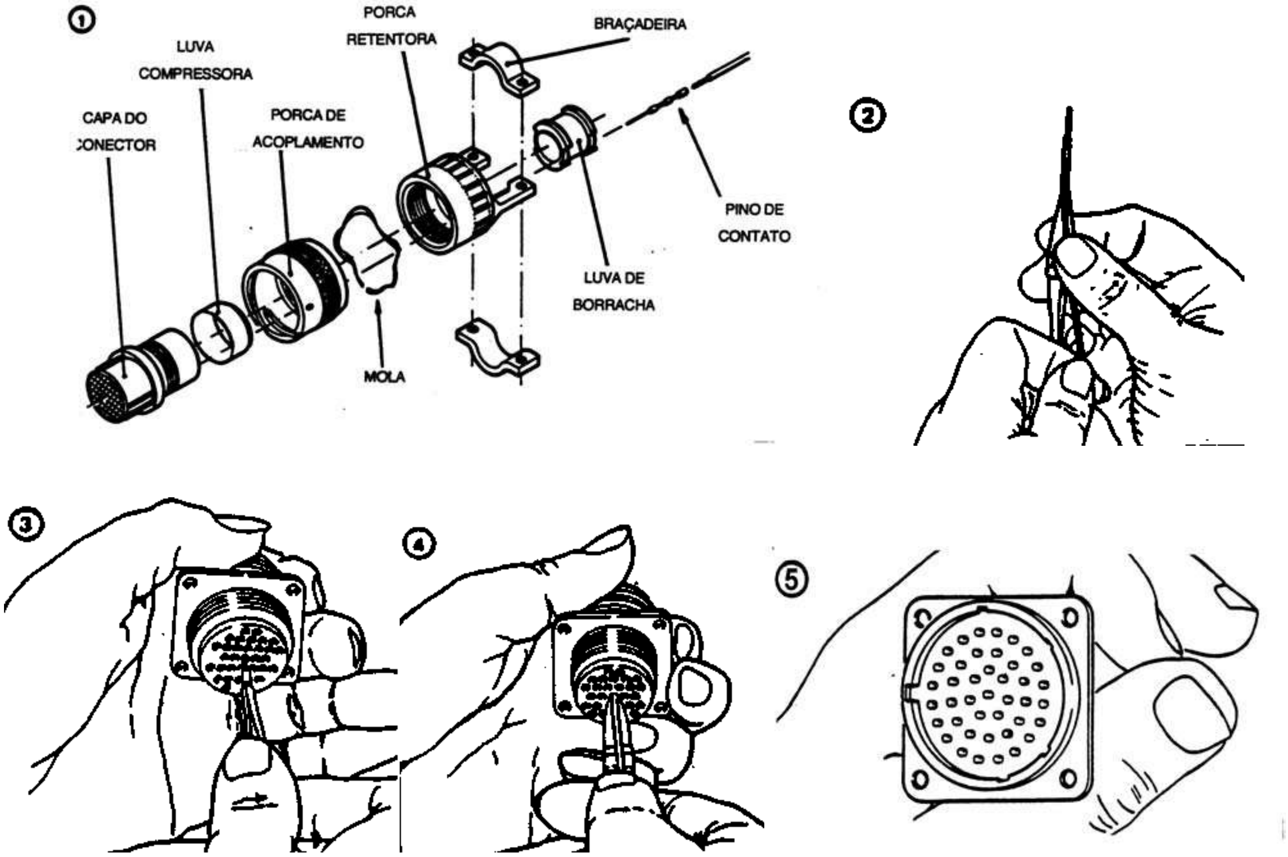

ORIFÍCIO DE INSPEÇÃO
①
②
③

Figura 6-45 Prensagem de pinos de contato

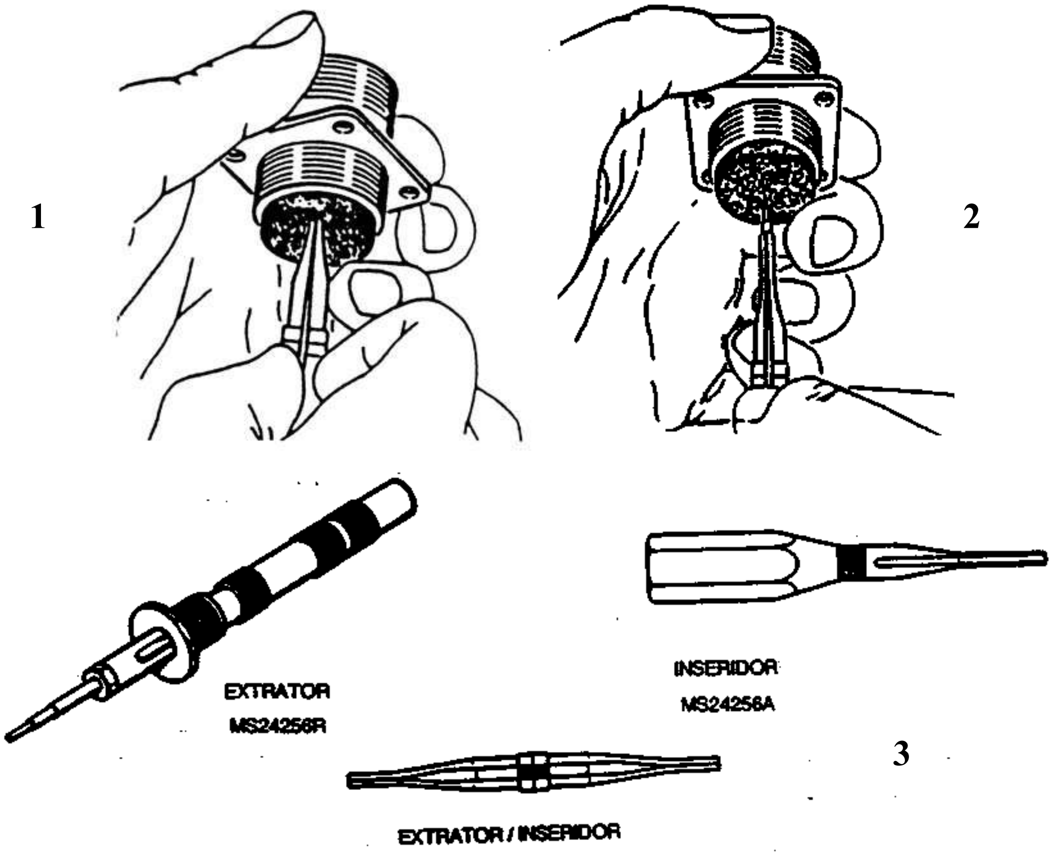

①
PORCA
RETENTORA
BRAÇADEIRA
LUVA
COMPRESSORA
CAPA DO
CONECTOR
PORCA DE
ACOPLAMENTO
PINO DE
CONTATO
LUVA DE
BORRACHA
MOLA
②
③
④
⑤

1. Desmontar conforme mostrado na figura 1.
2. Usar o inseridor juntamente com o contato a ser inserido através da parte traseira do conector (figura 2).
3. Inserir o contato até que se perceba um estalo; isto significará que a iserção está completa (3).

NOTA: Se o passo do item 4 não for constatado, refazer os itens 2, 3 e 4.

4. Observar se todos os contatos estão inseridos corretamente, olhando o conector pela parte dianteira (5).

Figura 6-46 Instalação de pinos de contato prensados



1. Para extrair o pino de contato deslizar a ferramentas, com o lado extrator voltado para o conector, ao longo do fio na direção do furo do inserido até encontrar como batente do contato, continuando até perceber uma resistência. Neste momento o clip retentor do contato estará na posição destravado.
2. Pressionar o fio contra a ranhura da ferramenta plástica e puxe ambos para fora do conector.
3. Ferramentas para remoção de pinos.

Figura 6-47 Remoção de pinos de contato

NORMAS DE SEGURANÇA PARA MANUTENÇÃO ELÉTRICA

Utilização e conservação

Os acidentes envolvendo ferramentas manuais são, normalmente, resultados de mau uso.

Muitas pessoas têm a impressão, de que as ferramentas manuais são simples instrumentos, que podem ser usados por qualquer pessoa com pouco ou nenhum treinamento. Esta idéia não poderia ser mais irreal.

A segurança é o primeiro fator a ser observado quando é exigido o uso de ferramentas manuais, que devem ser de boa qualidade e adequadas ao trabalho a ser executado.

Todas as ferramentas devem ser mantidas em locais seguros e serão afiadas (se for o caso) e conservados por pessoal qualificado.

Na oficina de manutenção deverá existir, gavetas estantes ou quadros para guardar as ferramentas que não estiverem sendo usadas.

Inspeção e cuidados

As ferramentas devem ser inspecionadas periodicamente e, todas as que apresentarem defeitos, devem ser retiradas do serviço para reparos ou reposições.

Quando o cabo dos martelos ou ferramentas similares estiverem rachados, quebrados ou lascados, eles devem ser substituídos. Os cabos das ferramentas devem ser bem ajustados e presos com segurança por meio de cunha ou artifício aceitável.

Os cabos das ferramentas devem permanecer livres de graxa ou qualquer outra substância escorregadia.

Extensões de cabos improvisados, tais como canos ou barras, não devem ser usados em ferramentas manuais.

Talhadeiras, punções, ou pinos e outras ferramentas que têm tendência a se achatarem devem ser desbastadas, quando começarem a esgarçar a cabeça.

Ao desbastar tais ferramentas, elas devem ser chanfradas ao redor da cabeça, isto ajudará a evitar que elas se achatem novamente.

Procedimentos com chaves

Muitos tipos de chaves estão diariamente em uso nas oficinas de manutenção, chaves de boca, chaves ajustáveis, chaves de tubo e soquetes são os tipos mais comuns encontradas em quase todas as oficinas. Todo pessoal deve tomar cuidado em usar as chaves apropriadas para cada trabalho.

As chaves de tipos e tamanhos próprios deverão ser selecionadas para fazer somente os trabalhos para a qual foram designadas.

Deve-se encaixar uma chave em uma porca ou parafuso, de modo que a força tenda a empurrar as castanhas ou mordentes, para evitar que a chave escorregue.

Deve-se tomar cuidado para não tensionar demais uma chave pequena, e nenhuma chave deverá sofrer tensão maior do que elas podem suportar.

Nunca usar calços para fazer chave maior encaixar numa porca ou parafuso menor.

Nunca usar uma chave como martelo.

As chaves de fenda são as ferramentas mais usadas e abusadas. Elas só devem ser usadas com uma finalidade: soltar e apertar parafusos.

A falta de conhecimento, do uso com segurança das chaves de fenda, é o principal motivo pelo qual elas são mal usadas e provocam acidentes.

O uso de chave de tamanho incorreto é o responsável por muitos ferimentos causados por chave de fenda. Deve-se tomar cuidado ao escolher o tamanho da chave de fenda, que encaixe no rasgo do parafuso.

As chaves de fenda não deverão ser usadas como punção, talhadeira ou alavanca. Este procedimento não somente é perigoso, como danifica a ferramenta.

Limas e raspadores

Limas e raspadores nunca devem ser usados sem cabo de madeira.

As pontas espigadas poderão ferir a mão, se a ferramenta chocar-se contra algum obstáculo.

Selecionar as limas ou raspadores mais adequados ao trabalho a ser feito.

A peça que estiver sendo limada, deverá ser presa em um torno de bancada para proteger a mão do trabalhador e evitar que a peça se mova.

A superfície da peça a ser limada deverá ser protegida, colocando-se um material macio entre os mordentes e a peça.

As limas ou raspadores deverão ser seguras pelo cabo em uma das mãos, enquanto que o polegar e o indicador da outra mão, são usados para guiar a ponta da ferramenta.

Nunca usar uma lima como escova de aço.

Alicates

Deve-se ter um extremo cuidado ao usar alicates em eletricidade.

Ao cortar pontas de fios ou arame, segurar o alicate, de tal modo que sua extremidade cortante fique voltada para baixo.

Segurar o alicate pela extremidade do cabo. Perto das juntas há risco de prender os dedos.

Ferro de soldar

Um equipamento de grande utilidade para o eletricista, é o ferro de soldar.

Existe um número enorme de tipos de tamanhos e potências de ferro de soldar.

Deve-se como precaução manusear, um ferro de soldar como se ele estivesse quente. Nunca pegá-lo pelas partes metálicas.

Os ferros de soldar devem ser guardados em prateleiras de aço em áreas de segurança. Usar preferivelmente ferros de soldar com luz de alerta, que acende quando o ferro está ligado na tomada.

DECAPAGEM DE CONDUTORES

Antes dos condutores poderem ser montados nos conectores, terminais e emendas, etc, a isolação do condutor deverá ser retirada da extremidade de conexão para expor o condutor.

Para montagem em conectores, a ligação é decapada o suficiente, de tal modo que o condutor atinja o fundo do copo de solda, e deixe um pequeno intervalo entre a parte superior do copo de solda e a extremidade cortada da isolação.

As dimensões para decapagem de condutores para uso com conectores, são dadas nos procedimentos para montagem de cada conector específico.

Os condutores poderão ser decapados de inúmeros modos, dependendo de sua bitola e do tipo de isolação.

A tabela abaixo deve ser consultada para a escolha do tipo apropriado.

TIPO DE DECAPADOR	BITOLA DO CONDUTOR	TIPOS DE ISOLAÇÃO
Lâmina Aquecida	26-4	Todos os tipos, exceto asbesto e fibra de vidro
Rotatitvo Elétrico	26-4	Todos os tipos
Tesoura	20-6	Todos os tipos
Alicate manual	26-8	Todos os tipos
Faca	2.000	Todos os tipos

Figura 6-48 Tipos de decapadores

Notas: Só explicaremos aqui os tipos de decapagem por alicate manual e por faca.

Após a decapagem é necessário verificar a existência de danos.

Cortar e fazer nova decapagem (enquanto o comprimento for suficiente); ou rejeitar e substituir qualquer condutor que apresentar maior número de fios quebrados, do que aqueles especificados na figura 6-49.

BITOLA DO CONDUTOR	NÚMERO MÁXIMO PERMITIDO DE FIOS QUEBRADOS OU DANIFICADOS
22-12	Nenhum
10	2
0-4	4
2-0	12
Alumínio Todas as bitolas	Nenhum

Figura 6-49 Limites de fios quebrados

Instruções para Decapagem usando Decapadores Manuais tipo Alicate

A) Inserir o condutor exatamente no centro da fenda cortante, adequada para a bitola do condutor a ser decapado. Cada fenda é marcada com a bitola do condutor. Veja a figura 6-50.

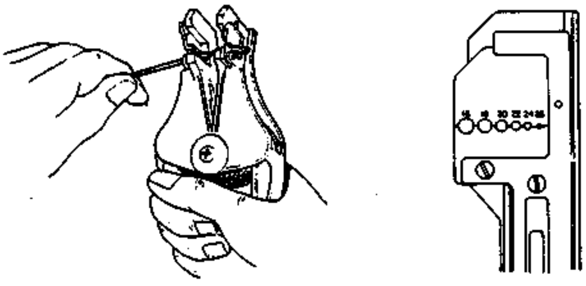


Figura 6-50 Ferramentas para decapagem

B) Apertar as manoplas do alicate, juntando-as tanto quanto elas possam.

C) Soltar as manoplas, deixando os fixadores do condutor retornarem para a posição aberta.

D) Remover o condutor decapado.

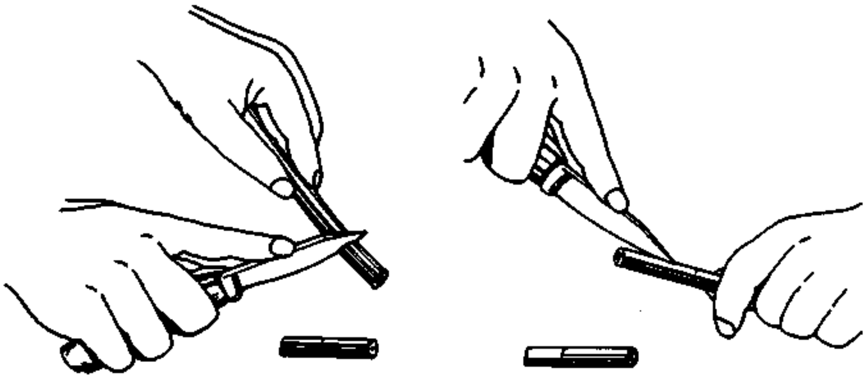
Instruções para Decapagem usando uma faca afiada

A) Fazer um corte em torno do condutor, no comprimento de decapagem desejado. Não cortar completamente a isolação para não atingir os fios. Veja as operações A, B e C da figura 6-51.

B) Fazer um segundo corte, longitudinalmente, ao longo de todo o comportamento de decapagem. Neste caso também, não cortar completamente a isolação.

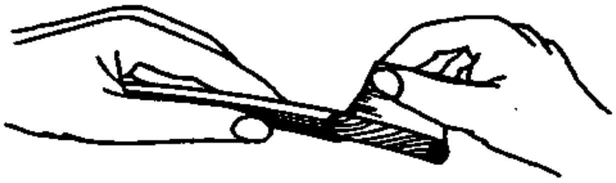
Nota: Quando um condutor tiver duas ou mais camadas de isolação, cortar através da camada exterior, e somente sulcar a segunda camada de isolação.

C) Retirar a camada de isolação, seguindo a orientação de enrolamento dos condutores.



(A) Cortando em torno da isolação.

(B) Cortando longitudinalmente a isolação.



(C) Retirando a camada de isolação.

Figura 6-51 Decapagem utilizando faca afiada

ESTANHAGEM DE CONDUTORES

Após a decapagem da extremidade do fio ou cabo elétrico no comprimento necessário, faz-se a estanhagem. Os seguintes cuidados devem ser observados:

- Limpar a porção decapada do fio ou cabo elétrico, eliminando óleo, graxa, gordura etc, utilizando um pano umedecido em solvente. Se o fio ou cabo elétrico apresentar corrosão, retirá-la utilizando uma lixa fina ou raspá-la cuidadosamente com uma faca.

BITOLA AWS DO FIO OU CABO ELÉTRICO	POTÊNCIA (W) DO FERRO DE SOLDAR
0-10	200
12-14	100
16-20	65
22-24	30

Figura 6-52 Potência do ferro de soldar

- Selecionar um ferro de soldar na potência requerida, de acordo com a bitola do fio ou cabo elétrico a ser estanhado, conforme especificado na figura 6-52.

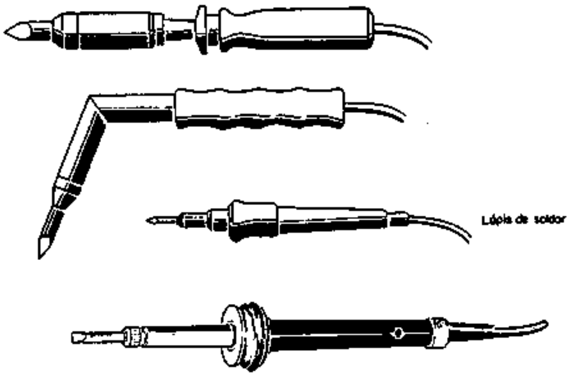


Figura 6-53 Tipos de ferro de soldar

- A ponta de ferro de soldar deve estar limpa e bem estanhada. Selecionar o tipo, o formato de sua ponta e a potência do ferro de soldar, de acordo com a soldagem a ser realizada e bitola do fio ou cabo elétrico.

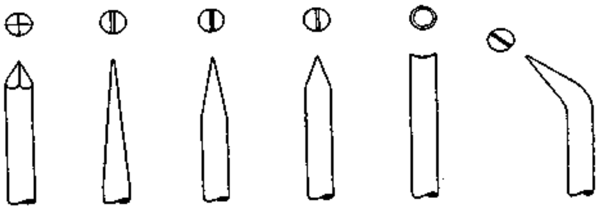


Figura 6-54 Formatos de pontas de ferro de soldar

- Selecionar o tipo de solda que deve ser utilizado na estanhagem, de acordo com o acabamento do fio ou cabo elétrico.

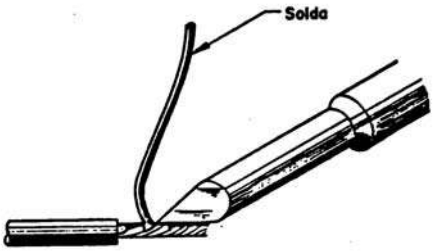


Figura 6-55 Estanhagem com ferro de soldar

- Encostar a solda e a ponta do ferro de soldar na extremidade decapada do fio ou cabo elétrico, até a solda começar a fluir. Ver figura 6-55.

- Movimentar a ponta do ferro de soldar, estanhando metade da extremidade decapada do fio ou cabo elétrico.

Preparar o ferro de soldar, antes da soldagem, da seguinte forma:

a) Limpar cada uma das superfícies da ponta de cobre até que fiquem completamente lisas e com uma coloração acentuada. Veja a figura 6-56.

Nota: um ferro de soldar cuja ponta de cobre possui uma cobertura de ferro puro, não deve ser limada. Sua limpeza deve ser de acordo com as instruções do fabricante.

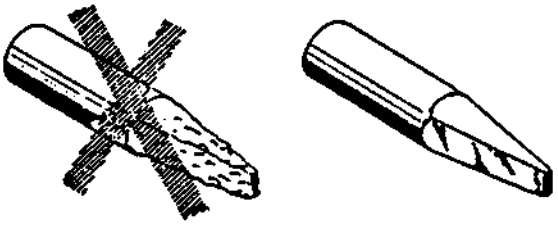


Figura 6-56 Limpesa da ponta do ferro de soldar

b) Remover as partículas provenientes da limadura, utilizando uma lixa fina;
c) Após estar devidamente aquecida, estanhar cada uma de suas superfícies, utilizando solda. Veja a figura 6-57.

Nota: A estanhagem deve iniciar-se antes que a ponta de cobre atinja sua temperatura máxima.

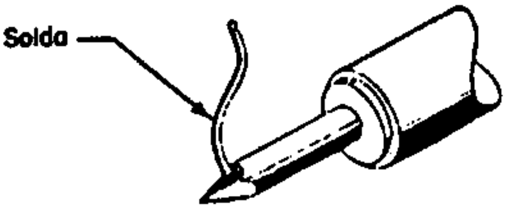


Figura 6-57 Estanhagem da ponta do ferro de soldar

d) Retirar o excesso de solda passando um pano ou esponja úmida, com movimentos de rotação.

Nota: não sacudir ou bater o ferro de soldar para remoção do excesso de solda.

- Passar um pano ou esponja umedecida em solvente na extremidade estanhada do fio ou cabo elétrico, afim de remover graxa, óleo, gordura, etc, que possam existir.
- Encostar a ponta do ferro de soldar no ponto de soldagem e aplicar solda sobre os elementos que deverão ser soldados, e não sobre o ferro de soldar. Veja a figura 6-58.

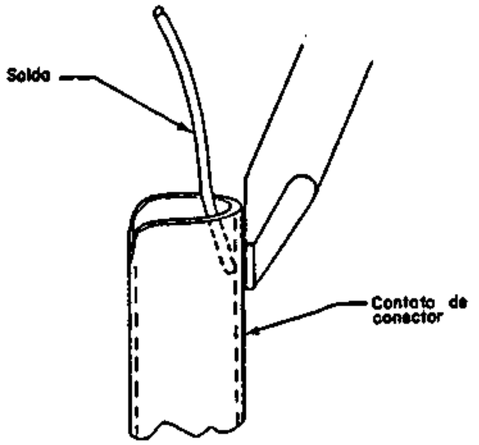


Figura 6-58 Aplicação de solda

Notas:

1. A soldagem deve ser de acordo com o acabamento do fio ou cabo elétrico, conforme especificado na figura 6-58.
2. Durante a soldagem não aplicar calor mais tempo do que o necessário.
3. Não deixar acumular solda ao redor ou sobre os elementos que estão sendo soldados.
4. Deixar a solda resfriar naturalmente.
5. Se, após a soldagem, existir um excesso de fluxo sobre o ponto soldado, removê-lo utilizando um pano ou esponja umedecidos em solvente, evitando o contato com a capa do fio ou cabo elétrico.
6. A solda deve apresentar uma coloração prateada brilhante e uma superfície lisa e uniforme; veja a figura 6-59.

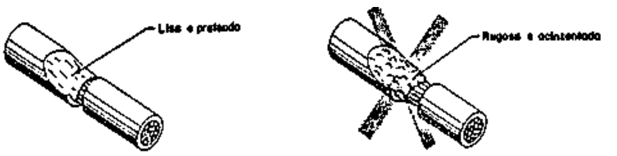


Fig 6-59 Apresentação de uma solda perfeita

7. Quando o ferro de soldar não estiver sendo utilizado, colocá-lo em seu suporte e desligá-lo, para evitar superaque-cimento. Veja a figura 6-60.

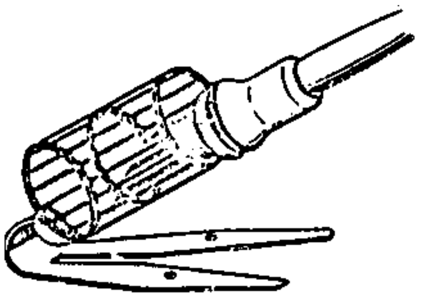


Figura 6-60 Suporte para ferro de soldar

SOLDAGEM DE CONDUTORES

A soldagem utilizando um ferro de soldar aquecido eletricamente é o procedimento mais comumente usado.

As operações de soldagem seguem a seqüência dada a seguir:

a) os contatos grandes deverão ser retirados dos insertos e fixados em um bloco não metálico e soldados, aquecendo-se primeiramente o copo de solda do contato com uma ponta especial, como mostrado na figura 6-61.

b) Enquanto o calor estiver sendo aplicado, introduzir lentamente o condutor pré-estanhado no copo de solda do contato, até atingir o fundo..

c) Uma quantidade extra de solda 60/40, com núcleo de resina, poderá ser adicionada ao copo de solda, se necessário.

d) Segurar o ferro de soldar aquecido e mantê-lo nessa condição, encostado no copo de solda, até que a solda tenha fundido totalmente, formando uma película lisa.

e) Deixar esfriar sem movimento.

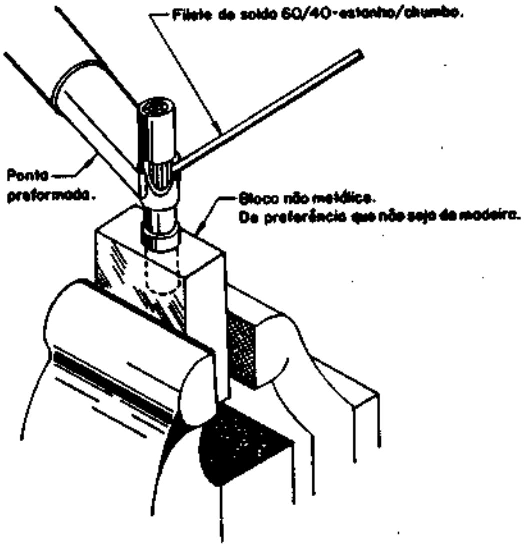
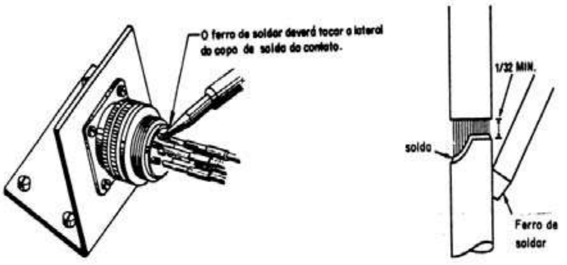
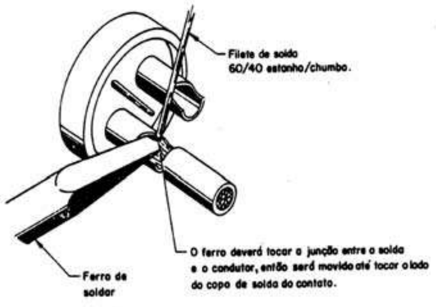

Filete de solda 60/40-estanho/chumbo.
Ponta preformada.
Bloco não metálico.
De preferência que não seja de madeira.

Figura 6-61 Procedimento de soldagem de grandes contatos


O ferro de soldar deverá tocar a lateral do copo de solda do contato.
1/32 MIN.
solda
Ferro de soldar

SOLDAGEM DE CONTATOS COM FERRO DE SOLDAR


Filete de solda 60/40 estanho/chumbo.
O ferro deverá tocar a junção entre a solda e o condutor, então será movido até tocar o lado do copo de solda do contato.
Ferro de soldar

SOLDAGEM DE CONTATOS MÉDIOS COM FERRO DE SOLDAR

Figura 6-62 Soldagem de acordo com o tamanho dos contatos

f) Ao contatos que não foram retirados do inserto, deverão ser soldados seguindo-se o procedimento ilustrado na figura 6-62.

g) A solda será fundida colocando-se o ferro de soldar encostado ao longo do lado do copo de solda no momento em que o condutor começa a ser introduzido nele.

h) Contatos de tamanho médio, tais como número 8 e 12 serão soldados mais facilmente se o ferro de soldar for encostado no ponto onde o condutor toca o chanfro existente no copo de solda, como ilustrado na figura 6-62.

i) Adicionando-se uma pequena quantidade de solda nesse ponto, ajudar-se-á na transmissão de calor para o interior da conexão.

Atenção: Não deixar a solda escorrer para o lado de fora do copo de solda. Isso reduzirá a distância do arco e poderá representar a perda do conector.

Fixação dos Conectores para Soldagem

Para facilitar a soldagem de condutores aos contatos que não foram retirados dos conectores, é de bastante utilidade fixar o conector em uma posição adequada para soldagem.

Utilizar um suporte de aço dobrado com 60 a 75° de ângulo, como mostrado na figura 6-63.

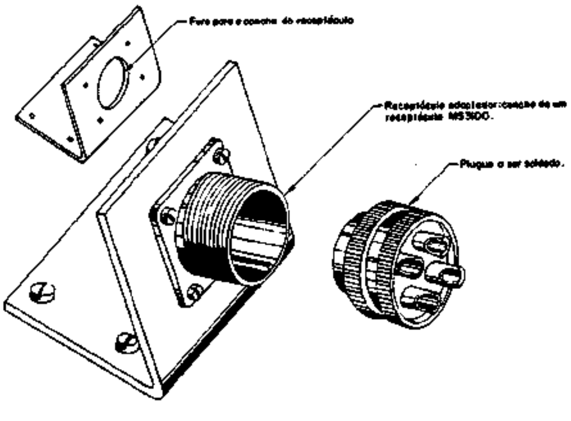

Furo para a conexão do receptáculo
Receptáculo adaptador: conexão de um receptáculo MS3100.
Plugue a ser soldado.

Figura 6-63 Suporte para soldagem de plugues de conectores

Para prender um plugue, usar uma concha vazia de um receptáculo.

Para prender um receptáculo, usar dois parafusos de modo que o receptáculo seja montado como a porção rosqueada inserida no furo do suporte. Isso localizará os copos de solda em uma posição de fácil soldagem.

Seqüência de Soldagem

A soldagem dos conectores deverá seguir uma seqüência rígida, para evitar erros na cablagem e também evitar queimadura da isolação dos condutores já soldados.

Duas seqüências usuais de soldagem são ilustradas na figura 6-64.

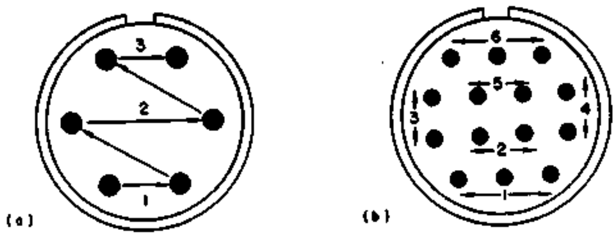


Figura 6-64 Sequência para a soldagem de pinos

a) A seqüência ilustrada na figura 6-64(a) será iniciada da direita ou da esquerda, dependendo se o equipamento é de montagem à direita ou à esquerda, e seguindo a fila de baixo, de lado a lado.

   A fila de cima será a próxima a ser soldada, seguindo o mesmo princípio usado para soldar a fila de baixo.

   Isso permitirá que o inserto se esfrie durante as operações de soldagem.

   As operações acima descritas deverão se repetidas para cada fila em seqüência, até que todos os contatos tenham sido soldados.

   Nota: se os condutores começarem a ser soldados em um conector com um grande número de contatos, planejar o trabalho, de modo a permitir um período de esfriamento após cada série de 20 contatos, para evitar aquecimento excessivo do inserto.

b) A seqüência ilustrada na figura 6-64(b) também será iniciada na fila de baixo, da direita ou da esquerda. O próximo passo será soldar os contatos do centro, e depois os das pontas.

   A operação final será soldar os condutores aos contatos da fila de cima.

   As seqüências de soldagem apresentadas anteriormente não são obrigatórias, mas seu uso será um procedimento adequado para execução de um bom trabalho de soldagem.
   É recomendável, porém, a adoção de uma seqüência de soldagem para ser sempre usada, com o objetivo de otimizar o tempo de execução das soldagens em conectores elétricos.

Limpeza das Conexões Soldadas

Após todas as conexões terem sido soldadas, examinar o conector quanto aos excessos de solda, solda fria e resíduos de fluxo.

Tomar as seguintes medidas corretivas se qualquer uma das deficiências citadas forem encontradas:

a) Remoção do excesso de solda usando um ferro de soldar, o qual tenha sido cuidadosamente escovado e limpo com um pano limpo e seco.

b) Desfazer todas as soldas frias. Retirar toda solda sacudindo o conector e efetuar nova soldagem.

c) Remover os resíduos de fluxo com ácool etílico desnaturado, usando um pincel de cerdas moles.

d) Secar o conector com um jato de ar comprimido.

METALIZAÇÃO

Definições

1. Metalização Elétrica (“Bonding”)

É o estabelecimento de um caminho eletricamente condutivo, entre duas ou mais partes metálicas, de forma a assegurar o mesmo potencial entre as partes.

Os materiais utilizados na metalização são:

1. Tinta laca azul (E9100039) – TT-L-32.
2. *Primer* cromato de zinco – TT-P-1757
3. Selante PR1436G-B2 (E9124158) – MIL-S-81733
4. *Primer epoxy* (E9116236) – MIL-P-23377
5. Selante PR1422A (E9110587) – MIL-S-27725.

2. Estrutura

Para efeito de norma as estruturas metálicas das aeronaves são divididas em dois tipos como segue:

Tipo 1 (primária): é constituída da estrutura principal da fuselagem, asa e empenagens.

Tipo 2 (secundária): é constituída das diversas partes metálicas que se agregam à estrutura tipo 1, tais como suportes, naceles, armários, consoles, painéis, superfícies de comando etc.

3. Ponte de Ligação

Condutor construído através de malha chata, cordoalha ou fio e terminais elétricos, destinada a interligar partes metálicas para proporcionar a metalização elétrica.

4. Retorno de Corrente

É o caminho da corrente elétrica, estabelecido entre o ponto de aterramento dos equipamentos elétricos/eletrônicos e a estrutura.

Finalidades

A metalização elétrica tem as seguintes finalidades:

a) Evitar acidentes pessoais e danos à aeronave provocados por tensões excessivas, induzidas por descargas atmosférica, radiofreqüência ou curto-circuito interno de equipamentos;

b) Proporcionar caminhos eletricamente condutivos entre as estruturas da aeronave, para as seguintes condições:

   - Retorno de corrente
   - Dissipação de carga estática
   - Dissipação de descarga atmosférica
   - Curto-circuito em geral

c) Otimizar a recepção e transmissão de rádio;

d) Obter diagrama de irradiação satisfatório das antenas;

e) Evitar um mau funcionamento e/ou danos aos equipamentos elétricos e eletrônicos;

f) Proporcionar aterramento adequado para a RF.

Cuidados na Metalização

1. Estruturas

As estruturas devem ser metalizadas para se obter uma unidade equipotencial homogênea, o que requer que todos os seus membros sejam interligados com conexões ou juntas de baixa resistência e baixa impedância de radiofreqüência.

A metalização deve ser projetada e instalada de modo que a continuidade elétrica (resistência) não seja afetada pela vibração, expansão e contração, movimento de torção ou outros movimentos relativos, inerentes ao uso em serviço normal da aeronave.

Os tanques de combustível por estarem em regiões sujeitas à corrente de raio, devem ter as conexões de metalização internas seladas, a fim de evitar centelha (faísca), conforme as normas definidas para cada tipo de aeronave.

Nota: as conexões de metalização também devem ser seladas, quando localizadas em regiões de atmosfera explosiva.

2. Retorno de Corrente

Para esta classe de metalização, observar os seguintes cuidados:

a) A metalização deve ser feita sempre à estrutura tipo II:

b) Os pontos de metalização devem ser segregados, quando as fontes de alimentação dos equipamentos elétricos/eletrônicos forem diferentes (CA ou CC);

c) É proibida a metalização em peças de liga de magnésio.

3. Peças de Liga de Titânio

Não devem ser ligadas diretamente à estrutura de alumínio. Sua metalização deve ser feita através de pontes de ligação ou com os próprios parafusos de fixação.

4. Peças Não Metálicas

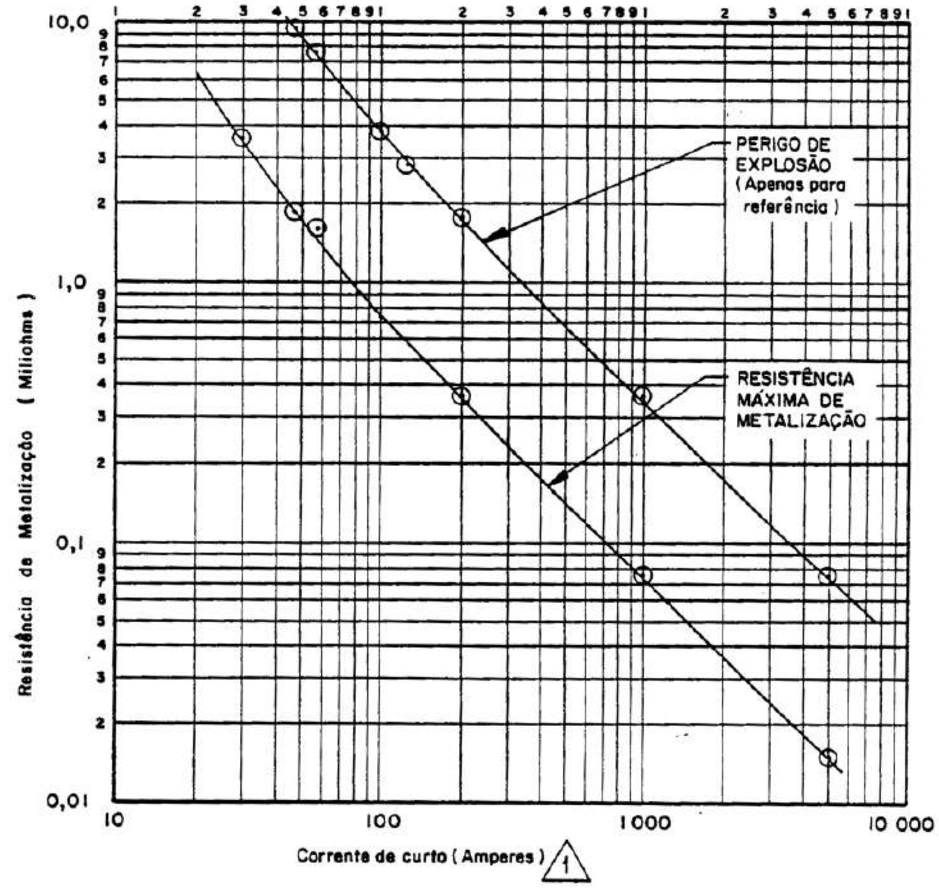
As peças não metálicas externas à aeronave (sujeitas a raios) devem ser protegidas contra descargas de raios. Devem incorporar uma tela metálica fina na camada mais externa livre de resina, a fim de propiciar a sua metalização.

As peças que não são sujeitas a raios, devem ser pintadas com tinta anti-estática, a fim de propiciar a dissipação de carga estática.

Nota: as áreas sujeitas a raio são definidas durante o desenvolvimento do projeto de cada aeronave. A ligação com a aeronave das peças não metálicas metalizadas deve ser a mais perfeita possível, uma vez que através dela é que deve ser compensada a resistência da tela.

ÁREAS SUJEITAS À EXPLOSÃO OU FOGO

Equipamentos elétricos instalados em locais sujeitos à explosão ou fogo devem ter o valor de resistência de metalização, conforme indicado no gráfico RESISTÊNCIA DE METALIZAÇÃO (miliohms) x CORRENTE DE CURTO (Ampères). Ver a figura 6-65.



△1 Corrente de curto é definida como a corrente máxima capaz de ser fornecida pela fonte elétrica, quando de um curto-circuito

São utilizados para metalizar os seguintes métodos:
Método 1 – Soldagem
Método 2 – Rebite “Hi-Lok”ou “Hi-Lite”
Método 3 – Parafusos (pinos) e porcas
Método 4 – Lâminas metálicas
Método 5 – Rebites
Método 6 – Braçadeiras metálicas
Método 7 – Pontes de ligação
Método 8 – Descarregadores estáticos
Método 9 – Módulos de aterramento
Método 10 – Perfil de metalização (para superfícies metálicas separadas por material isolante)
Método 11 – Malha tubular
Método 12 – Contato da base da antena com o revestimento

Nota : todos estes métodos são explicados na NE 80-008, que será consultada em aula prática.

Figura 6-65 Gráfico de Resistência de metalização X Corrente de curto

PROTEÇÕES CONTRA OS EFEITOS DE RAIOS

Descargas Elétricas Ramificadas

São trajetórias ionizadas com ramificações que ocorrem na presença de impacto direto de um raio ou em descargas próximas à aeronaves.

Ponto de Impacto

É a região em que o ramo principal de uma descarga elétrica atinge a superfície da aeronave.

Efeitos Diretos

São efeitos causados por impactos de raios diretamente na superfície da aeronave.

São caracterizados, geralmente, por danos físicos à aeronave.

Estes defeitos estão diretamente ligados ao tempo em que o raio estabelece contato com a aeronave.

Efeitos Indiretos

São efeitos causados por descargas elétricas nas proximidades da aeronave, ou os danos induzidos por uma descarga direta.

Ocorrem com mais freqüência que os efeitos diretos embora ambos os efeitos sejam causados por uma energia de mesma origem, suas conseqüências são totalmente distintas. Os efeitos são relacionados a um possível mau funcionamento de componentes elétricos e eletrônicos da aeronave.

Classificação das zonas de impacto em aeronaves

- **Zona 1**: superfície do avião onde existe grande probabilidade de ocorrência de impacto direto. Esta zona é subdividida em:

  Zona 1A – partes da aeronave nas quais um raio após o impacto tende a não permanecer, deslocando-se para outras áreas.

  Zona 1B – partes da aeronave nas quais um raio após o impacto tende a permanecer incidindo durante um lapso de tempo. Nessas partes, os danos sofridos são proporcionais ao tempo de permanência.

Normalmente as seguintes áreas são consideradas como zona 1:

- Todas as projeções e protuberâncias, tais como, naceles de motores, *spinners*, disco da hélice, tanques de combustível de ponta de asa, radome, etc..

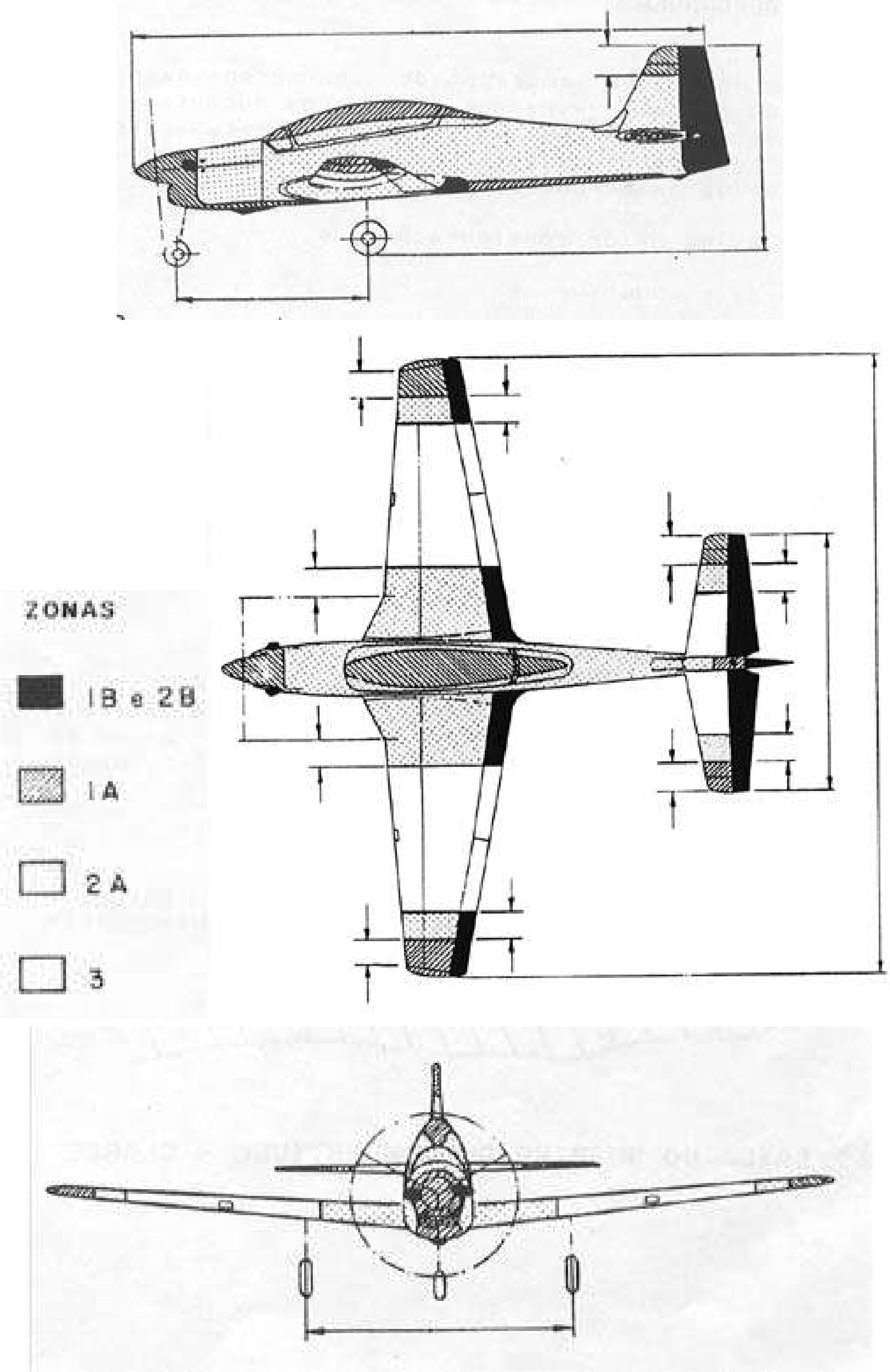

ZONAS
1B e 2B
1A
2A
3

Figura 6-66 Designação típica das zonas sujeitas a descargas elétricas atmosféricas

- Superfícies de ponta da asa compreendidas entre o extremo metálico da asa e uma linha paralela ao eixo longitudinal do avião e deslocada da ponta para o interior da asa de 46 cm (18 pol).
- Uma faixa compreendida entre o bordo de ataque de asa e uma linha paralela à direção do bordo de ataque deslocada com enflexamento igual ou superior a 45^0.

- Na cauda do avião, em uma área com largura de 46 cm (18 pol) contada das extremidades metálicas para o interior das pontas dos estabilizadores vertical e horizontal, bordo de fuga do estabilizador horizontal, bordo de fuga do estabilizador horizontal, cone de cauda e qualquer outra protuberância.
- **Zona 2**: áreas, na aeronave, adjacentes à zona 1 e para onde deslocariam os raios ali incidentes.
- **Zona 2A** - partes da zona 2 onde o raio tende a não permanecer deslocando-se para outras partes.
- **Zona 2b** – partes da zona 2 onde o raio tende a permanecer incidindo. Nessas partes, os danos sofridos são proporcionais ao tempo de permanência.
- **Zona 3** – Áreas da aeronave onde a probabilidade de incidência direta de raios ou a ocorrência de deslocamento com intensidade para estas regiões é remota.

Métodos usuais de possíveis proteções contra efeitos de raios nas aeronaves

Os métodos usuais de proteção de uma aeronave contra os efeitos de raios, devem ser observados durante o projeto, prevendo uma metalização que assegure um escoamento livre e rápido das correntes diretas ou induzidas por raios para pontos de saída na aeronave.

As áreas que exigem maior consideração são:

As saídas dos suspiros de combustível e são classificadas de acordo com o ponto de descarga na atmosfera, exigindo diferentes tipos de proteção contra raios conforme a classe do suspiro.

Assim temos:

Classe 1:

Descarga de vapor dentro do turbilhão de ar causado pela camada limite. Ver a figura 6-67abaixo.

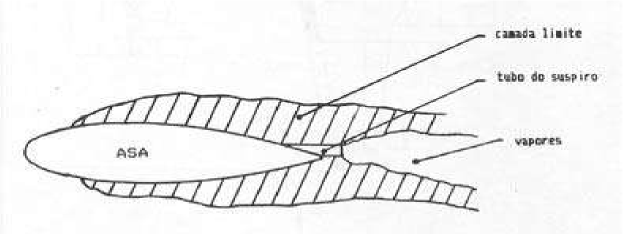


Figura 6-67 Saída do suspiro de combustível – Classe 1

Classe 2:

Descarga de vapor dentro da corrente de ar livre.

Ver a figura 6-68.

Obs.: O tipo scoop pertence a esta classe, desde que a parte externa não seja de grandes dimensões.

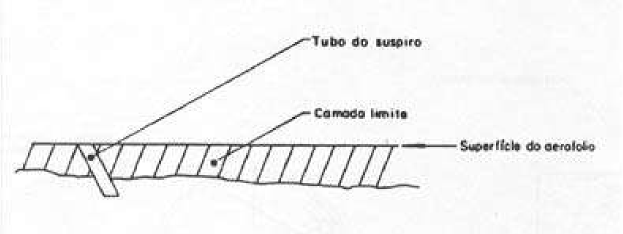


Figura 6-68 Saída do suspiro de combustível – Classe 2

Classe 3:

Descarga de vapor dentro da superfície da camada limite. Ver a figura 6-69

Obs: o tipo NACA pertence a esta classe.

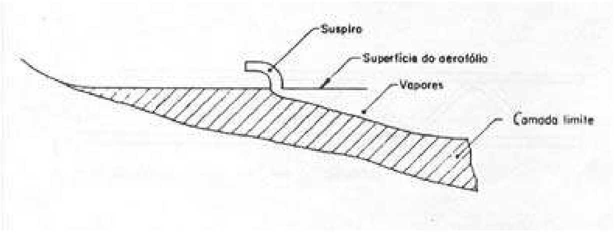


Figura 6-69 Saída do suspiro de combustível – Classe 3

Proteção dos Suspiros dos Tanques

Isolador de Chama

Para tubos de suspiro a propagação da chama pode ser evitada localizando-se adequadamente um isolador de chama na linha.

Esta localização é importante, visto que um isolador colocado junto a saída do suspiro seria inoperante quanto a proteção desejada devido a possibilidade de propagação da chama do interior do tubo para o tanque. As aberturas dos isoladores de chamas normalmente são providos de células de aço inoxidável, em forma de colméia, ou tiras corrugadas enroladas, tendo a célula uma profundidade de 1 polegada. Ver a figura 6-70.

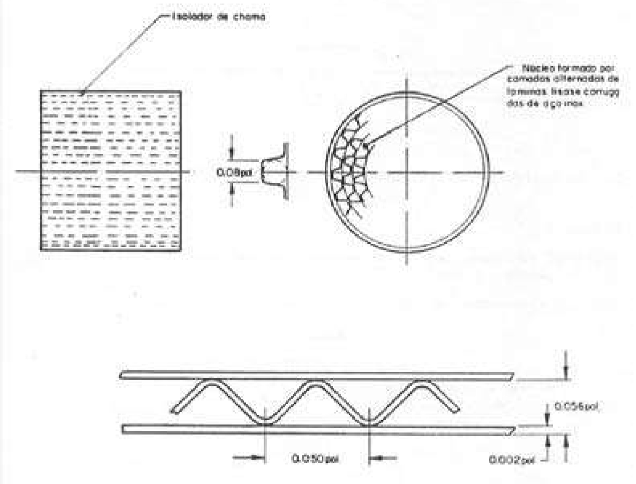

Isolador de chama
Núcleo formado por camadas alternadas de lâminas lisas e corrugadas de aço inox
0.08pol
0.056pol
0.050pol
0.002pol

Figura 6-70 Típico isolador de chama

Formação do Gelo

Devido à possibilidade de formação de gelo nos isoladores de chama, estes deverão ser providos com tubos de contorno (bypass), que assegurem um permanente fluxo nos suspiros dos tanques. O bloqueio total dos suspiros poderá causar um diferencial de pressão com comprometimento do tanque e da alimentaç ao de combustível.

Proteção do Sistema de Combustível contra Ignição dos Vapores nas saídas dos Suspiros (Zona 1 e 2)

Os suspiros de todas as classes devem ter proteção contra raios, nas próprias saídas ou em suas proximidades. Ver a figura 6-71.

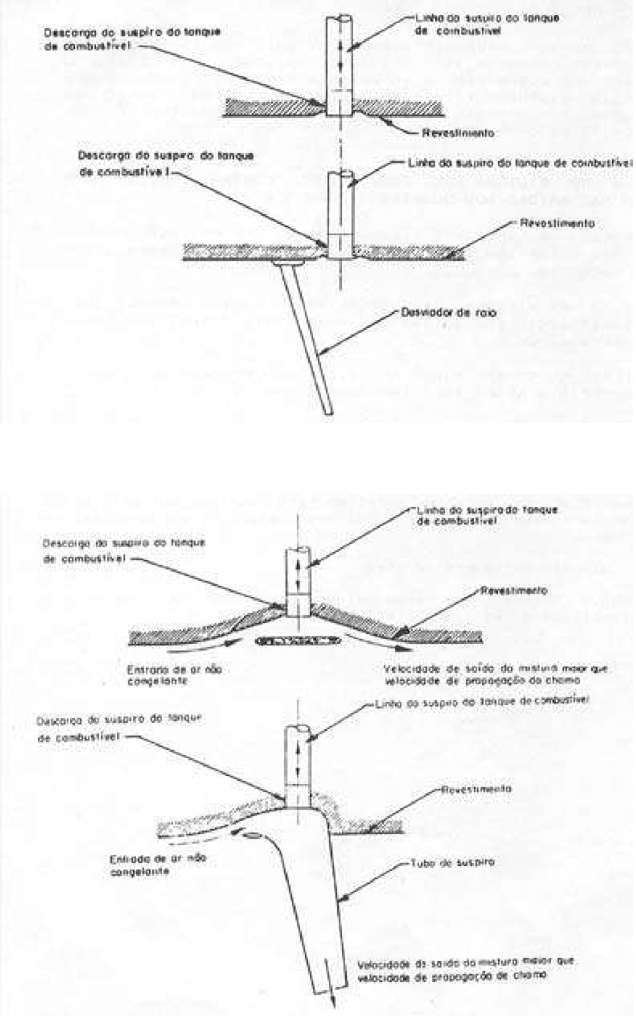

Descarga do suspiro do tanque de combustível
Linha do suspiro do tanque de combustível
Revestimento
Descarga do suspiro do tanque de combustível
Linha do suspiro do tanque de combustível
Revestimento
Desviador de raio
Linha do suspiro do tanque de combustível
Descarga do suspiro do tanque de combustível
Revestimento
Entrada de ar não congelante
Velocidade de saída da mistura maior que velocidade de propagação da chama
Linha do suspiro do tanque de combustível
Descarga do suspiro do tanque de combustível
Revestimento
Entrada de ar não congelante
Tubo de suspiro
Velocidade de saída da mistura maior que velocidade de propagação de chama

Figura 6-71 Proteção nas saídas dos suspiros de combustível

A proteção do sistema de combustível, contra ignição dos vapores nas áreas das saídas dos suspiros é feita, nas zonas 1 e 2, através de:

- Diluição do vapor expelido pelo suspiro, com ar fresco, para tornar a mistura suficientemente pobre.
- Aceleração do vapor expelido pelo suspiro, com ar fresco, para tornar a mistura suficientemente pobre.
- Uso de isoladores de chama.

Obs.: Sempre que possível os suspiros não devem ser localizados nas zonas 1 e 2

Proteção do Sistema de Combustível contra Ignição dos Vapores nas saídas dos suspiros (Zona 3)

Suspiros de classe 3 são os mais indicados para proteção do sistema de combustível contra descargas ramificadas e corona.

Os suspiros das classes 1 e 2 deverão ser protegidos contra a propagação de chama usando-se isoladores de chama um pouco mais simples que os usados nas zonas 1 e 2.

Nota: As saídas dos suspiros deverão ser evitadas nas regiões mostradas na figura 6-72.

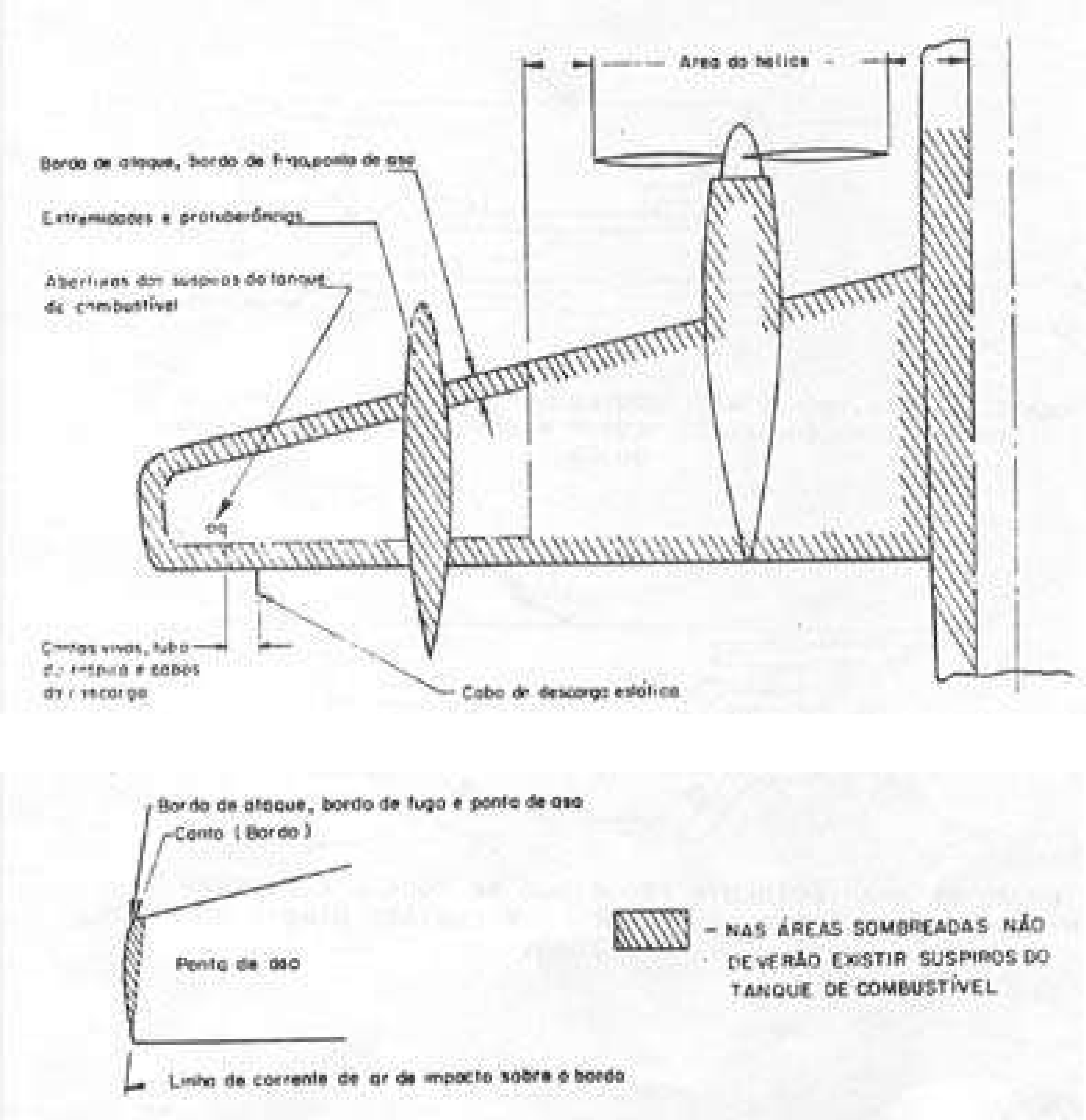

Area da hélice
Bordo de ataque, bordo de fuga, ponta de asa
Extremidades e protuberâncias
Aberturas dos suspiros do tanque de combustível
Cantos vivos, tubo de respiro e cabos de descarga
Cabo de descarga estática
Bordo de ataque, bordo de fuga e ponta de asa
Canto (Bordo)
Ponta de asa
Linha de corrente de ar de impacto sobre o bordo
▨ - NAS ÁREAS SOMBREADAS NÃO DEVERÃO EXISTIR SUSPIROS DO TANQUE DE COMBUSTÍVEL

Figura 6-72 Zonas onde não deverão ser instalados suspiros de tanques de combustível

Sistema de aterramento (Metalização) dos bujões de abastecimento de combustível

Para evitar centelha interna resultante de uma descarga direta no bujão de abastecimento de combustível, deve-se fazer a melhor condutividade externa, ou então as partes internas da tampa, de material plástico com contato por mola, garantindo uma isolação de vapor do combustível por meio de um anel de vedação e de uma fita de borracha dielétrica.

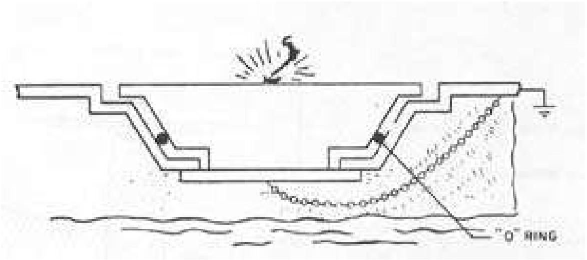


Figura 6-73 Centelhamento indesejável dentro do tanque, na superfície de contato e na corrente, devido a uma descarga direta no bujão

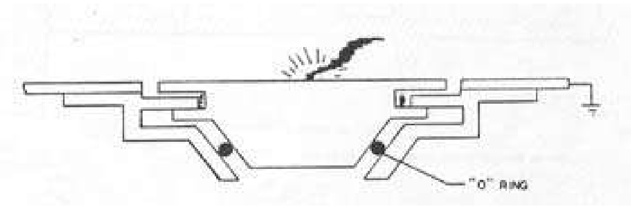


Figura 6-74 Bujão de abastecimento projetado de modo a conservar o centelhamento externo ao tanque, por contato direto de partes metálicas

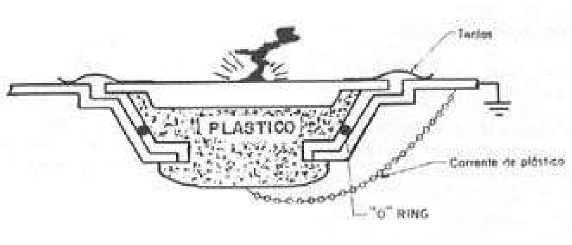


Figura 6-75 Bujão de abastecimento de combustível com partes internas de plástico e teclas de mola para aterramento

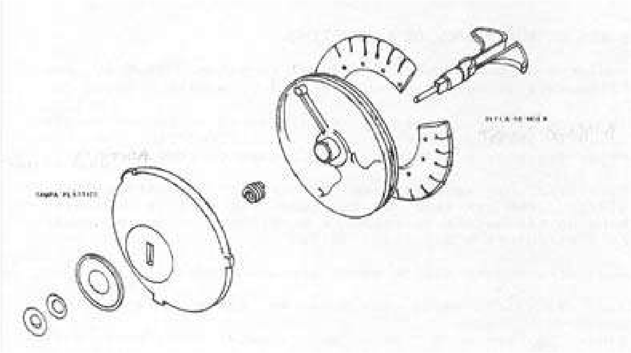


Figura 6-76 Vista explodida de uma tampa do bujão de abastecimento

Deve-se manter o melhor contato elétrico possível entre a tampa do bujão de abastecimento e a estrutura.

Proteção dos tanques de combustível contra correntes elétricas

Tanques de combustível

A condutividade dos tanques de combustível deve ser alta e uniformemente distribuída.

Devido à possibilidade do acúmulo de corrente estática em torno dos dutos de passagem de combustível, e principalmente nas bordas destes, deve-se ter especial atenção para a descarga de corrente nestes pontos.

Chapas de revestimento

Sempre que possível, as chapas que revestem os tanques de combustível devem ser de espessura igual ou maior que 2mm (0,08pol) especialmente nas zonas 1 e 2 para minimizar os efeitos de penetração de descargas.

Sensores de quantidade de combustível

Os sensores fabricados de material condutor, deverão ser eletricamente ligados à estrutura mais próxima.

A fim de se evitar o risco de centelhamento de corrente, são desconselháveis distâncias que facilitem centelhamento entre os sensores e as paredes dos tanques de combustíveis.

A instalação de sensores em tanque de combustível não metálicos, deve ser feita de tal modo, que a parte do sensor interna ao tanque não se comporte como ponte de interligação entre a estrutura e a parte líquida.

As seguintes recomendações devem ser observadas:

- Fazer as extremidades dos sensores de um material não condutivo.
- Blindar os sensores com o uso desviadores adequados, posicio-nados, externamente ao tanque ou em regiões há blindadas do tanque, se elas existirem.
- Arrendondar pontas afiadas e bordas.

Módulo de Aterramento

O diagrama a seguir apresenta um esquema de aterramento de luzes de inspeção feito por meio de parafuso fixado na estrutura da aeronave.

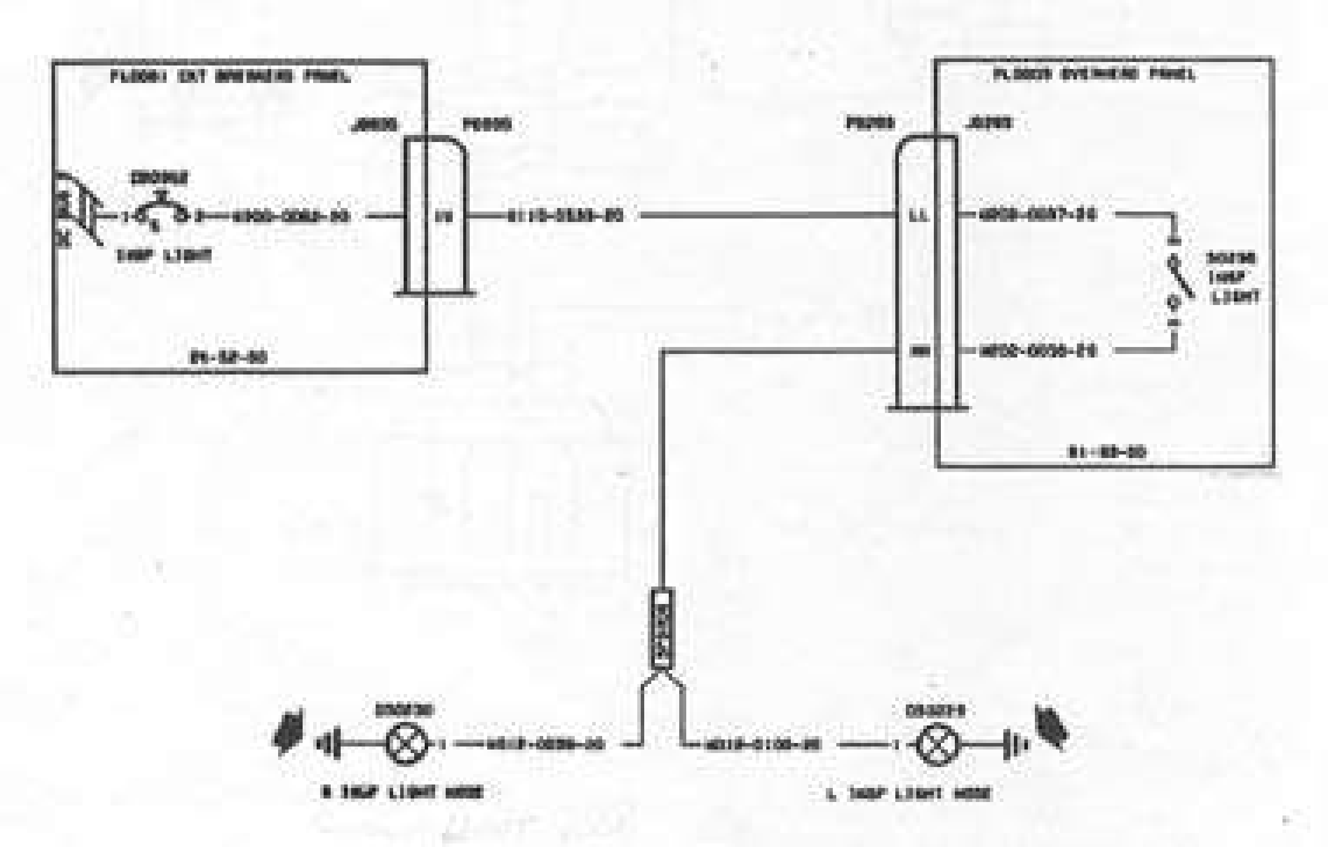


Figura 6 –77 Diagrama do circuito de aterramento por parafuso

Um outro diagrama elétrico mostra outro símbolo para aterramento, veja a figura 6-78. Neste segundo diagrama o aterramento é feito por um módulo de aterramento.

O método feito através de módulos de aterramento oferece as seguintes vantagens:

- Permite rápida e fácil conexão para muitas terras; totalmente herméticos, proporcionando longa durabilidade e perfeita performance elétrica
- Os fios são conectados através de terminais prensados e pinos de conexão.
- Encontrados, normalmente, para 8 ou 10 contatos ou feitos de acordo com pedido específico do usuário.
- Menor peso.

A figura 6-79 mostra um vista explodida do módulo de aterramento.

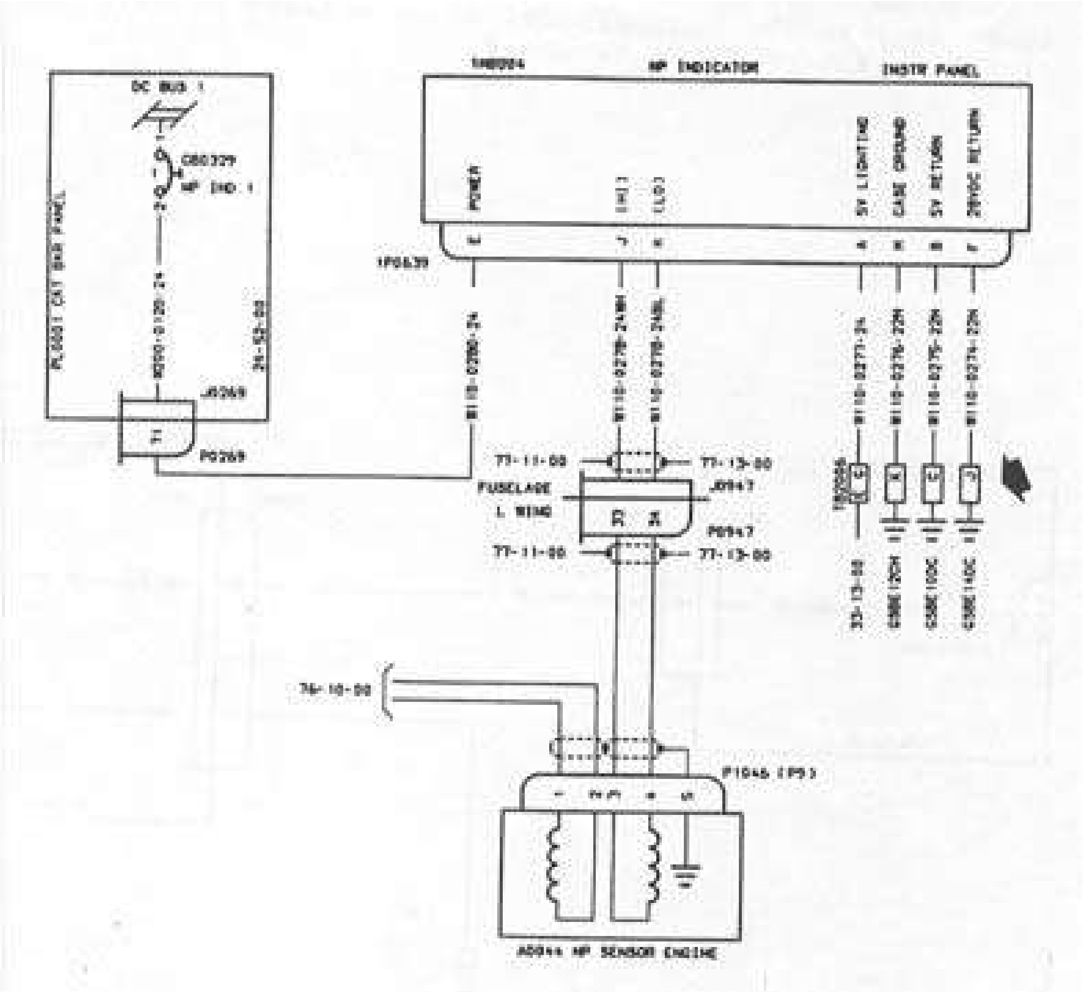

DC BUS 1
CB0329
NP IND 1
J0269
P0269
NP INDICATOR
INSTR PANEL
POWER
(HI)
(LO)
5V LIGHTING
CASE GROUND
5V RETURN
28VDC RETURN
1P0639
77-11-00
77-13-00
FUSELAGE
L WING
J0947
P0947
76-10-00
P1046 (P5)
A0044 NP SENSOR ENGINE

Figura 6-78 Diagrama do circuito de aterramento por módulos

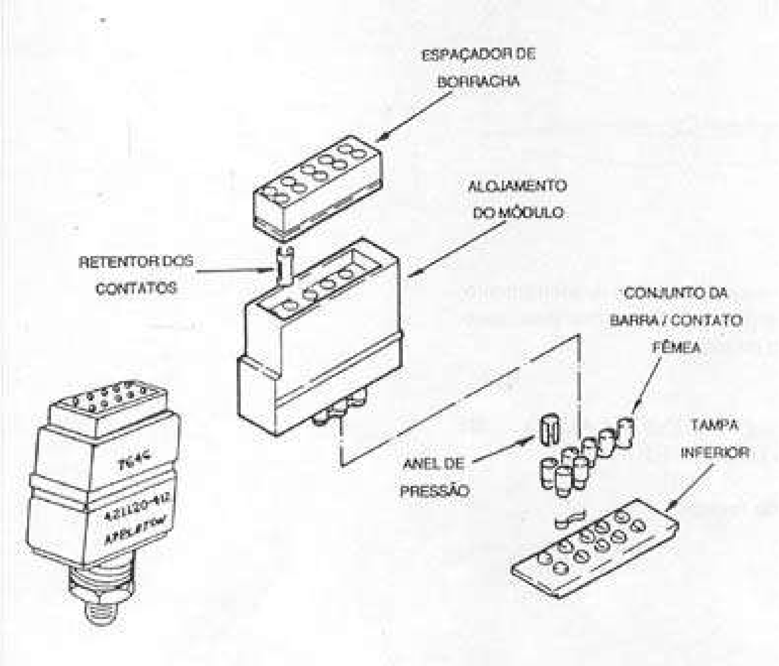

ESPAÇADOR DE BORRACHA
ALOJAMENTO DO MÓDULO
RETENTOR DOS CONTATOS
CONJUNTO DA BARRA / CONTATO FÊMEA
ANEL DE PRESSÃO
TAMPA INFERIOR
764C
421120-412

Figura 6-79 Módulo de aterramento

Características

- Espaçador de borracha vermelha com silicone.
- Capacidade de isolamento:

a) 1500 volts RMS ao nível do mar.

b) 600 volts RMS a 70000 pés.

- Porca e arruelas de pressão e plana para fixação.
- Contatos de liga de cobre folheados a ouro.
- Dependendo do modelo usado a faixa de corrente é de 5 a 17 amperes.

O módulo de aterramento possui letras indicativas que são as mesmas mostradas no símbolo do diagrama elétrico.

Os contatos, o pino e a ferramenta para inserção ou extração do mesmo, são apresentados na figura 6-80

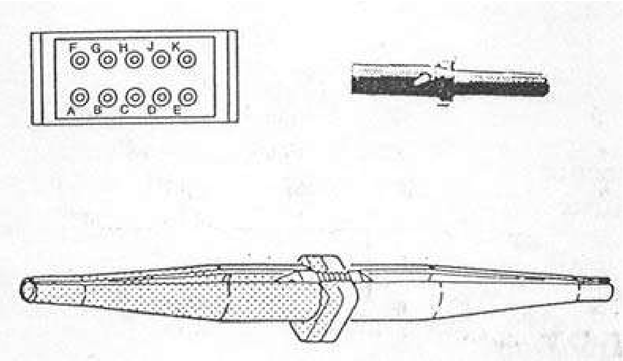


Figura 6-80 Contatos do módulo de aterramento, tipo de pino e ferramenta para inserção ou remoção

CUIDADOS NA INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTO ELÉTRICO

Esta parte fornece os procedimentos e medidas de segurança para instalação de componentes e equipamentos elétricos, comumente usados.

Os limites de carga elétrica, meios aceitáveis de controle ou monitoramento e dispositivos de proteção do circuito, são assuntos com os quais os mecânicos devem se familiarizar, para instalar adequadamente, e manter os sistemas elétricos do avião.

Limites de carga elétrica

Quando se instala equipamento elétrico adicional que consome força elétrica num avião, a carga elétrica total deverá ser seguramente controlada ou remanejada, dentro dos limites dos componentes afetados no sistema de alimentação do avião.

Antes que qualquer carga elétrica do avião seja aumentada, os fios associados, cabos e dispositivos de proteção de circuito (fusíveis ou disjuntores) deverão ser verificados para determinar se a nova carga elétrica (carga elétrica anterior mais a carga acrescentada) não excede aos limites estabelecidos dos fios existentes, cabos ou dispositivos de proteção.

Os valores de saída do gerador ou do alternador determinados pelo fabricante devem ser comparados às cargas elétricas, que podem ser impostas ao gerador ou alternador, afetado pelo equipamento instalado.

Quando a comparação mostrar que a carga elétrica total provável conectada excede os limtites de carga de saída dos geradores ou dos alternadores, a carga deverá ser reduzida para que não ocorra sobrecarga. Quando uma bateria fizer parte do sistema de força elétrica, devemos nos certificar de que ela está sendo continuamente carregada em vôo, exceto quando pequenas cargas intermitentes estiverem ligadas, tais como um transmissor de rádio, um motor de trem de pouso, aparelhos semelhantes, que podem solicitar cargas da bateria em curtos intervalos de tempo.

Controle ou monitoramento da carga elétrica

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo da bateria, e o sistema regulador limita a corrente máxima que o gerador ou o alternador pode distribuir, um voltímetro pode ser instalado na barra do sistema.

Enquanto o amperímetro não indicar “descarga” (exceto para pequenas cargas intermitentes, tais como as que operam trens de pouso e flapes), e o voltímetro permanecer indicando “voltagem do sistema”, o gerador ou alternador não estará sobrecarregado.

Nas instalações onde o amperímetro se encontra no cabo do gerador ou do alternador, e o regulador do sistema não limita a corrente máxima que o gerador ou alternador pode fornecer, o amperímetro pode ter um traço em vermelho em 100% da capacidade do gerador ou do alternador. Se a leitura do amperímetro nunca exceder a linha vermelha, exceto para pequenas cargas intermitentes, o gerador ou o alterndor não serão sobrecarregados.

Quando dois ou mais geradores funcionarem em paralelo, e a carga total do sistema puder exceder a capacidade de saída de um gerador deverão ser providenciados meios para corrigir rapidamente as sobrecargas súbitas que possam ser causadas por falha do gerador ou do motor. Poderá ser empregado um sistema de redução rápida de carga, ou um procedimento especificado, onde a carga total possa ser reduzida a um valor que esteja dentro da capacidade do gerador em operação.

As cargas elétricas devem ser conectadas aos inversores, alternadores ou fontes de força elétrica semelhantes, de maneira que os limites de capacidade da fonte de força não sejam excedidos, a menos que algum tipo de monitoramento efetivo seja fornecido para manter a carga dentro dos limites prescritos.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE CIRCUITOS

Os condutores devem ser protegidos com disjuntores ou fusíveis, localizados tão próximos quanto possível da barra da fonte de força elétrica. Geralmente, o fabricante do equipamento elétrico especifica o fusível ou disjuntor a ser usado, ao instalar o equipamento.

O disjuntor ou fusível deve abrir o circuito antes do condutor emitir fumaça. Para isto, a característica corrente/tempo do dispositivo de proteção deve cair abaixo da do condutor associado. As características do protetor do circuito devem ser igualadas para obter a utilização máxima do equipamento conectado.

A figura 6-81 mostra um exemplo da tabela usada na seleção do disjuntor e do fusível de proteção para condutores de cobre. Essa tabela limitada é aplicável a um conjunto específico de temperaturas ambientes, e bitolas dos fios dos chicotes e é apresentada somente como um exemplo típico.

Bitola do Fio AN de cobre	Amperagem Disjuntor	Fusível
22	5	5
20	7,5	5
18	10	10
16	15	10
14	20	15
12	30	20
10	40	30
8	50	50
6	80	70
4	100	70
2	125	100
1		150
0		150

Figura 6-81 Tabela do fio e do protetor do circuito

É importante se consultar tais tabelas antes que um condutor para uma finalidade específica seja selecionado. Por exemplo, um fio único ao ar livre pode ser protegido pelo disjuntor do próximo valor mais alto aquele mostrado na tabela.

Todos os disjuntores religáveis devem abrir o circuito no qual eles estão instalados, independentemente da posição do controle de operação quando ocorrer sobrecarga ou falha do circuito. Tais disjuntores são chamados de "desarme livre".

Os disjuntores religáveis não devem ser usados como dispositivos de proteção nos circuitos de aeronaves.

Fusíveis

Um fusível é uma tira de metal que fundirá sob excessivo fluxo de corrente, já que seu limite de condução é cuidadosamente pré-determinado.

O fusível é instalado no circuito de forma que toda a corrente flua através dele.

Em sua maioria, eles são feitos de uma liga de estanho e bismuto. Existem outros, que são chamados de limitadores de corrente; estes são usados primariamente para seccionar um circuito de aeronave.

Um fusível funde-se e interrompe o circuito quando a corrente excede a capacidade suportada por ele, mas um limitador de corrente suportará uma considerável sobrecarga, por um certo período de tempo. Como o fusível é destinado a proteger o circuito, é de suma importância que sua capacidade venha a coincidir com as necessidades do circuito em que seja usado.

Quando um fusível é substituído é preciso consultar instruções aplicáveis do fabricante para certificar-se quanto ao tipo correto de capacidade.

Os fusíveis são instalados em dois tipos de suportes na aeronave: "Plug-in holders", usados para fusíveis pequenos e de baixa capacidade; "Clip" é o tipo usado para fusíveis de grande capacidade e limitadores de corrente.

Disjuntores

Um disjuntor ou quebra-circuitos ("circuit breaker") é destinado a interromper o circuito e o fluxo de corrente quando a amperagem exceder um valor pré-determinado. É comumente usado no lugar de um fusível e pode, às vezes, eliminar a necessidade de um interruptor.

Um disjuntor difere de um fusível no fato de interromper rápido o circuito e poder ser religado, enquanto que um fusível funde e precisa ser substituído. Existem vários tipos de quebra circuitos, em geral, utilizáveis, em sistemas de aeronaves. Um é o tipo magnético. Quando flui excessiva corrente, produz-se força eletromagnética suficiente para movimentar uma pequena armadura que dispara o "breaker".

Um outro tipo é a chave de sobrecarga térmica, que consiste de uma lâmina bimetálica, que, quando sofre descarga de corrente se curva sobre a alavanca da chave provocando sua abertura. A maior parte dos quebra circuitos devem ser religados com a mão. Quando é religado, se as condições de sobrecarga ainda existirem, ele desligar-se-á novamente, prevenindo danos ao circuito.

DISJUNTORES DE CONTROLE REMOTO (RCCB)

Grande parte do peso de uma aeronave deve-se à fiação elétrica de distribuição de energia.

Geralmente, cabos de força vão do gerador aos sistemas individuais e cargas diversas, através de painéis de disjuntores, localizados na cabine de pilotagem. Essa cablagem pode atingir aproximadamente 100 metros, em alguns aviões.

A utilização do RCCB elimina muitos desses pesados cabos, pela sua localização próxima à fonte de força ou carga e pode ser controlado, remotamente da cabine. Por exemplo, num circuito de 75 ou 100 amperes, onde seriam utilizados fios (ou cabos) de bitola 6 ou 4, poderão ser usados fios de bitola 22 (mais leves e mais baratos), a fim de controlar o RCCB da cabine de pilotagem.

A economia de peso significa, também, economia no custo da aeronave.

O RCCB é, basicamente, o casamento de um relé e um disjuntor, que pode ser usado individualmente ou em combinação, dependendo da aplicação. Assim, ele pode ser utilizado como um simples relé, adjacente, à sua carga e remotamente operado, como a maioria dos relés, através de um fio de controle e de um comando diretamente da cabine.

O RCCB também pode ser utilizado como disjuntor, montado adjacente à sua carga ou fonte de força.

A figura 6-82 mostra uma representação simplificada do RCCB.

Para entender-se a sua operação interna examinemos uma parte de cada vez. A figura 6-83 mostra o motor o qual quando energizado (SET ou TRIPPED), resultará na operação típica da armadura.

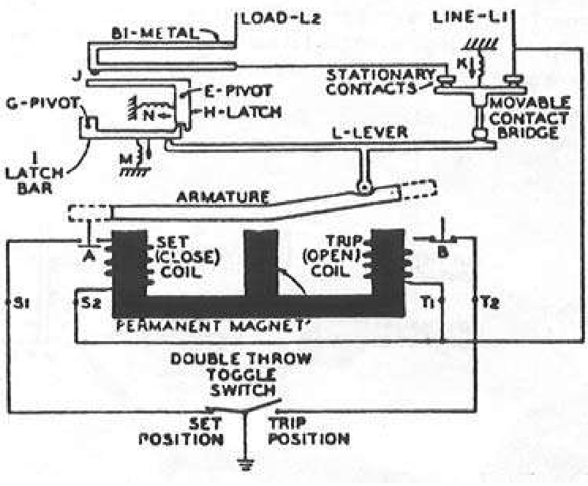


Figura 6-82 Representação simplificada do RCCB

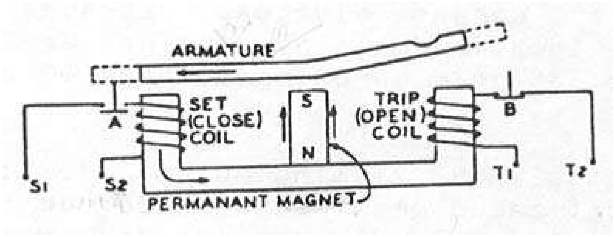


Figura 6-83 Motor do disjuntor

O circuito magnético utiliza um imã permanente que é também o ponto de apoio e de balanço para a armadura.

Em cada uma das duas extremidades estão instalados eletroimãs (bobinas) cuja finalidade é dar condições de mudança na posição da armadura (*Set* ou *Tripped*).

Na posição SET o fluxo magnético, gerado pelo imã permanente, passa pela armadura (no sentido da seta indicativa), pela extremidade esquerda do eletroimã e de volta ao imã permanente.

Quando a bobina T1-T2 é energizada, o fluxo magnético gerado é tal que flui através do imã permanente, na mesma direção do fluxo gerado por este.

Entretanto, o seu sentido, agora, é através do eletroimã (bobina) da direita, o qual aumenta em magnitude, á medida que a força é aplicada, ao mesmo tempo que o fluxo no eletro imã da esquerda torna-se bem menor.

Isto faz com que a armadura seja atraída para a bobina da direita transferindo os contatos.

O contato B (de ação rápida), em série com a bobina T1-T2, é feito pelo movimento mecânico da armadura.

Na figura 6-83, a linha pontilhada indica a extensão da armadura, o que representa o atuador mecânico dos contatos A e B.

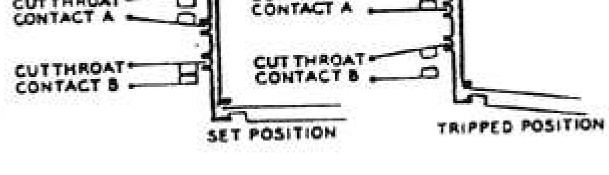


Figura 6-84 Contatos do disjuntor

A abertura do contato B ocorre nos últimos instantes do movimento da armadura após o que, pela força magnética combinada com a inércia do seu movimento, a armadura cola no núcleo da bobina da direita.

Agora o dispositivo encontra-se numa posição estável, na qual observam-se as seguintes condições:

a) contato A fechado e contato B aberto;

b) a armadura está colada na parte direita do eletroimã (bobina da direita).

Se a bobina S1-S2 for energizada, a armadura voltará à sua posição original, através de um processo idêntico ao descrito, embora em sentido oposto.

Funcionamento do RCCB como relé

Afim de melhor analisar este funcionamento, recorra aos detalhes A e B da figura 6-85.

No detalhe A, o RCCB está na posição SET e, em B, na posição TRIPPED, ou seja, na posição original (atuado).

A rota do circuito é de L2, através do bimetal, para um dos contatos estacionários.

L1 está conectada diretamente ao outro contato estacionário.

A ponte móvel fecha o circuito através de seus contatos.

O movimento da armadura determina a posição dos contatos.

Se a bobina S1-S2 for energizada, de modo que a armadura seja colocada no polo esquerdo (detalhe A) o sistema de ligação fecha os contatos.

Se, ao contrário, a bobina T1-T2 for energizada, a armadura colar-se-á no polo da direita (detalhe B) e os contatos do relé serão abertos, pela força exercida pela mola K.

Note que na operação como relé, o ponto C é fixo, mesmo quando a alavanca L se movimenta, fechando ou abrindo os contatos.

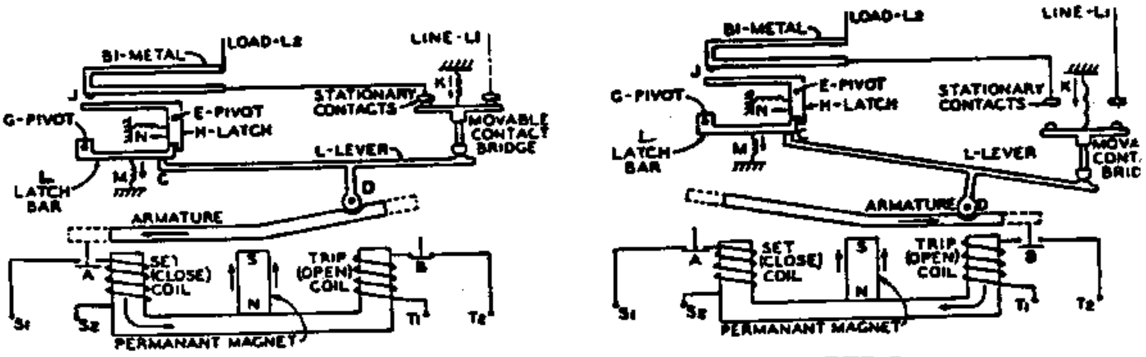

BI-METAL
LOAD-L2
LINE-L1
J
K
G-PIVOT
E-PIVOT
H-LATCH
N
STATIONARY CONTACTS
MOVABLE CONTACT BRIDGE
L LATCH BAR
M
C
L-LEVER
D
ARMATURE
A
SET (CLOSE) COIL
S
N
TRIP (OPEN) COIL
B
S1
S2
T1
T2
PERMANANT MAGNET

FIGURE A

FIGURE B

Figura 6-85 Disjuntor nas posições “SET e “TRIPPED”

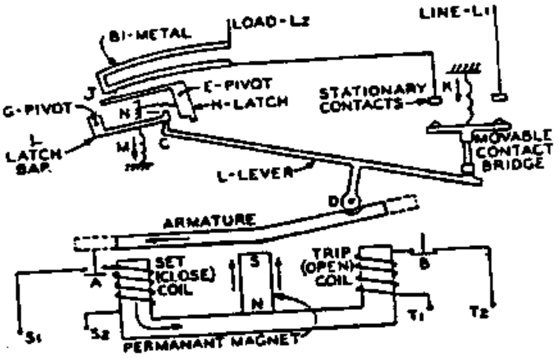

BI-METAL
LOAD-L2
LINE-L1
J
K
G-PIVOT
E-PIVOT
H-LATCH
N
STATIONARY CONTACTS
MOVABLE CONTACT BRIDGE
L LATCH BAR
M
C
L-LEVER
D
ARMATURE
A
SET (CLOSE) COIL
S
N
TRIP (OPEN) COIL
B
S1
S2
T1
T2
PERMANANT MAGNET

Figura 6-86 Funcionamento do RCCB como relé e como disjuntor

Funcionamento do RCCB como disjuntor

A fim de analisar este funcionamento recorra aos detalhes A e B da figura 6-85 e à figura 6-86

No detalhe A o dispositivo é mostrado na posição de contato fechado, suportando uma determinada corrente.Caso ocorra uma sobrecarga, uma corrente elevada fluirá através de L2, passando pelo bimetal, contato estacionário, contatos de ponte móvel, outro contato estacionário, saindo para a bobina L1.

Dependendo do valor da sobrecarga, o bimetal começará a deflexionar-se, até que força o ponto J para baixo movendo o braço H, o qual retira o calço para o ponto C da alavanca L.

Nesta condição, L move-se circularmente para a direita, forçada pela mola K. Esse movimento, em torno de D, desloca o ponto C para cima, o qual manterá L nessa posição, mesmo que o bimetal volte ao normal.

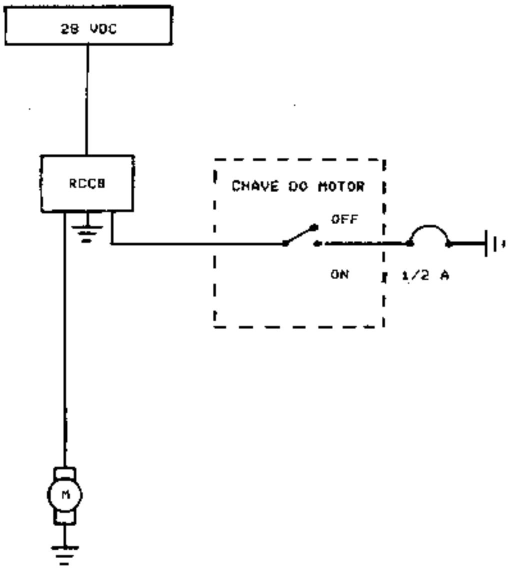

28 VDC
RCCB
CHAVE DO MOTOR
OFF
ON
1/2 A
M

Fig 6-87 Diagrama simplificado usando o RCCB

Para rearmar o dispositivo, será necessário energizar a bobina (T1 – T2) a fim de que L movimente-se e o ponto C, forçado pela mola M, volte ao normal, permitindo que H, forçado pela mola N, também volte à sua posição normal, como um calço para C (tudo isso acontece, supondo que a sobrecarga não mais exista e o bimetal, em situação normal, não esteja forçando o ponto J para baixo).

Desse modo, o RCCB agiu como um disjuntor, abrindo os contatos entre L2 e L1.

Para reposicionar (fechar) os contatos, basta energizar a bobina (S1-S2) e restabelecer a posição do mecanismo, conforme a figura 6-85A. Caso a sobrecarga permaneça, a ação do bimetal causará a abertura dos contatos, exatamente como foi descrito.

Interruptores

Um interruptor projetado especificamente deve ser usado em todos os circuitos, onde um mau funcionamento de um interruptor seria perigoso.

Tais interruptores são de construção robusta e possuem capacidade de contato suficiente para interromper, fechar e conduzir continuamente a carga da corrente conectada; o do tipo de ação de mola é geralmente preferido para se obter abertura e fechamento rápidos, sem considerar a velocidade de operação da alavanca, o que, conseqüentemente, diminui o centelhamento dos contatos.

O valor da corrente nominal do interruptor convencional do avião está geralmente estampado no seu alojamento. Este representa o valor da corrente de trabalho com os contatos fechados. Os interruptores devem ter reduzida a capacidade nominal de corrente para os seguintes tipos de circuitos:

Circuitos de Alta-Intensidade Inicial - Os circuitos que possuem lâmpadas incandescentes podem puxar uma corrente inicial 15 vezes maior do que a corrente de trabalho. A queima ou fusão do contato pode ocorrer quando o interruptor for fechado.

Circuitos Indutivos - A energia magnética armazenada nas bobinas dos solenóides ou dos relés é liberada, e aparece sob forma de arco quando o interruptor de controle for aberto.

Motores - Os motores de corrente contínua puxarão diversas vezes sua corrente nominal de trabalho durante a partida, e a energia magnética armazenada no seu rotor e nas bobinas de campo será liberada quando o interruptor de controle for aberto.

A tabela da figura 6-88 é similar às encontradas para seleção do valor nominal apropriado do interruptor, quando a corrente da carga de trabalho for conhecida. Essa seleção é essencialmente uma redução da capacidade normal de carga para se obter uma razoável vida útil, e eficiência do interruptor.

Os erros prejudiciais na operação do interruptor podem ser evitados por uma instalação consistente e lógica.

VOLTAGEM NOMINAL DO SISTEMA	**TIPO DE CARGA**	**FATOR "DERATING"**
4V.C.C	Lâmpada	8
24V.C.C	Indutiva (Relé ou Solenoide)	4
24V.C.C	Resistiva (aquecedor)	2
24V.C.C	Motor	3
12V.C.C	Lâmpada	5
12V.C.C	Indutiva (Relé ou Solenoide)	2
12C.C.C	Resistiva (Aquecedor)	1
12C.C.C	Motor	2

Figura 6-88 Fatores de redução da carga dos interruptores

Os interruptores de duas posições "liga-desliga" devem ser instalados de modo que a posição "liga" seja alcançada movimentando-se a alavanca para cima ou para frente. Quando o interruptor controlar partes móveis do avião, tais como trem de pouso ou flapes, a alavanca deve mover-se no mesmo sentido que o movimento desejado.

A operação acidental de um interruptor pode ser evitada instalando-se uma guarda adequada sobre o mesmo.

Relés

Os relés são usados como interruptores, onde se possa obter redução de peso ou simplificação dos controles elétricos.

Um relé é um interruptor operado eletricamente e, está, portanto, sujeito a falha sob condições de baixa voltagem no sistema. A apresentação anterior sobre os interruptores é geralmente aplicável para os valores de contato dos relés.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE AERONAVES

Os sistemas de iluminação de aeronaves fornecem iluminação para uso externo e interno. As luzes da parte externa proporcionam iluminação para tais operações como pousos noturnos, inspeção das formações de gelo e segurança, para evitar colisão das aeronaves em vôo. A iluminação interna fornece iluminação para os instrumentos, cabine de comando, cabines e outras seções ocupadas pela tripulação e passageiros.

Certas luzes especiais, tais como luzes indicadoras e de aviso, indicam a situação operacional do equipamento.

Luzes Internas

Cada tipo de aeronave está equipada com sistemas de iluminação interna específios, quanto a localização, quantidade e tipo de luzes e interruptores. No entanto, conservam um determinado padrão quanto às denominações dos circuitos. De um modo geral os circuitos elétricos são os seguintes:

- Iluminação da cabine de pilotagem
- Iluminação dos painéis e dos instrumentos
- Protetores de mapas
- Iluminação da cabine de passageiros
- Luzes dos sanitários e bagageiros
- Iluminação controlada pelos passageiros
- Luzes de aviso
- Luzes de porta principal e de emergência

Cada sistema é protegido por disjuntores e comandados por interruptores localizados em locais de fácil acesso.

Luzes Externas

As luzes de posição, de anticolisão e de taxi, são exemplos comuns de luzes externas das aeronaves.

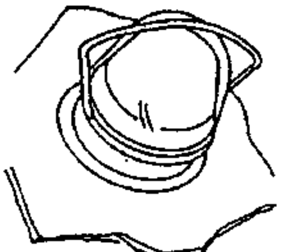
Algumas luzes, tais como as de posição, as de inspeção das asas e as de anticolisão, são necessárias para as operações noturnas.

Luzes de posição - A aeronave que opera à noite deve ser equipada com luzes de posição que se enquadrem nas recomendações mínimas especificadas pelo FAA (Federal Aviation Regulations). Um conjunto de luzes de posição consiste de uma luz vermelha, uma verde e uma branca. As luzes de posição são, às vezes, chamadas de "luzes de navegação". Em muitos aviões, cada unidade de luz contém uma única lâmpada instalada sobre a superfície do avião (A da figura 6-.89)

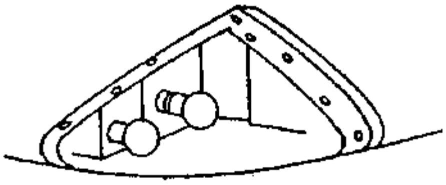
Outros tipos de unidade de luz de posição contêm duas lâmpadas (B da figura 6-89) e, freqüentemente, ficam faceadas com a superfície da estrutura do avião.

A unidade de luz verde é sempre instalada na ponta da asa direita. A unidade de luz vermelha está instalada numa posição semelhante na asa esquerda.

A unidade branca é geralmente instalada no estabilizador vertical numa posição onde seja claramente visível através de um ângulo bem aberto, pela traseira do avião. As lâmpadas da ponta de asa, e as lâmpadas da cauda, são controladas por um interruptor de duas posições na cabine de comando.



A - Luz de posição, da cauda



B - Luz de posição, da ponta da asa

Figura 6-89 luzes de posição

Na posição “atenuado”, o interruptor liga um resistor em série com as lâmpadas. Visto que o resistor reduz o fluxo da corrente, a intensidade da luz é reduzida.

Para aumentar a intensidade da luz, o interruptor é colocado em “brilhante”, a resistência é curto-circuitada, e as lâmpadas brilham intensamente. Em alguns tipos de instalações, um interruptor na cabine de comando permite operação contínua ou pisca-pisca das luzes de posição.

Durante a operação pisca-pisca, um mecanismo é geralmente instalado no circuito da luz de posição.

Ele consiste, essencialmente, de um eixo acionado por um motor elétrico, no qual estão instalados dois cames ou ressaltos e um mecanismo de transferência, constituído de dois braços de platinados e dois parafusos de contato. Um braço de platinado fornece corrente CC ao circuito das luzes de posição de asa, através de um parafuso de contato; e outro abastece o circuito de luz da cauda, através de outro parafuso de contato. Quando o motor gira, ele aciona o eixo de cames através de um conjunto de engrenagens de redução, e faz com que os cames operem o interruptor, o qual abre e fecha circuitos de luz da cauda e asas alternadamente.

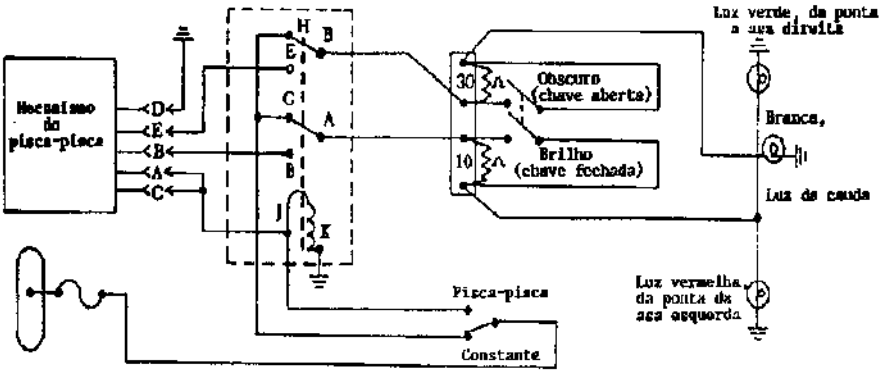

Mecanismo do pisca-pisca
D
E
B
A
C
H
B
E
C
A
B
J
K
30
10
Obscuro (chave aberta)
Brilho (chave fechada)
Luz verde, da ponta a asa direita
Branca,
Luz da cauda
Luz vermelha, da ponta da asa esquerda
Pisca-pisca
Constante

Fig 6-90 Circuito das luzes de posição

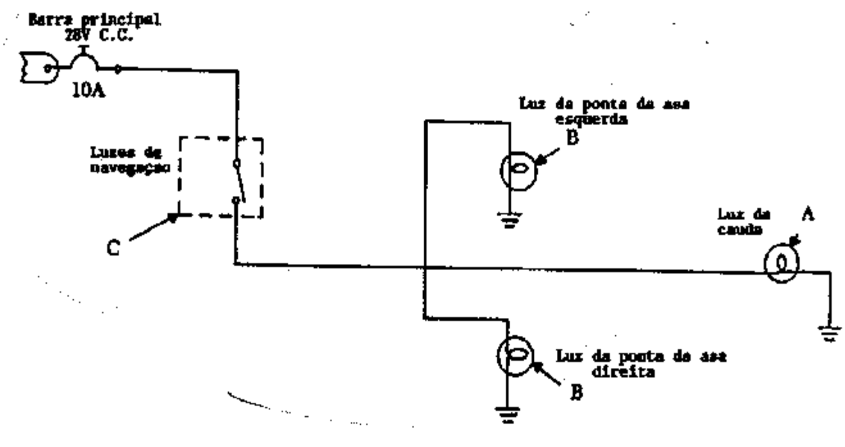

Barra principal 28V C.C.
10A
Luzes de navegação
C
Luz da ponta da asa esquerda
B
Luz da cauda
A
Luz da ponta de asa direita
B

Figura 6-91Circuito das luzes de posição sem pisca-pisca

A figura 6-90 é um esquema simplificado de um circuito de luzes de posição e a figura 6-91 mostra o diagrama esquemático de um outro tipo de circuito de luzes de posição. O controle das luzes de posição, feito por um único interruptor de duas posições "liga-desliga", proporciona somente iluminação fixa. Não há pisca-pisca, nem reostato de redução da intensidade.

Há, certamente, muitas variações de circuitos de luz de posição usados em diferentes aviões. Todos os circuitos são protegidos por fusíveis ou disjuntores, e muitos circuitos incluem equipamento de redução da intensidade da luz e de pisca-pisca. Outros circuitos são ligados para energizar um relé especial de redução de intensidade das luzes de aviso, o qual reduz perceptivelmente a intensidade de todas as luzes de posição quando são acesas.

Os aviões de pequeno porte são equipados com um interruptor de controle e circuitos simplificados. Em alguns casos, um botão de controle ou um interruptor é usado para ativar vários conjuntos de luzes; por exemplo, um tipo utiliza um botão de controle cujo primeiro movimento ativa as luzes de posição e as luzes do painel de instrumentos. A rotação seguinte do botão de controle aumenta somente a intensidade das luzes do painel.

Uma unidade pisca-pisca é raramente encontrada no conjunto de luzes de posição de aviões muito leves, mas é usado em aviões bimotores de pequeno porte.

Luzes de anticolisão

Um sistema de luz de anticolisão pode consistir de uma ou mais luzes. Elas são feixes de luz móvel, que se acham instaladas no topo da fuselagem ou na cauda, numa localização tal, que a luz não afeta a visão dos tripulantes nem diminuirá a visibilidade das luzes de posição. Em alguns casos, uma das luzes fica instalada no ventre da fuselagem.

O meio mais simples de instalar uma luz de anticolisão é fixá-la a um painel reforçado de revestimento da fuselagem, como apresentado na figura 6-92

Uma luz de anticolisão acha-se freqüentemente instala no topo do estabilizador vertical, se a seção transversal do estabilizador for suficientemente grande para acomodar a instalação, e se as características de vibração e ondulação não forem adversamente afetadas.

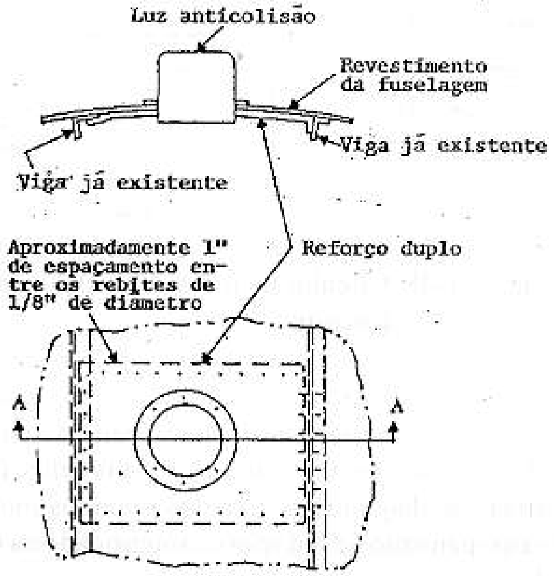

Luz anticolisão
Revestimento da fuselagem
Viga já existente
Viga já existente
Aproximadamente 1" de espaçamento entre os rebites de 1/8" de diametro
Reforço duplo
A
A

Figura 6-92 Instalação típica da luz de anticolisão num painel de revestimento não pressurizado

Tais instalações devem ser localizadas próximo de uma longarina, acrescentando-se falsas nervuras de acordo com a necessidade para reforçar a estrutura junto à luz.

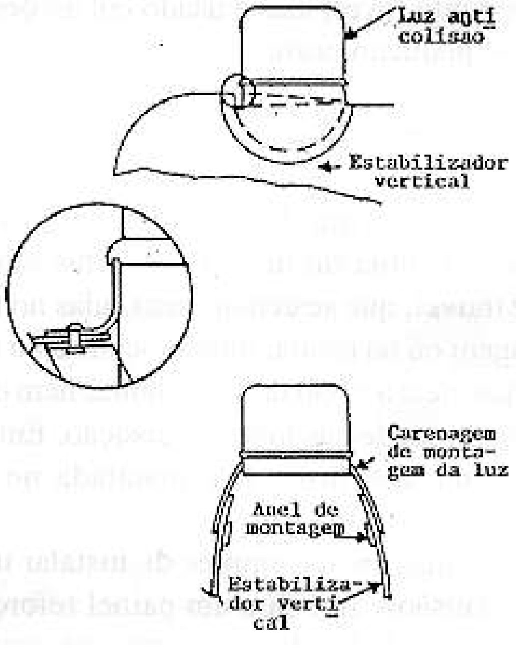

Luz anti colisao
Estabilizador vertical
Carenagem de montagem da luz
Anel de montagem
Estabilizador vertical

Figura 6-93 Instalação típica de luz de anticolisão no estabilizador vertical.

Uma unidade de luz de anticolisão consiste geralmente de uma ou duas luzes rotativas operadas por um motor elétrico.

A luz pode ser fixa, mas instalada sob espelhos giratórios dentro de uma proteção de vidro vermelho saliente. Os espelhos giram num arco e a razão do pisca-pisca das luzes está entre 40 e 100 ciclos por minuto (ver a figura 6-94).

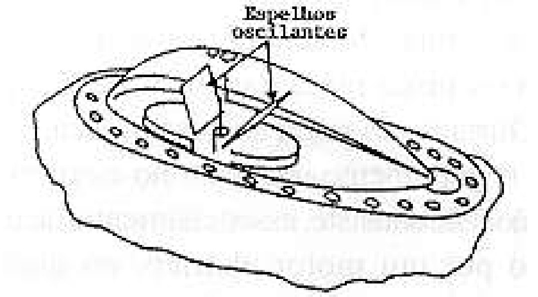


Figura 6-94 Luz de anticolisão

A luz de anticolisão é uma luz de segurança para alertar outro avião, principalmente em áreas congestionadas.

Luzes de Pouso

As luzes de pouso acham-se instaladas no avião para iluminar as pistas durante os pousos noturnos. Essas luzes são muito fortes, e são direcionadas por um refletor parabólico num ângulo que proporciona uma alcance máximo de iluminação.

As luzes de pouso geralmente estão localizadas na parte mediana do bordo de ataque de cada asa, ou faceadas na superfície do avião. Cada luz pode ser controlada por um relé, ou pode ser ligada diretamente no circuito elétrico.

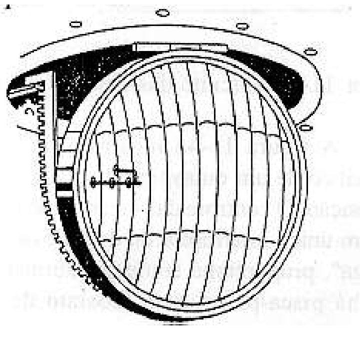


Figura 6-95 Luz de pouso retrátil

Conforme mostra a figura 6-96, o tipo de luz de pouso retrátil possui um motor reversível.

Sabendo-se que o gelo nas lentes das lâmpadas reduz a qualidade de iluminação das mesmas, algumas instalações utilizam lâmpadas de pouso retráteis (figura 6-95). Quando as lâmpadas não estão em uso, um motor as retrai para receptáculos existentes na asa, onde as lentes não ficam expostas ao ar.

Dois dos terminais do enrolamento de campo estão conectados aos dois terminais externos do interruptor de controle do motor, através dos pontos de contato C e D; enquanto o terminal central conecta a uma das duas escovas do motor.

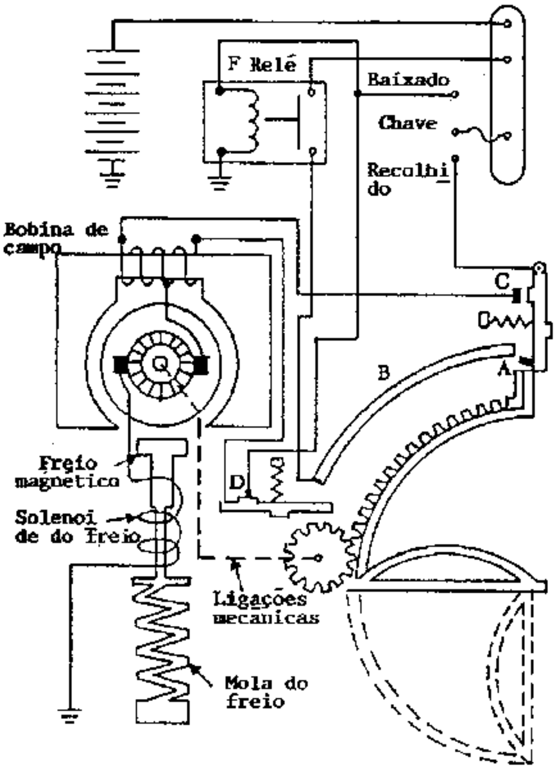


Fig. 6-96 Circuito e mecanismo da luz de pouso

As escovas ligam o motor e o solenóide do freio magnético com o circuito elétrico. Os pontos de contatos C são mantidos abertos pelo quadrante dentado do mecanismo da lâmpada. Os pontos de contato D são mantidos fechados pela tensão da mola à direita dos contatos. Isto é um arranjo típico de um circuito de lâmpada de pouso quando a lâmpada está retraída e o interruptor de controle está na posição desligado.

Nenhuma corrente flui no circuito e, nem o motor nem a lâmpada podem ser energizados.

Quando o interruptor de controle for colocado na posição superior, ou "estender" (figura 6-96), a corrente da bateria fluirá através dos contatos fechados do interruptor, dos contatos fechados do contato D, do terminal central do enrolamento de campo, e do próprio motor.

A corrente através do circuito do motor, energiza o solenóide do freio, que afasta a sapata do freio do eixo do motor, permitindo que o motor gire e baixe o mecanismo da lâmpada.

Depois que o mecanismo da lâmpada se desloca cerca de 10º, o contato A é ligado e desliza ao longo da barra de cobre B.

Neste meio tempo, o relé F é energizado e seu contato se fecha. Isto permite que a corrente flua através da barra de cobre B, do contato A, e da lâmpada.

Quando o mecanismo da lâmpada estiver completamente abaixado, a saliência no topo do quadrante dentado afastará os contatos D, abrirá o circuito do motor, e fará com que o solenóide do freio desnergizado se solte.

O freio é forçado contra o eixo do motor pela mola, parando o motor e completando a operação de arriamento.

Para retrair a luz de pouso, o interruptor de controle é colocado na posição "retrair" (figura 6-96).

Os circuitos do motor e do freio são completados através dos pontos de contato C, visto que estes contatos estarão fechados quando o quadrante dentado estiver arriado. Esta ação completa o circuito, libera o freio, aciona o motor (desta vez no sentido oposto) e o mecanismo da luz de pouso é retraído.

Visto que a ligação para retrair interrompe o circuito do relé F, os contatos do relé abrem-se, desligando a barra de cobre e provocando o apagamento da luz de pouso.

Quando o mecanismo estiver completamente retraído, os pontos de contato C e o circuito para o motor serão interrompidos novamente, o freio aplicado; e o motor parado.

Em alguns aviões são empregadas luzes de pouso retráteis que podem permanecer distendidas em qualquer ponto de sua extensão.

As luzes de pouso usadas nos aviões de alta velocidade são geralmente equipadas com um sensor de velocidade, que evita a extensão das luzes de pouso em velocidades excessivas.

Tais sensores também provocam a retração das luzes de pouso se o avião exceder uma velocidade pré-determinada.

A maioria dos aviões de grande porte são equipados com quatro luzes de pouso, das quais duas são fixas e duas são retráteis. As luzes fixas acham-se geralmente localizadas nas áreas da raiz da asa ou junto a parte externa da fuselagem, no bordo de ataque de cada asa. As duas luzes retráteis acham-se geralmente localizadas na superfície externa inferior de cada asa e, são, normalmente, controladas por interruptores distintos.

Em alguns aviões, a luz fixa acha-se instalada numa área com a luz de táxi, como apresenta a figura 6-97.

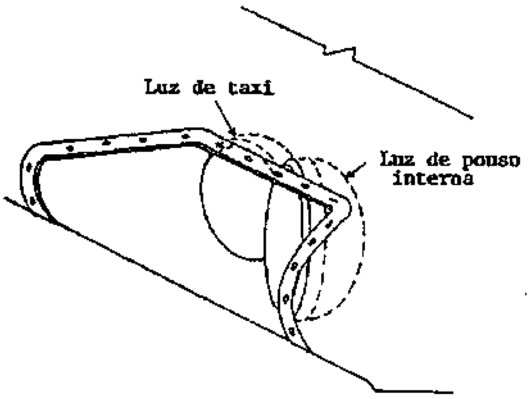


Figura 6.97 Luz de pouso fixa e luz de taxi

Luzes de Táxi

As luzes de táxi têm como finalidade fornecer iluminação no solo durante o reboque do avião, na pista de táxi, na pista de pouso e decolagem, ou no hangar.

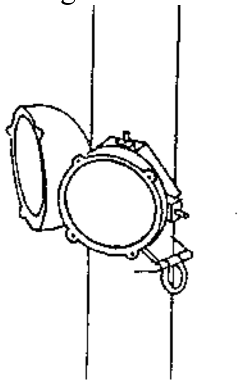


Figura 6-98 Luzes de taxi instaladas na parte fixa do trem de nariz

As luzes de táxi não são apropriadas para fornecer o grau de iluminação necessária como as luzes de pouso; as luzes de táxi de 150 a 250 watts são usadas na maioria dos aviões de porte médio e grande. Nos aviões com trem de pouso triciclo, as luzes de táxi (única ou dupla) acham-se instaladas na parte não direcional do trem de pouso no nariz. Como mostra a figura 6-98, elas estão posicionadas em ângulos oblíquos com a linha central do avião, para fornecer iluminação diretamente, em frente do avião, e ainda alguma iluminação à direita e à esquerda do mesmo. As luzes de táxi são montadas também em áreas de recesso do bordo de ataque da asa, sempre na mesma área com uma luz de pouso fixa.

Muitos aviões de pequeno porte são são equipados com qualquer tipo de luz de táxi, mas o uso intermitente de uma luz de pouso é essencial para iluminar durante as operações de taxiamento.

Ainda, outros aviões utilizam um resistor redutor de intensidade no circuito de luz de pouso para fornecer iluminação reduzida durante o taxiamento. Um circuito típico com luzes de táxi duplas é mostrado na figura 6-99

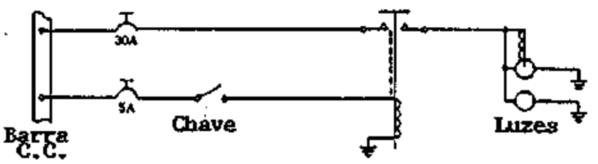


Figura 6-99 Circuito típico de luz de taxi

Alguns aviões de grande porte são equipados com luzes de táxi alternativas localizadas na superfície inferior do avião, atrás do radome do nariz. Essas luzes, operadas por um interruptor separado das luzes principais de táxi, iluminam a área imediatamente na frente e abaixo do nariz do avião.

Luzes de Inspeção das Asas

Algumas aeronaves são equipadas com luzes de inspeção da asa para o bordo de ataque das asas, e para permitir a observação de formação de gelo e condição geral destas áreas em vôo.

Em alguns aviões, o sistema de luz de inspeção da asa (também chamada de luzes de gelo da asa) consiste de uma luz de 100 watts faciada no lado externo de cada nacele à frente da asa.

Essas luzes permitem a detecção visual da formação de gelo nos bordos de ataque da asa durante o vôo noturno. Elas também são usadas freqüentemente como projetores durante os serviços gerais no solo. Geralmente, são controladas por um relé através de um interruptor de alavanca liga-desliga na cabine de comando.

Alguns sistemas de luz de inspeção da asa podem incluir ou serem suplementados por luzes adicionais, algumas vezes chamadas de luzes da nacele, que iluminam áreas adjacentes, tais como os flapes de capota ou o trem de pouso. Estas são normalmente do mesmo tipo de luzes, e podem ser controladas pelos mesmos circuitos.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Procedimentos

A inspeção dos sistemas de iluminação do avião normalmente consiste em checar a condição e a segurança de toda fiação visível, conexões, terminais, fusíveis e interruptores. Uma lâmpada de continuidade ou um medidor pode ser usado para executar estes testes, visto que a causa de muitas panes pode sempre ser localizada por testes sistemáticos de continuidade de cada circuito.

Todas as lentes e refletores das luzes devem ser mantidos limpos e polidos. Os refletores nebulosos são geralmente provocados por entrada de ar ao redor das lentes.

A condição do composto selante ao redor da moldura das luzes de posição deve ser inspecionada regularmente. Os vazamentos ou fendas devem ser reparados com um composto selante apropriado.

Toma-se todo cuidado ao instalar uma lâmpada nova num conjunto de luz, visto que muitas lâmpadas se adptam numa única posição do soquete, e um esforço excessivo pode provocar um circuito aberto ou incompleto no soquete.

O teste do circuito, comumente conhecido como pesquisa de pane, é uma maneira sistemática de localizar as falhas de um sistema elétrico. Essas falhas são geralmente de três tipos:

1 - Circuitos abertos, nos quais os fios estão quebrados.
2 - Curtos-circuitos, nos quais os fios em curto fazem com que a corrente retorne à massa indevidamente.
3 - Baixa voltagem nos circuitos faz com que as luzes acendam fracamente, e os réles vibrem. As panes elétricas podem ocorrer na unidade ou na fiação. Se panes como estas forem cuidadosamente analisadas, e as providências sistemáticas forem tomadas para localizá-las, não apenas muito tempo e energia poderão ser poupados, como também poderão ser evitados danos aos dispendiosos equipamentos de teste.

O equipamento geralmente usado nos testes dos circuitos de iluminação do avião consiste de um voltímetro, uma lâmpada de teste, um medidor de continuidade e um ohmímetro.

Embora qualquer modelo de voltímetro CC, com fios flexíveis e pontas de teste, seja satisfatório para testar os circuitos; geralmente são usados os voltímetros portáteis especialmente projetados para teste.

A lâmpada de teste consiste de uma luz de avião de baixa voltagem. Dois fios são usados com essa luz.

Os medidores de continuidade variam entre si. Um tipo consiste de uma pequena lâmpada conectada em série com duas pilhas pequenas (as pilhas de lanterna são bem adequadas) e duas pontas (ver o detalhe A da figura 6-100). Um outro tipo de medidor de continuidade contém duas baterias conectadas em série com um voltímetro CC e duas pontas de teste.

Um circuito completo será registrado pelo voltímetro.

Sempre que o gerador ou a bateria estiver disponível, o voltímetro e a lâmpada de teste poderão ser usados no teste do circuito, visto que estas fontes de energia ativarão a lâmpada de teste e o voltímetro.

Se nenhuma força elétrica estiver disponível (o circuito está morto), então o medidor de continuidade será usado. As pilhas contidas no medidor provocam o fluxo de corrente através do circuito, fazendo com que o medidor de continuidade indique quando o circuito em teste está perfeito.

Ao se usar o medidor de continuidade, o circuito em teste deve sempre ser isolado dos outros circuitos, retirando-se o fusível,. Abrindo-se o interruptor ou desligando-se os fios.

A figura 6-100 ilustra técnicas que podem ser usadas na verificação dos circuitos. O medidor de continuidade contém uma lâmpada que serve como indicador.

Quando as pontas de teste entram em contato, um circuito completo é criado e a luz indicadora acende.

Quando as pontas entram em contato com o resistor, ou outro elemento do circuito, como mostrado na figura 6-100, a luz não acenderá, indicando que o circuito em teste está aberto.

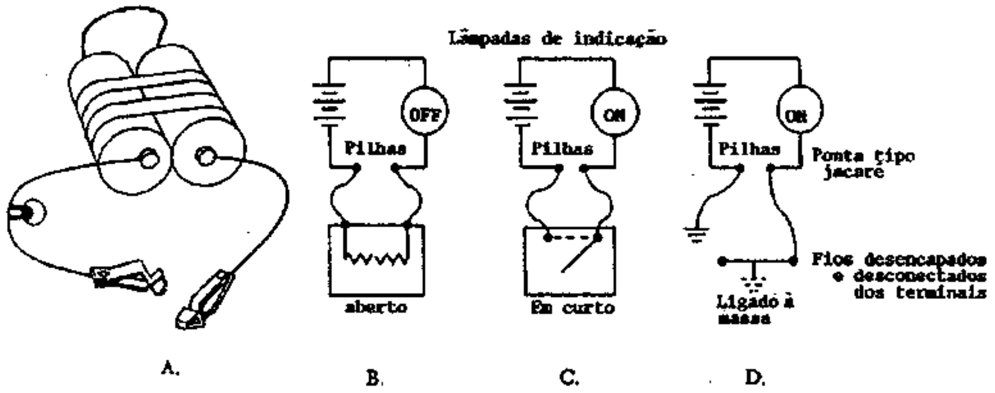


Fig 6-100 Teste com um medidor de continuidade

Para que o teste de circuito aberto seja conclusivo, têm-se a certeza de que a resistência da unidade testada é suficientemente baixa para permitir que a lâmpada acenda. Num teste onde a resistência é muito alta, geralmente maior do que 10 ohms, liga-se um voltímetro no circuito em substituição a lâmpada. Se o ponteiro do voltímetro não deflexionar, o circuito aberto está confirmado. O teste para curtos-circuitos (da figura 6-100) mostra o medidor de continuidade ligado nos terminais de um interruptor na posição desligado. Se a lâmpada do medidor acender, haverá um curto-circuito no interruptor.

Para verificar se há um fio em curto para a massa, em algum ponto entre seus terminais, desconeta-se o fio em cada extremidade, e liga-se um CLIP jacaré no fio em uma extremidade, e outro CLIP do medidor à massa (D da figura 6-100). Se o fio estiver em curto, a lâmpada acenderá. Para localizar a ligação à massa, são feitos testes por seções em direção a outra extremidade. A iluminação da lâmpada indicará a seção do fio em que está ligada à massa.

O ohmímetro, embora construído basicamente para medir resistência, é útil para testar continuidade.

Com um ohmímetro, a resistência de um circuito de iluminação pode ser determinada diretamente pela escala. Visto que um circuito aberto possui resistência infinita, uma leitura zero no ohmímetro usa pilha como fonte de voltagem. Há resistores fixos, com valores tais que, quando as pontas de testes são curto-circuitadas, o medidor registrará a escala completa.

O resistor variável, em paralelo com o medidor, e os resistores fixos compensam as variações de voltagem na pilha. O resistor variável fornece um ajuste zero no medidor do painel de controle.

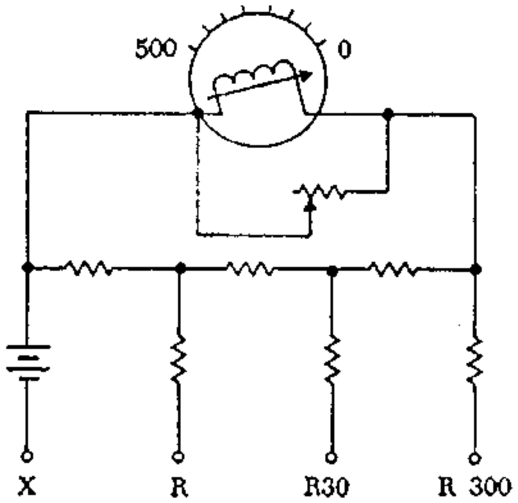


Figura 6-101 Circuito interno típico de um ohmímetro

No medidor pode haver diversas escalas, tornadas possíveis por diversos valores de resistência e voltagem da bateria.

A escala desejada é selecionada por um seletor no mostrador do ohmímetro.

Cada escala registra resistências baixas na extremidade superior. Quanto maior for a resistência indicada num circuito, menor será a deflexão do indicador na escala.

Quando se utiliza um ohmímetro para verificar a continuidade, liga-se as pontas em série com o circuito. Uma leitura de zero ohm indica continuidade do circuito. Para se checar a resistência, deve ser escolhida uma escala que incorpore a resistência do elemento a ser medido. Em geral, deve ser selecionada uma escala na qual a leitura caia na metade superior da mesma. Curto-circuite as pontas e ajuste o medidor para registrar zero ohm pelo ajuste zero.

Se for feita uma mudança de escala a qualquer momento, devemos lembrar de reajustar o medidor para zero ohm. Quando os testes do circuito com o ohmímetro são feitos, não devemos tentar checar a continuidade ou medir a resistência de um circuito, enquanto ele estiver ligado a uma fonte de voltagem.

Desconectamos uma das extremidades de um elemento quando medirmos a resistência, de modo que o ohmímetro não registrará a resistência de circuitos paralelos.

O resumo, que se segue, de teste de continuidade dos circuitos de iluminação é recomendado, usando-se tanto um ohmímetro como qualquer tipo de medidor de continuidade:

1 - Inspecionar o fusível ou o disjuntor. Verificar se ele é o correto para o circuito a ser testado.
2 - Inspecionar a unidade elétrica (lâmpada).
3 - Se o fusível, o disjuntor e a lâmpada estiverem em boas condições, verificar o ponto mais acessível quanto à abertura ou curto no circuito.
4 - Nunca tentar adivinhar. Sempre localizar a pane no fio positivo de um circuito, na unidade operacional ou no fio negativo, antes de retirar qualquer equipamento ou fios.

Um voltímetro, com cabos flexíveis longos, fornece um método satisfatório e diferente de inspecionar a continuidade da fiação do sistema de iluminação num avião. A voltagem a ser testada pelo voltímetro é fornecida pela bateria do avião.

Os procedimentos seguintes indicam as etapas para inspeção da continuidade por um voltímetro, num circuito que consiste de uma bateria de 24 volts, um fusível, um interruptor e uma luz de pouso:

1 - Desenhar um diagrama simples da fiação do circuito a ser testado, como mostra a figura 6-102.

2 - Testar o fusível, pondo em contato a ponta positiva do voltímetro com a extremi-dade da carga do fusível, e a ponta negativa com a massa. Se o fusível estiver bom, haverá uma indicação no voltímetro. Se ele estiver queimado, deverá ser substituído. Se ele queimar novamente, o circuito está em curto com a massa. Verificar se o curto está na lâmpada, retirando o conector e substituindo o fusível; se ele queimar, o curto estará na linha. Entretanto, se desta vez, o fusível não queimar, o curto estará na lâmpada.

3 - Se o fusível estiver bom, o circuito estará aberto. Então, com a negativa do voltímetro ligado à massa, tocar a ponta positiva de ponto a ponto do circuito, seguindo o diagrama como guia. Testar cada junção do fio. A primeira leitura zero no voltímetro indica que há um circuito aberto entre o último ponto, na qual a voltagem era normal e o ponto da primeira leitura zero.

Na ilustração da figura 6-102, os circuitos abertos são causados por fusível aberto, filamento de lâmpada aberto e uma ligação de lâmpada aberto e uma ligação de lâmpada para massa interrompida

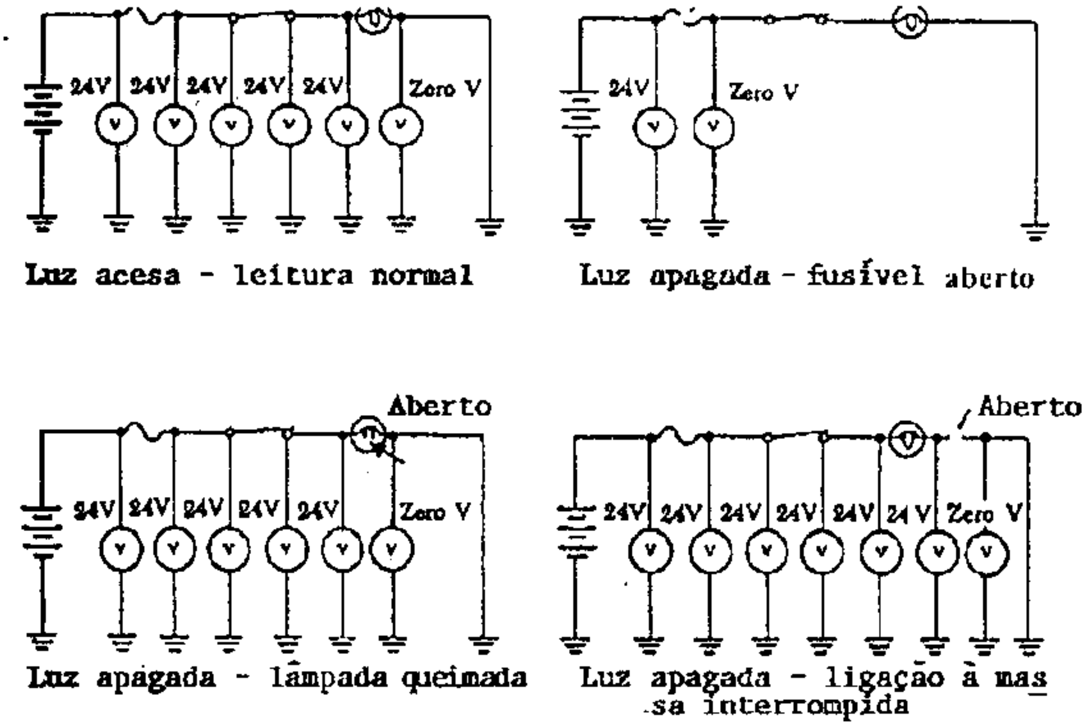

24V
24V
24V
24V
24V
Zero V
Luz acesa - leitura normal
24V
Zero V
Luz apagada - fusível aberto
Aberto
24V
24V
24V
24V
24V
Zero V
Luz apagada - lâmpada queimada
Aberto
24V
24V
24V
24V
24V
24 V
Zero V
Luz apagada - ligação à massa interrompida

Figura. 6-102 Teste de continuidade com um voltímetro

BATERIAS

Produção de Eletricidade por Meio de Reação Química

Se dois elementos condutores diferentes forem imersos em uma solução que os possa atacar quimicamente, desenvolver-se-á uma pressão elétrica denominada tensão elétrica. Se os elementos forem ligados externamente, uma corrente elétrica circulará por eles e, simultaneamente, dar-se-á uma transformação química em um dos elementos, pelo menos.

Deste modo, um elemento simples de bateria pode ser constituído de duas placas de metais diferentes, isoladas eletricamente, e elementos pertencem a duas classes: primária e secundária. Na figura 6-103 está representado, graficamente, um elemento simples de bateria.

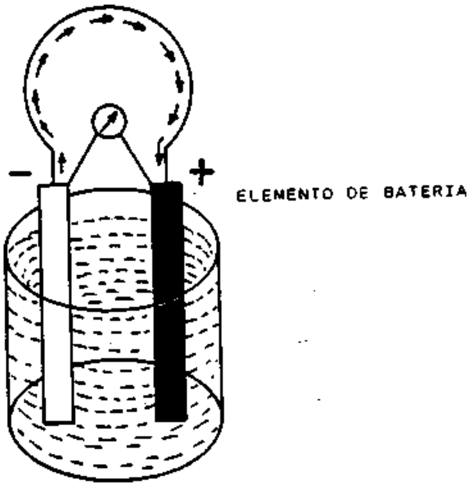


Figura 6-103 Elemento simples de bateria

Pilhas Primárias

As pilhas primárias, tais como a pilha seca comum ou pilha de lanterna, transformam a energia química em elétrica. São caracterizadas por não possuírem ação química reversível; uma vez descarregadas, tornam-se imprestáveis. Suas placas são constituídas de zinco (negativa) e carbono (positiva); seu eletrólito é constituído de uma solução de cloreto de amônia, no estado pastoso. Por conveniência, a placa de zinco é confeccionada no formato de um recipiente e a placa de carbono fica localizada no centro, tendo em sua volta o eletrólito.

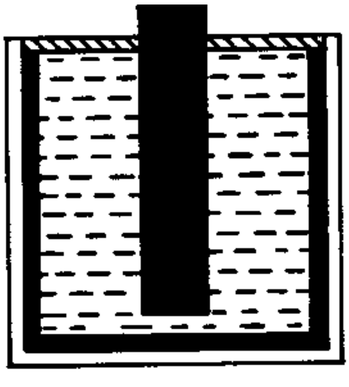


Figura 6-104 Pilha primária

Quando este elemento é descarregado, o zinco reage com o eletrólito, formando um sal de zinco. Este processo não é reversível e quando o elemento está descarregado não pode ser carregado outra vez. Este tipo de pilha está representado na figura 6-104.

Pilhas Secundárias

As pilhas secundárias diferem das pilhas primárias pelos tipos de suas placas, seu eletrólito e por possuir ação química reversível. Estes acumuladores, quando descarregados, recarregam-se pela passagem de uma corrente elétrica contínua ou pulsativa unidirecional através de suas placas, por meio de um aparelho de carga, na direção oposta à da descarga; isto reintegra as placas e o eletrólito em sua forma original, de sorte que o acumulador volta a sua denominação e ciclo.

Cada vez que se completa um ciclo, as placas desgastam um pouco, desprendendo-se uma quantidade de material ativo, de sorte que o elemento perde um pouco de sua capacidade. De 50 a 200 ciclos completos de descarga e carga, é geralmente tudo quanto suporta um acumulador; daí em diante, ou trocam-se seus elementos ou condena-se o acumulador. Se o acumulador estiver apenas parcialmente descarregado em cada ciclo, o número de ciclos será aumentado. As baterias de automóveis e as de aeronaves são exemplos de pilhas secundárias.

BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

A bateria de aeronave consiste de um grupo de pilhas ou células secundárias, constituídas de placas de chumbo (negativas), peróxido de chumbo (positivas) e um eletrólito composto de 25% de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 75% de água destilada (H_2O). Quando a bateria está carregada a densidade do eletrólito é de 1,275 a 1,300g/cm$^{3.}$

Quando os elementos se descarregam, o ácido sulfúrico reage sobre ambas as placas, formando sulfato de chumbo; isto deixa uma solução muito fraca, com densidade de 1,100g/cm^3 a 1,150g/cm^3 (bateria descarregada), em virtude de parte do ácido ter-se unido às placas. Se a descarga for continuada, os materiais ativos, tanto nas placas positivas como nas negativas, tornam-se tensão entre elas, desta forma a bateria estará completamente descarregada. Quando a bateria é novamente carregada, o ácido existente nas placas, sob a forma de sulfato de chumbo, transforma-se novamente em ácido sulfúrico e, misturando-se com a solução fraca, aumenta, o seu grau de concentração. Ao mesmo tempo, as placas são reintegradas no seu estado primitivo.

Quando todo o ácido estiver fora das placas, a bateria está completamente carregada; portanto, a densidade do eletrólito é um indício do estado de carga de uma bateria e a capacidade de uma bateria depende da quantidade do material disponível para a reação química.

Elementos de uma Bateria

Um elemento de uma bateria é constituído por um grupo de placas positivas e negativas, mergulhadas em uma solução de ácido sulfúrico e isoladas por meio de separadores colocados entre elas.

A tensão nominal de um elemento é de 2 volts. Os bujões de respiro são de borracha dura, com orifícios pequenos, para permitir o escoamento dos gases que se formam durante a reação química.

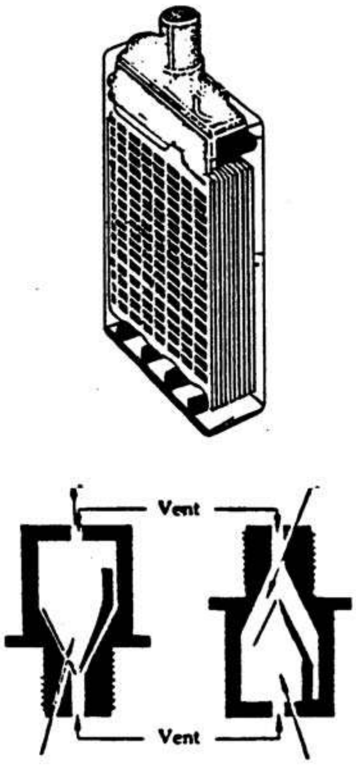


Figura 6-105 Grupo de placas e bujões de respiro

Verificação da Densidade

As leituras da densidade devem ser feitas semanalmente, com o auxílio de densímetro e corrigidas de acordo com a temperatura, conforme a figura 6-115.

°C		
60,5	24	
55	20	
48,9	16	somar à leitura
43,3	12	
37,8	08	
32,2		não é necessária
26,7		nenhuma correção
21,1		
15,6	08	
10,0	12	
04,4	16	
-06,7	24	
-12,2	28	subtrair da leitura
-17,8	32	
-23,3	36	
-28,9	40	
-34,4	44	

Figura 6-115 Tabela de correção da leitura da densidade

Preparação do Eletrólito

O eletrólito, para baterias chumbo-ácido, é uma solução constituída de 75% de água destilada e 25% de ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico pode provocar queimaduras dolorosas se atingir qualquer parte do corpo.

Assim sendo, o pessoal encarregado de manusear e misturar o eletrólito deve ter muito cuidado, para que sejam evitados perigos desta natureza e usar óculos protetores, aventais de borracha, luvas e sapatos ou galochas de borracha.

Quando o ácido sulfúrico e a água são misturados para se obter o eletrólito, o calor é produzido quimicamente durante este processo, o qual eleva a temperatura da mistura resultante; portanto, na mistura do eletrólito, sempre adicionar o ácido na água vagarosamente e agitar lentamente, até obter uma mistura homogênea.

Nunca se deve adicionar água no ácido, uma vez que o calor pode ser produzido tão rapidamente que o ácido poderá respingar o operador.

O recipiente deve ser de vidro, louça, madeira revestida de chumbo, ou um vaso similar, que seja resistente ao ácido sulfúrico e possa suportar o calor desprendido pela mistura.

Deixe que o eletrólito esfrie, abaixo de 32,2ºC, antes de ser utilizado; a solução poderá ser sifonada para dentro do acumulador, por meio de um tubo de borracha de pequeno diâmetro ou, então, poderá ser posta por meio de uma seringa. Não deixe que o nível do líquido exceda de 3/8" acima do protetor existente sobre o topo dos separadores.

O neutralizante do ácido sulfúrico é o bicarbonato de sódio.

Preparação da bateria para carga

a) Limpar os lados da caixa e a face superior da bateria com o auxílio de uma mangueira e bastante água; usar uma solução bicarbonato de sódio, a fim de remover qualquer corrosão que possa existir nos bornes e inspecionar o estado físico da bateria.

b) Remover os bujões de enchimento e inspecionar a bateria, internamente; se o nível do eletrólito estiver baixo, completar com água destilada. Enquanto as baterias estiveram em carga, os bujões de respiro poderão ser desatarraxados, porém, deixados sobre as aberturas de enchimento dos acumuladoresm a fim de evitar o salpico do eletrólito e a formação de gases, bem como a penetração de qualquer matéria estranha na bateria.

Equipamento para Carga

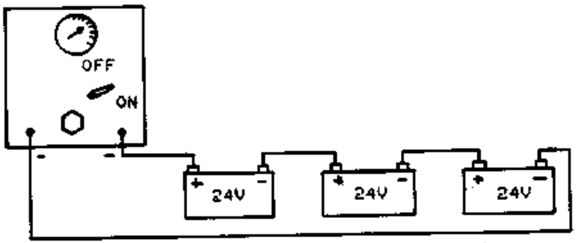
As baterias podem ser carregadas, somente com corrente contínua ou pulsativa unidirecional; se houver disponível somente corrente alternada, a mema deve ser convertida em pulsativa unidirecional, por meio de retificadores.

Existem dois processos para carga: carga em paralelo à tensão constante e carga em série à corrente constante. A carga em paralelo à tensão constante usa um grupo motogerador. A carga em série à corrente constante utiliza retificadores à válvula ou metálico; são os mais usados para este tipo de carga. O tunga é provido de controle para a ajustagem dos diversos regimes de carga, que é controlada através de um amperímetro que mede a corrente.

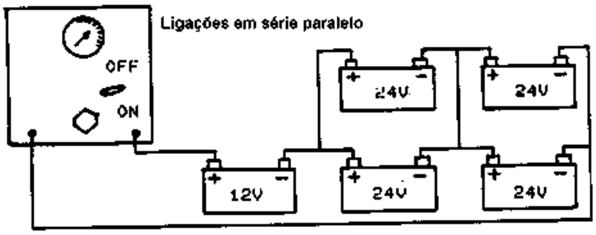
A corrente de carga pode ser regulada com pequenos degraus até um máximo de 6 amperes.

Os acumuladores podem ser carregados com a carga lenta ou carga rápida; a carga lenta vai de 2 a 4 amperes e a carga rápida de 4 a 6 ampères.

As ligações para este tipo de carregador estão indicadas na figura 6-107. Quando se deseja carregar baterias de tensão diferente, como, por exemplo, quatro de 24v e uma de 12v para melhor aproveitamento, devemos ligar as quatro de mesma tensão em paralelo, duas a duas, ligando-as, em seguida, em série com a de menor tensão.



Ligações em série



Ligações em série paralelo

Figura 6-107 Ligações para carga de baterias

Autodescarga

As reações químicas, que produzem o fluxo de corrente elétrica, podem continuar, mesmo que não se esteja retirando corrente alguma da bateria.

A reação química, entre o o material ativo das placas e o ácido sulfúrico do eletrólito, dá-se mais ou menos rapidamente, dependendo da quantidade de corrente que está sendo utilizada; todavia, quando a bateria está desligada do circuito, de sorte que não se esteja retirando corrente alguma da mesma, as atividades químicas continuam, se bem que numa razão muito mais baixa. Isto produz o que se conhece por autodescarga. Esta autodescarga dá-se vagarosamente em baixas temperaturas; porém, rapidamente em temperaturas elevadas, por causa do fato de todas as reações químicas serem aceleradas pelas altas temperaturas.

Uma bateria completa ou parcialmente carregada, submetida a uma temperatura de 17ºC, experimenta muito pouco autodescarga, em um período de dois a três meses enquanto que uma bateria totalmente carregada, submetida a uma temperatura de 50ºC, pode descarregar-se completamente, dentro de uma semana.

Remoção da Bateria

Para remover uma bateria do avião, o cuidado principal que devemos ter é o de desligar sempre, em primeiro lugar, o cabo ligado à massa do avião, pois assim, evitaremos futuros curto-circuitos, depois devemos segurar a bateria com cuidado, para evitar que a mesma caia e derrame o eletrólito.

BATERIAS ALCALINAS

As baterias alcalinas foram desenvolvidas mais recentemente que as de chumbo-ácido. Dois tipos são usados atualmente: níquel-cádmio e prata-zinco, ambos com eletrólito alcalino de hidróxido de potássio (KOH).

BATERIA DE NÍQUEL-CÁDMIO

Em uma bateria de níquel-cádmio o eletrólito é uma solução de água destilada e hidróxido de potássio (KOH – POTASSA CÁUSTICA).

O eletrólito somente é empregado como condutor e não reaciona com as placas como fazem as baterias de chumbo-ácidas.

O estado da carga de uma bateria deste tipo não é determinado facilmente por uma leitura de gravidade específica, já que não havendo reação de placas com eletrólito, este não se altera de modo apreciável.

As placas negativas são se óxido de cádmio e as positivas de óxido de níquel, isoladas por placas de nylon e fibra.

Durante a carga, todo o oxigênio é expulso dsa placas negativas só restando o cádmio. O oxigênio expulso das placas negativas é recolhido pelas positivas, para formar o bióxido de níquel. Até o final do processo de carga, o eletrólito desprenderá gases devido à eletrólise que tem lugar no mesmo.

Uma pequena quantidade de gases é necessária para carregar completamente a bateria. Portanto esta perderá algo de água. Durante a descarga ocorrerá uma ação química inversa. As placas negativas recuperam gradualmente o oxigênio, na mesma proporção que as positivas o perdem.

Devido ao intercâmbio de oxigênio, a energia química das placas se converte em energia elétrica e o eletrólito é absorvido pelas placas.

Por esta razão o nível de eletrólito deve ser verificado com a bateria completamente carregada.

O estado da carga da bateria será verificado, portanto, medindo-se o nível do eletrólito, já que os outros métodos utilizados em baterias de chumbo-ácida como: densidade do eletrólito e tensão entre elementos, não são aplicáveis, pois o eletrólito não reaciona com as placas, e a tensão, praticamente, permanece constante mesmo com a bateria descarregada.

Capacidade da Bateria

Nas baterias de aviões um dado muito importante é a sua capacidade, é o mesmo que dizer, a quantidade total de energia que pode ser fornecida até que a tensão nos bornes caia a um valor mínimo aceitável.

Também é possível definir a capacidade como a quantidade de horas que pode alimentar um sistema elétrico que consome uma certa intensidade.

A unidade utilizada é o ampère-hora (Ah) e a capacidade se expressa em "Ah", que é o número resultante da multiplicação da intensidade de descarga pelo número de horas que pode ser mantida até descarregar-se.

Por exemplo uma bateria de 100 Ah regimentada em 8 horas pode entregar 12,5 A continuamente durante 8 horas. A capacidade de uma bateria depende da temperatura e do regime de descarga. Em temperaturas muito baixas, a capacidade diminui devido à lentidão das reações.

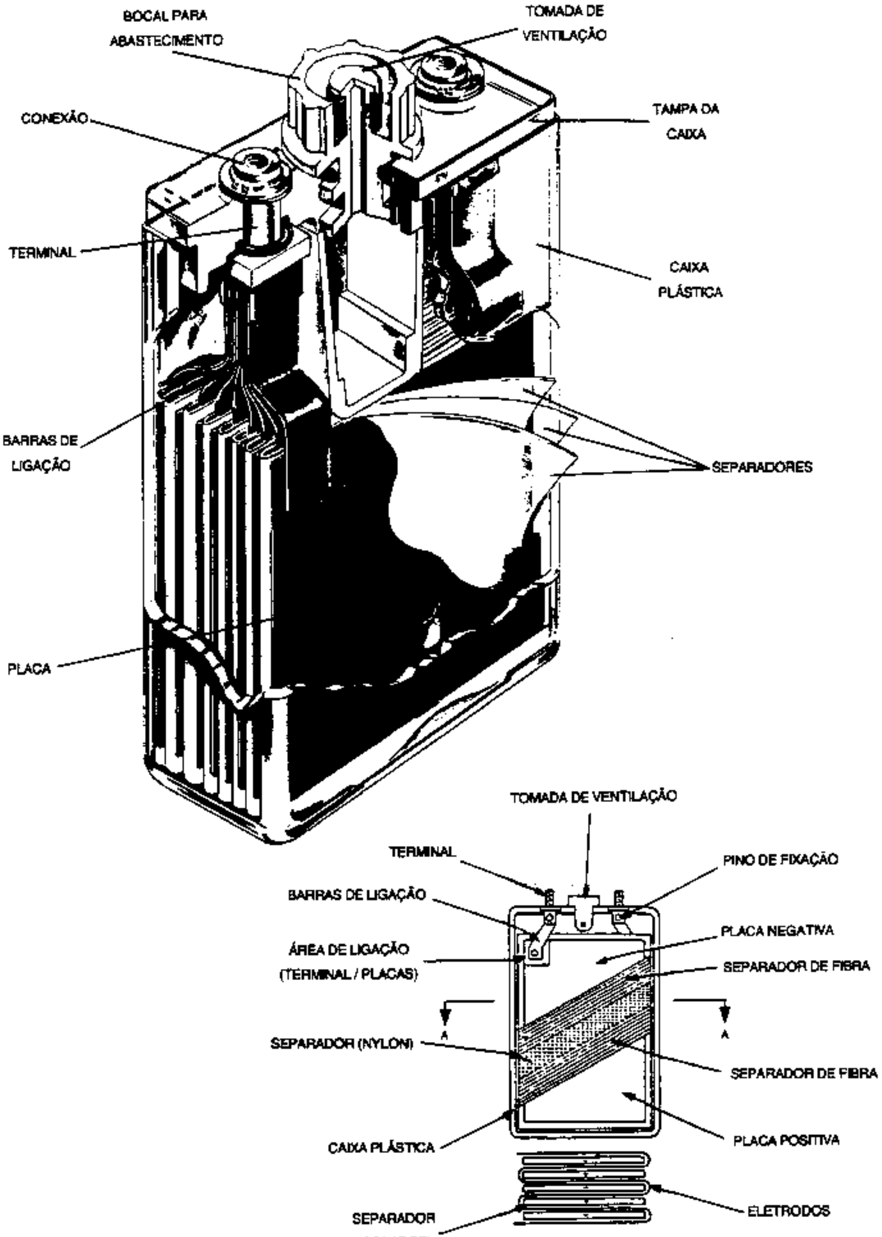

BOCAL PARA ABASTECIMENTO
TOMADA DE VENTILAÇÃO
CONEXÃO
TAMPA DA CAIXA
TERMINAL
CAIXA PLÁSTICA
BARRAS DE LIGAÇÃO
SEPARADORES
PLACA
TOMADA DE VENTILAÇÃO
TERMINAL
PINO DE FIXAÇÃO
BARRAS DE LIGAÇÃO
PLACA NEGATIVA
ÁREA DE LIGAÇÃO (TERMINAL / PLACAS)
SEPARADOR DE FIBRA
A
A
SEPARADOR (NYLON)
SEPARADOR DE FIBRA
CAIXA PLÁSTICA
PLACA POSITIVA
ELETRODOS
SEPARADOR (ISOLADOR)

Figura 6-108 Elemento de bateria níquel-cádmio

A capacidade também diminui quando o regime de descarga é elevado. A capacidade das baterias instaladas em avião depende como é lógico, dos equipamentos que ela terá que alimentar em caso de falha do resto das fontes de corrente do avião. Valores aproximados estão entre 25 Ah e 40 Ah.

Falhas da Bateria, Perdas de Tensão

Em uma bateria a ddp entre os bornes é igual à fem menos a queda da tensão devido a sua resistência interna (rI). Então a tensão nos bornes da bateria diminui ao aumentar-se a intensidade da corrente fornecida por ela.

Normalmente a resistência interna é pequena e a diminuição de tensão só chega a ser importante quando são consumidas grandes intensidades, por exemplo, dar-se a partida dos motores fazendo-se uso delas.

Vantagens do uso das Baterias NI-CAD

As baterias de níquel-cádmio apresenta vantagens importantes em relação às de chumbo-ácido.

Podemos destacar as seguintes vantagens:

- durante o período de descarga mantém uma tensão praticamente constante até em "um instante" antes de esgotar-se;
- a relação energia/peso é superior à das baterias típicas. Ocupam portanto pequeno volume e são de baixo peso.
- não se descarregam a circuito aberto, não se estragam por sulfatação de suas placas.
- não se estragam quando submetidas à correntes muito intensas ou por descarregá-la demasiadamente. Possuem baixa resistência interna.
- admitem uma tensão de carga superior ao normal. São denominadas algumas vezes de baterias programáveis ou com memória.
- podem ser carregadas rapidamente.
- são muito estáveis e possuem longa vida (aproximadamente 15 anos).
- Podem ser substituídos um ou mais elementos da bateria original.

Desvantagens do uso da Bateria- NI-CAD

- Alto custo. Apesar de seu custo elevado, quando usada em circunstâncias apropriadas, ela pode ser econômica graças à sua longa vida.
- Requer uma atenção constante com relação aos incrementos de temperatura.
- Possibilidade de explosão inter-células.
- Fuga térmica.
- Curtos.

Para Carregar Baterias Alcalinas

Usa-se o carregador BATERRY MASTER – CHARGER/ANALYZER mod 2001 D 100 (ou equivalente).

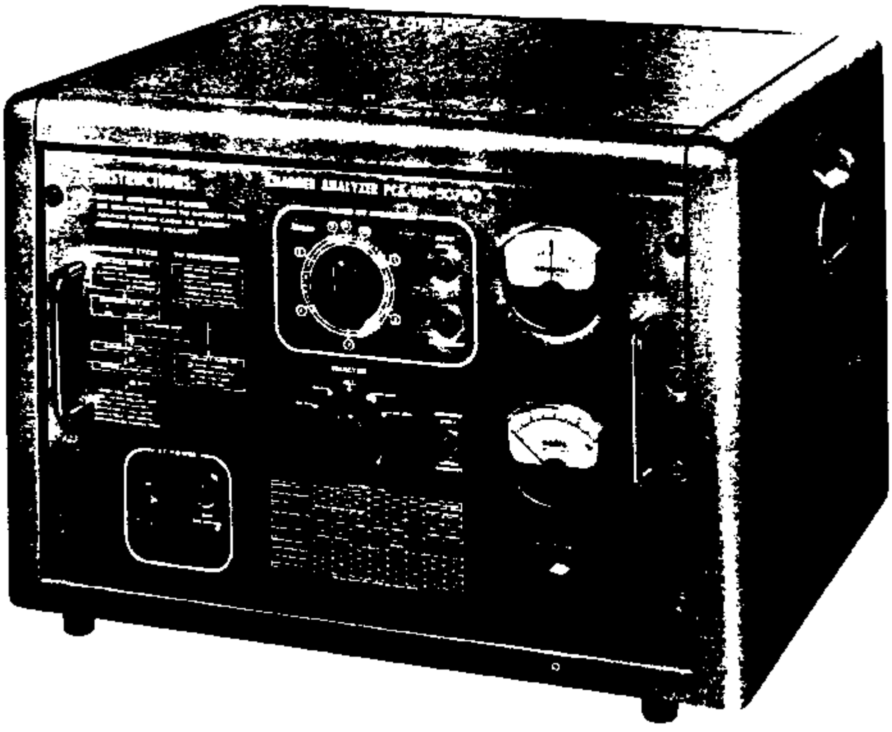


Figura 6-109 Carregador de baterias

Para se carregar bateria nova:

a) 3 horas de carga;

b) 1 hora de descanso;

c) 1 hora de descarga (para confirmar se entra em carga);

d) 1 hora de descanso;

e) 3 horas de carga.

Total para carga: 9 horas

Para se carregar baterias usadas:

a) checar se todos os parafusos estão apertados;

b) descarga (depende de vários fatores: qual sua carga, e como foram suas manutenções anteriores, etc);

c) descanso (1hora) – É para que não haja variação durante a carga;

d) carga – 3 horas;

e) descanso – 1 hora;

f) descarga (simular o arranque do avião);

g) carga – 3 horas;

h) descanso – recolocar na aeronave.

Monitoramento da Temperatura da Bateria

A bateria de NI-CAD é um dos mais eficientes armazenadores de energia elétrica disponíveis atualmente.

Ela é rígida, compacta, provê correntes elevadas na saída apesar de seu pouco peso, carrega-se rapidamente, possui excelentes características de funcionamento e baixas temperaturas e mantém uma tensão relativamente constante na saída. Até descarregar-se completamente.

Mas, a despeito desses atributos, está sujeita a certos fenômenos indesejáveis que vão desde a deformação ou fusão até a ruptura ou explosão, tudo isso provocado pelo fenômeno conhecido como "fuga térmica".

Durante a operação normal de um avião, o gerador alimenta a bateria com corrente à tensão constante.

Dependendo de suas condições de carga, a bateria oferece uma certa resistência a essa corrente de carga, limitando-a.

Se a bateria estiver descarregada, sua resistência será baixa e a corrente de carga alta. Assim que comece a carregar, sua resistência interna aumenta e a corrente de carga diminui.

Teoricamente, o fluxo de corrente deveria cair a zero quando a bateria estivesse totalmente carregada. Na realidae, descrecerá até um valor entre 2 e 4 Ampères.

Durante o processo de carga, há geração de calor e sua temperatura começa a subir.

Nesse ponto, outros fatores como a temperatura e a circulação do ar ambientes entram em cena e determinam quanto deverá subir a temperatura da bateria.

Curiosamente, uma bateria superaquecida não está necessariamente em uma condição de "fuga térmica".

Em determinadas condições de temperatura, refrigeração e tensão de fonte de carga, o aumento do calor dentro das células provoca a queda na resistência interna da bateria que, por sua vez, provoca um aumento na corrente de carga gerando mais calor, o qual aumenta a temperatura.

Este aumento concorre para diminuir ainda mais a resistência, provocando um grande aumento na corrente de carga que origina mais calor ainda.

Uma vez que este ciclo se torne estabilizado, a ocorrência de danos sérios é apenas uma questão de tempo, a menos que o processo possa ser imediatamente interrompido desligando-se a bateria do circuito.

Infelizmente, o piloto pode permanecer completamente alheio a esta série de eventos, até que seja muito tarde.

O primeiro passo a evitar a "fuga témica" é o cuidado e a manutenção correta do sistema elétrico do avião e a da bateria.

O regulador de tensão deve ser ajustado com precisão e funcionar corretamente.

A bateria deve ser mantida limpa, corretamente instalada e com as tomadas de ventilação desobstruídas.

Fontes externas de força devem ser usadas sempre que o avião for submetido a prolongados testes operacionais no solo, durante pesquisa de panes e, quando possivel, para as partidas do motor, especialmente se for programada uma série de vôos de curta duração.

Durante as partidas com baterias, tentativas prolongadas devem ser evitadas. Se estas tentativas repetidas não puderem ser evitadas, um teste de "toque" deverá ser feito, colocando-se mão na carcaça externa da bateria.

Se ela estiver muito quente, (e não for possível manter a mão sobre ela) será necessário deixar que ela esfrie, antes de tentar-se outra partida.

Além dessas medidas preventivas, o piloto pode utilizar as indicações de certos instrumentos como alerta para possíveis problemas com a bateria, incluindo a "fuga térmica".

Uma diretiva do FAA tornou mandatório para todos os aviões equipados com bateria Ni-CAD, que pudessem ser usadas para partidas de motor, que incorporassem algum tipo de monitorização de temperatura, bem como alguma previsão para interromper o carregamento da bateria.

O sistema de alarme e monitoramento de superaquecimento da bateria não previne a fuga térmica, mas possui a vantagem de ser leve, relativamente barato, e ainda fornecer um aviso seguro de uma possível condição de "fuga térmica". Dependendo da configuração escolhida, este sistema pode não somente avisar ao piloto para interromper o carregamento da bateria, mas também pode, automaticamente, desligá-lo do circuito.

Porém, independente da configuração, sempre existe um comando manual.

A principal desvantagem desse sistema é que ele fornece um alerta inicial quando a carcaça da bateria atinge uma temperatura de 150ºC F e uma bateria NI-CAD pode atingir esta temperatura por ação de outras causas que não a "fuga térmica".

Estas incluem temperatura ambiente elevada, estado da carga e uso prolongado da bateria durante testes no solo e partidas de motor.

Além disso, a bateria pode encontrar-se nos primeiros estágios da "fuga térmica" e a temperatura da carcaça pode não estar elevada o suficiente para ativar o sistema de alarme.

De fato, muitas baterias atingiram os estágios mais avançados de "fuga-térmica" antes que esse sistema de alarme fosse ativado. No entanto, em todos os casos, o alarme ocorreu a tempo suficiente para evitar danos às aeronaves, provocados por fogo ou explosão das baterias.

Nas aeronaves EMBRAER, a bateria possui preso aos parafusos das conexões das células, dois sensores idênticos e intercambiáveis. Estes sensores permitem a indicação e o alarme de sobretemperatura.

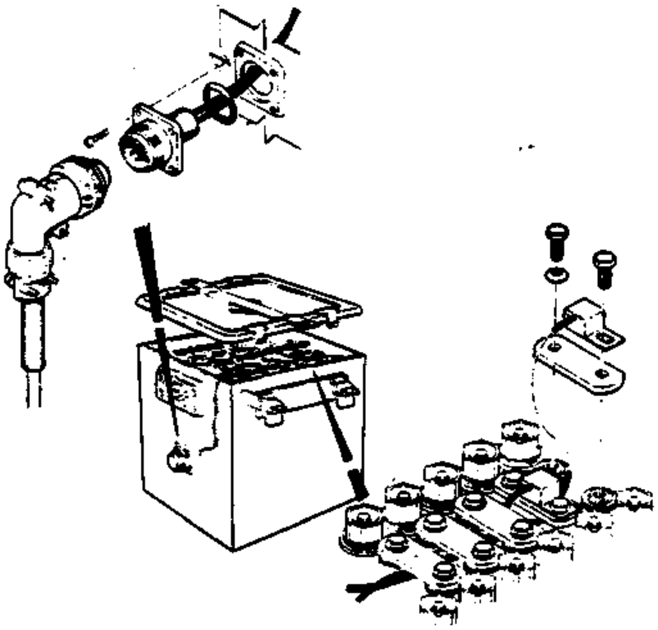
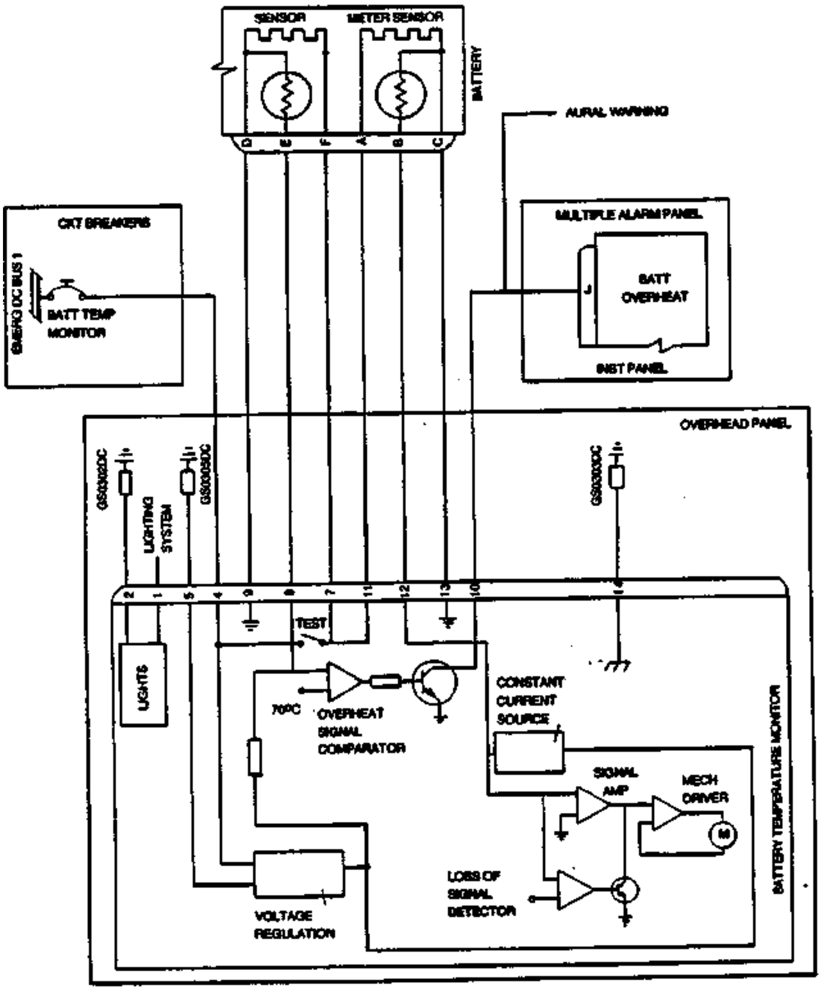


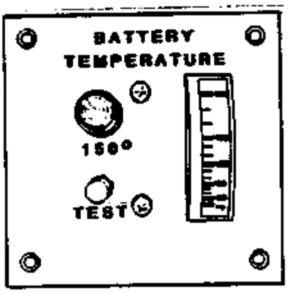
Figura 6-110 Bateria NI-CAD

Os dois sensores enviam sinais a um monitor de temperatura. Um sensor faz com que sempre que a temperatura for superior a 150º F (aproximadamente 65,6º C) este por sua vez, faz acender a luz TEMPERATURA DA BATERIA.

O outro sensor é ligado a um sistema de indicação por instrumento o qual continuamente estará fornecendo a temperatura da bateria. O teste do sistema é feito pressionando-se o botão "TESTE" e os elementos aquecedores associados a cada sensor são alimentados de modo a simular um aumento de temperatura, permitindo o teste operacional do sistema monitor de temperatura


SENSOR
METER SENSOR
BATTERY
D
E
F
A
B
C
AURAL WARNING
CKT BREAKERS
EMERG DC BUS 1
BATT TEMP MONITOR
MULTIPLE ALARM PANEL
J
BATT OVERHEAT
INST PANEL
OVERHEAD PANEL
GS0302DC
LIGHTING SYSTEM
GS0305DC
GS0303DC
2
1
5
4
9
8
7
11
12
13
10
TEST
LIGHTS
70ºC
OVERHEAT SIGNAL COMPARATOR
CONSTANT CURRENT SOURCE
SIGNAL AMP
MECH DRIVER
M
LOSS OF SIGNAL DETECTOR
VOLTAGE REGULATION
BATTERY TEMPERATURE MONITOR

CIRCUITO TÍPICO DE MONITOR DE TEMPERATURA


BATTERY
TEMPERATURE
150º
TEST

INDICADOR TÍPICO DE TEMPERATURA DE BATERIA

Figura 6-111 Circuito e indicador típicos de monitoramento da temperatura

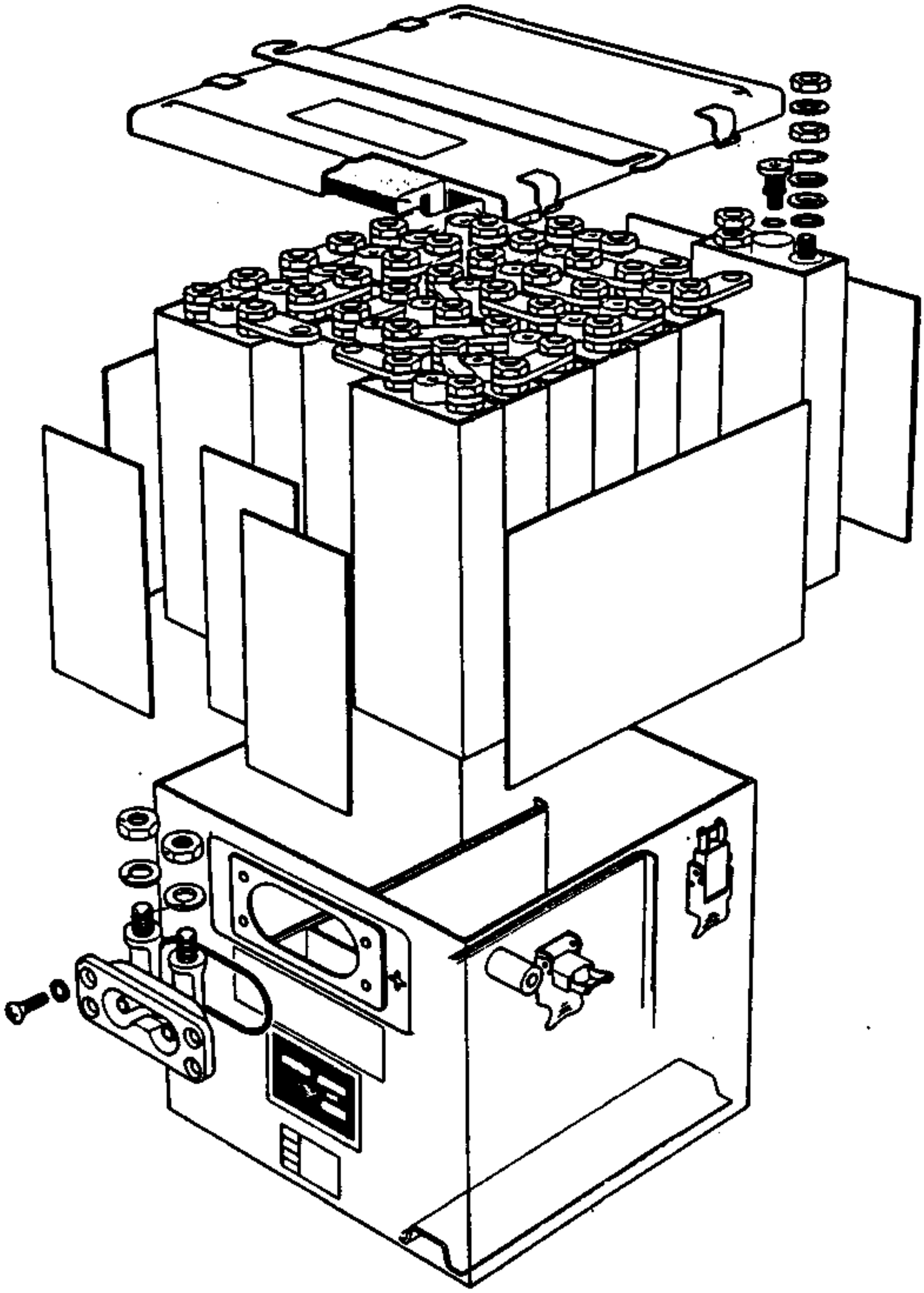


Fig 6 –112 Vista explodida da bateria Níquel-Cádmio

BATERIAS PRATA-ZINCO

Os elementos ativos das baterias prata-zinco sõ o óxido de prata (placa positiva) e o zinco (placa negativa), O eletrólito é uma solução forte de hidróxido de potássio (KOH). Durante a utilização da bateria como fonte de energia, o oxigênio é retirado da placa positiva e se combina com o zinco. Assim, as placas positivas de óxido de prata vão transformando-se em prata pura, enquanto que as placas negativas de zinco vão se oxidando, transformando-se em óxido de zinco. Durante o processo de carga, o fenômeno se inverte. O eletrólito age apenas como veículo para os íons e não se modifica quimicamente. O estado de carga da bateria não pode ser determinado pela medição da densidade do eletrólito; em vez disso, mede-se a tensão dos elementos em circuito aberto.

As baterias de prata-zinco são de fácil manutenção e têm muitas vantagens sobre as de chumbo-ácido, principalmente: menor peso e volume; permitem altas correntes de descarga e não produzem prata-zinco, ao contrário dos outros tipos, são muito sensíveis ao excesso de tensão durante a carga. Nunca se deve permitir que a tensão ultrapasse 2,05v por elemento. São usadas 14 células em série para proporcionar uma tensão de operação máxima de 25,5v; a tensão média de operação sob corrente mais elevada é de 21,0v.

SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA DIAGRAMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS

Os símbolos gráficos constituem um método simplificado de representação dos componentes elétricos e eletrônicos.

Tais símbolos gráficos são normatizados de forma a padronizar e representação dos sistemas elétricos/eletrônicos. A simbologia visa principalmente informar ao técnico de forma clara como estão conectados os componentes nos circuitos.A simbologia utilizada deve ser representada de acordo com as seguintes instruções:

1 - deve ter um tamanho que não prejudique a legibilidade do desenho;

2 - os dispositivos devem ser representados na posição normal ou inativada Exceções devem ser indicadas através de notas nos desenhos, informando a posição representada.

3 - quando necessário, os símbolos podem ser girados (de 90º em 90º) ou representados em imagem especular;

Figura 6-113 Exemplos de símbolos

4 - quando necessário, para simplificação do diagrama, um símbolo pode ter sua representação “explodida”, isto é, pode ter seus contatos, terminais etc, representados em mais de um lugar em um mesmo diagrama, ou em diagramas diferentes. Neste caso, a sigla do símbolo e demais referências devem ser indicadas em cada uma das partes do símbolo e todos os contatos, terminais, etc, devem ser representados, mesmo aqueles não utilizados;

5 - informações adicionais sobre características dos componentes podem ser indicados (adjacentes) ao símbolo

Alguns símbolos de componentes utilizados em sistemas elétricos e eletrônicos são representados nas próximas páginas.

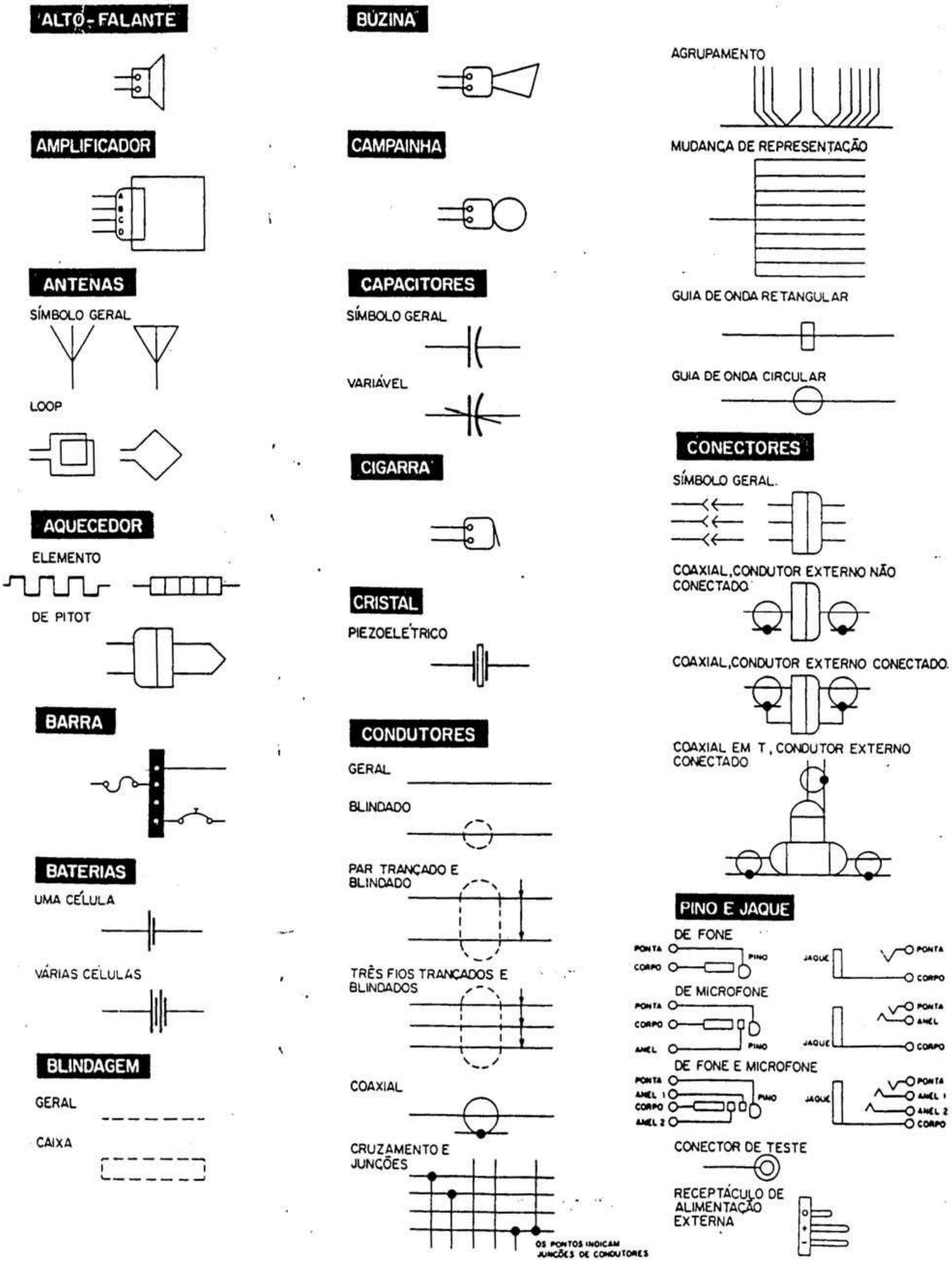

ALTO-FALANTE
AMPLIFICADOR
A
B
C
D
ANTENAS
SÍMBOLO GERAL
LOOP
AQUECEDOR
ELEMENTO
DE PITOT
BARRA
BATERIAS
UMA CÉLULA
VÁRIAS CÉLULAS
BLINDAGEM
GERAL
CAIXA
BUZINA
CAMPAINHA
CAPACITORES
SÍMBOLO GERAL
VARIÁVEL
CIGARRA
CRISTAL
PIEZOELÉTRICO
CONDUTORES
GERAL
BLINDADO
PAR TRANÇADO E BLINDADO
TRÊS FIOS TRANÇADOS E BLINDADOS
COAXIAL
CRUZAMENTO E JUNÇÕES
OS PONTOS INDICAM JUNÇÕES DE CONDUTORES
AGRUPAMENTO
MUDANÇA DE REPRESENTAÇÃO
GUIA DE ONDA RETANGULAR
GUIA DE ONDA CIRCULAR
CONECTORES
SÍMBOLO GERAL
COAXIAL, CONDUTOR EXTERNO NÃO CONECTADO
COAXIAL, CONDUTOR EXTERNO CONECTADO
COAXIAL EM T, CONDUTOR EXTERNO CONECTADO
PINO E JAQUE
DE FONE
PONTA
CORPO
PINO
JAQUE
PONTA
CORPO
DE MICROFONE
PONTA
CORPO
ANEL
PINO
JAQUE
PONTA
ANEL
CORPO
DE FONE E MICROFONE
PONTA
ANEL 1
CORPO
ANEL 2
PINO
JAQUE
PONTA
ANEL 1
ANEL 2
CORPO
CONECTOR DE TESTE
RECEPTÁCULO DE ALIMENTAÇÃO EXTERNA
+
-

Figura 6-114 Símbolos elétricos I

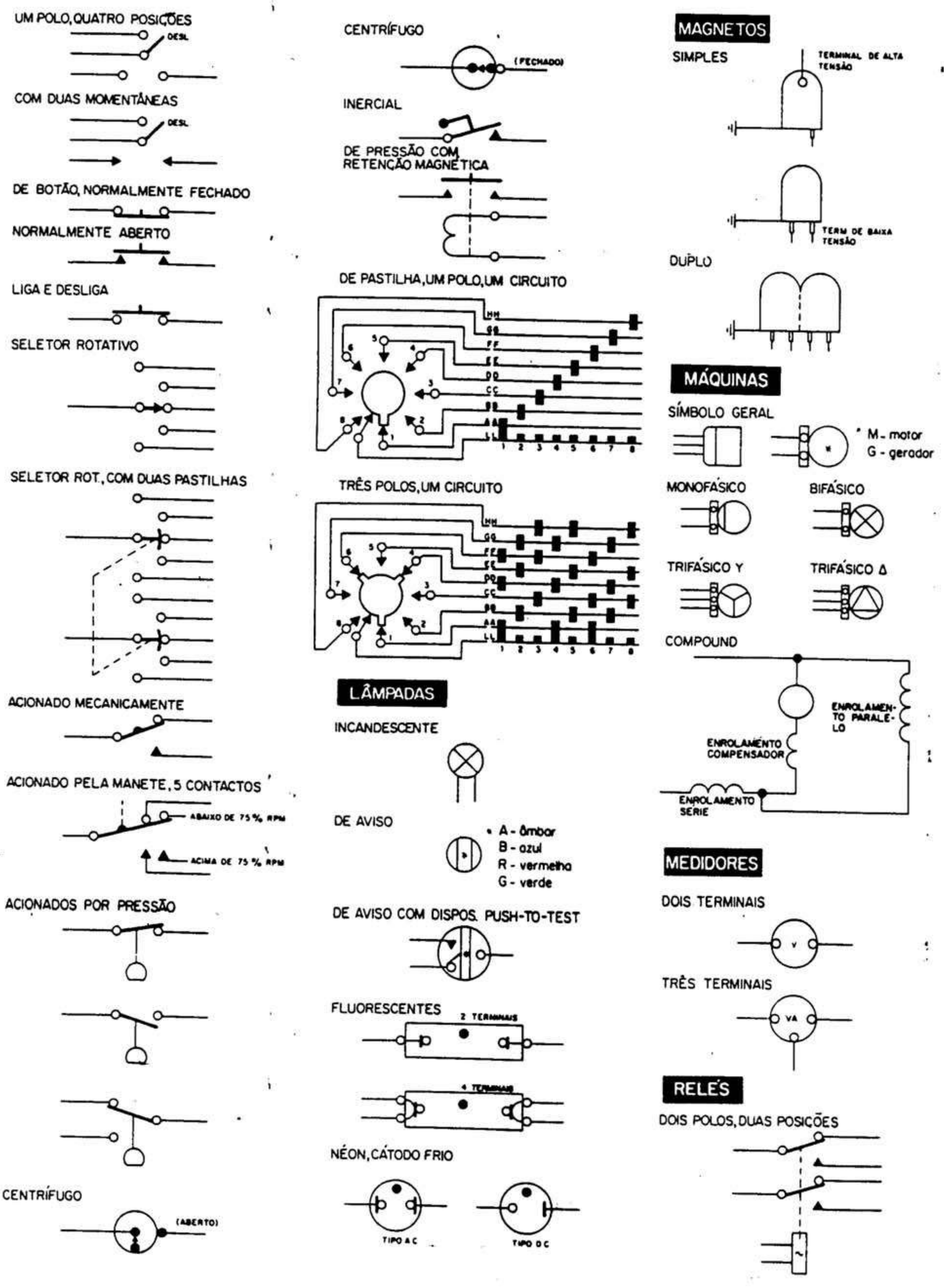

UM POLO, QUATRO POSIÇÕES
DESL
COM DUAS MOMENTÂNEAS
DESL
DE BOTÃO, NORMALMENTE FECHADO
NORMALMENTE ABERTO
LIGA E DESLIGA
SELETOR ROTATIVO
SELETOR ROT. COM DUAS PASTILHAS
ACIONADO MECANICAMENTE
ACIONADO PELA MANETE, 5 CONTACTOS
ABAIXO DE 75 % RPM
ACIMA DE 75 % RPM
ACIONADOS POR PRESSÃO
CENTRÍFUGO
(ABERTO)
CENTRÍFUGO
(FECHADO)
INERCIAL
DE PRESSÃO COM RETENÇÃO MAGNÉTICA
DE PASTILHA, UM POLO, UM CIRCUITO
HH
GG
FF
EE
DD
CC
BB
AA
LL
1 2 3 4 5 6 7 8
TRÊS POLOS, UM CIRCUITO
LÂMPADAS
INCANDESCENTE
DE AVISO
A - âmbar
B - azul
R - vermelha
G - verde
DE AVISO COM DISPOS. PUSH-TO-TEST
FLUORESCENTES
2 TERMINAIS
4 TERMINAIS
NÉON, CÁTODO FRIO
TIPO A C
TIPO D C
MAGNETOS
SIMPLES
TERMINAL DE ALTA TENSÃO
TERM DE BAIXA TENSÃO
DUPLO
MÁQUINAS
SÍMBOLO GERAL
M - motor
G - gerador
MONOFÁSICO
BIFÁSICO
TRIFÁSICO Y
TRIFÁSICO Δ
COMPOUND
ENROLAMENTO PARALELO
ENROLAMENTO COMPENSADOR
ENROLAMENTO SÉRIE
MEDIDORES
DOIS TERMINAIS
V
TRÊS TERMINAIS
VA
RELÉS
DOIS POLOS, DUAS POSIÇÕES

Figura 6-115 Símbolos elétricos II

]

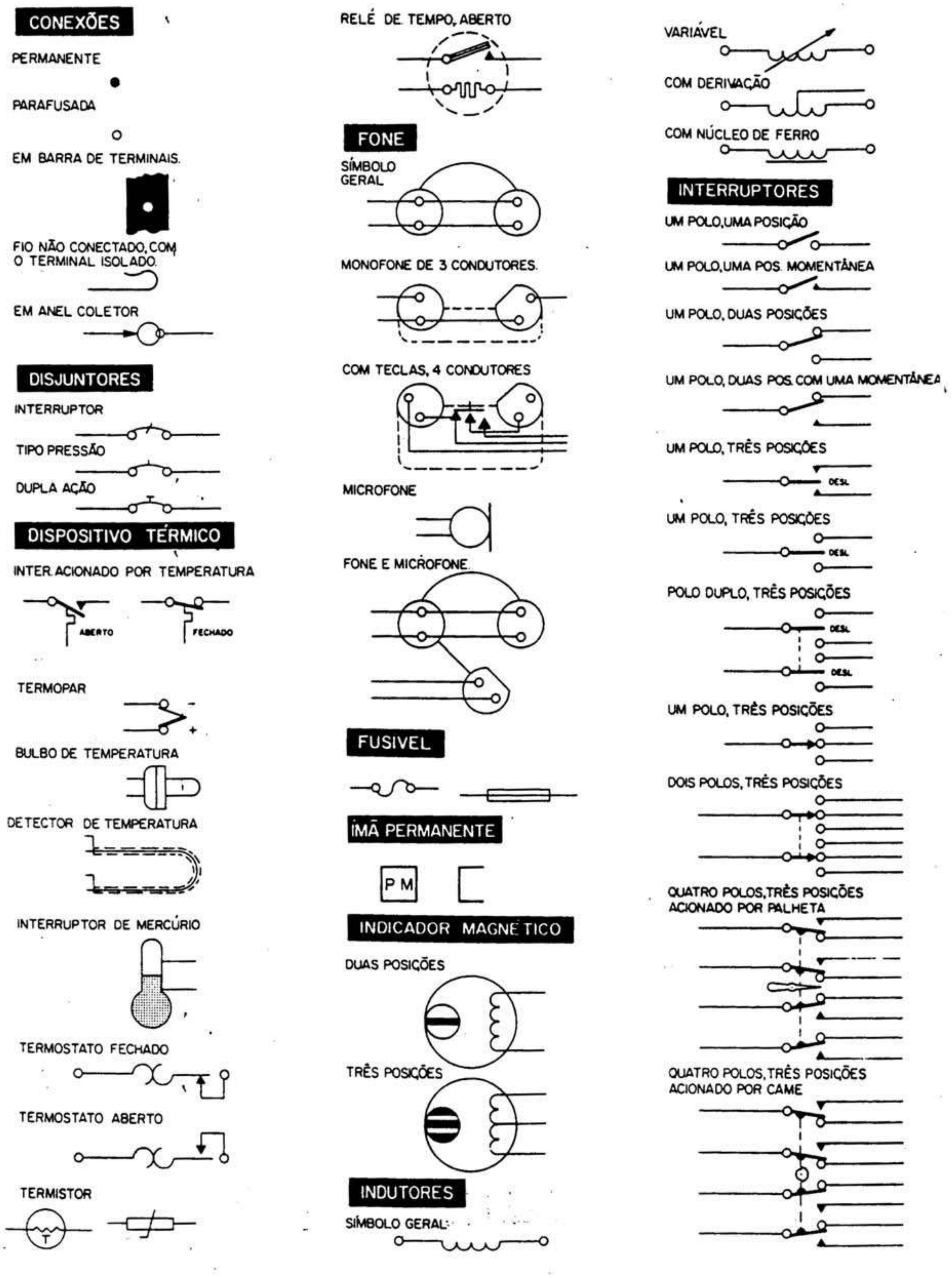
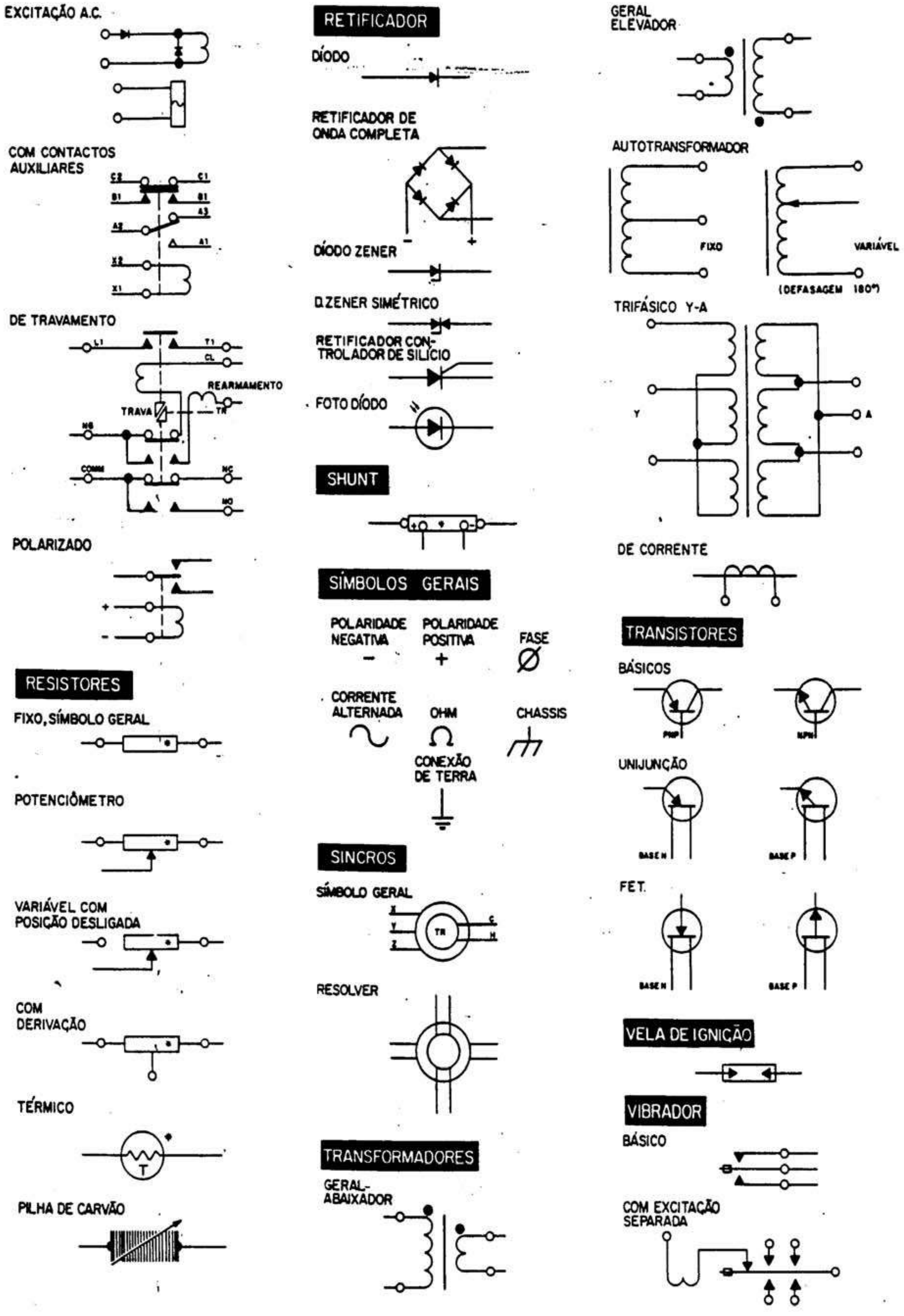

CONEXÕES
PERMANENTE
PARAFUSADA
EM BARRA DE TERMINAIS.
FIO NÃO CONECTADO, COM O TERMINAL ISOLADO.
EM ANEL COLETOR
DISJUNTORES
INTERRUPTOR
TIPO PRESSÃO
DUPLA AÇÃO
DISPOSITIVO TÉRMICO
INTER. ACIONADO POR TEMPERATURA
ABERTO
FECHADO
TERMOPAR
BULBO DE TEMPERATURA
DETECTOR DE TEMPERATURA
INTERRUPTOR DE MERCÚRIO
TERMOSTATO FECHADO
TERMOSTATO ABERTO
TERMISTOR
T
RELÉ DE TEMPO, ABERTO
FONE
SÍMBOLO GERAL
MONOFONE DE 3 CONDUTORES.
COM TECLAS, 4 CONDUTORES
MICROFONE
FONE E MICROFONE
FUSIVEL
ÍMÃ PERMANENTE
P M
INDICADOR MAGNETICO
DUAS POSIÇÕES
TRÊS POSIÇÕES
INDUTORES
SÍMBOLO GERAL:
VARIÁVEL
COM DERIVAÇÃO
COM NÚCLEO DE FERRO
INTERRUPTORES
UM POLO, UMA POSIÇÃO
UM POLO, UMA POS. MOMENTÂNEA
UM POLO, DUAS POSIÇÕES
UM POLO, DUAS POS. COM UMA MOMENTÂNEA
UM POLO, TRÊS POSIÇÕES
DESL
UM POLO, TRÊS POSIÇÕES
DESL
POLO DUPLO, TRÊS POSIÇÕES
DESL
DESL
UM POLO, TRÊS POSIÇÕES
DOIS POLOS, TRÊS POSIÇÕES
QUATRO POLOS, TRÊS POSIÇÕES ACIONADO POR PALHETA
QUATRO POLOS, TRÊS POSIÇÕES ACIONADO POR CAME

Figura 6-116 Símbolos elétricos III



EXCITAÇÃO A.C.
COM CONTACTOS AUXILIARES
C2
C1
B1
B1
A2
A2
A1
X2
X1
DE TRAVAMENTO
L1
T1
CL
REARMAMENTO
TRAVA
TR
NO
COMM
NC
NO
POLARIZADO
+
-
RESISTORES
FIXO, SÍMBOLO GERAL
POTENCIÔMETRO
VARIÁVEL COM POSIÇÃO DESLIGADA
COM DERIVAÇÃO
TÉRMICO
T
PILHA DE CARVÃO
RETIFICADOR
DÍODO
RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA
-
+
DÍODO ZENER
D.ZENER SIMÉTRICO
RETIFICADOR CONTROLADOR DE SILÍCIO
FOTO DÍODO
SHUNT
SÍMBOLOS GERAIS
POLARIDADE NEGATIVA
-
POLARIDADE POSITIVA
+
FASE
Ø
CORRENTE ALTERNADA
OHM
Ω
CHASSIS
CONEXÃO DE TERRA
SINCROS
SÍMBOLO GERAL
X
Y
Z
TR
C
H
RESOLVER
TRANSFORMADORES
GERAL-ABAIXADOR
GERAL ELEVADOR
AUTOTRANSFORMADOR
FIXO
VARIÁVEL
(DEFASAGEM 180°)
TRIFÁSICO Y-A
Y
A
DE CORRENTE
TRANSISTORES
BÁSICOS
PNP
NPN
UNIJUNÇÃO
BASE N
BASE P
FET.
BASE N
BASE P
VELA DE IGNIÇÃO
VIBRADOR
BÁSICO
COM EXCITAÇÃO SEPARADA

Figura 6-117 Símbolos Elétricos IV

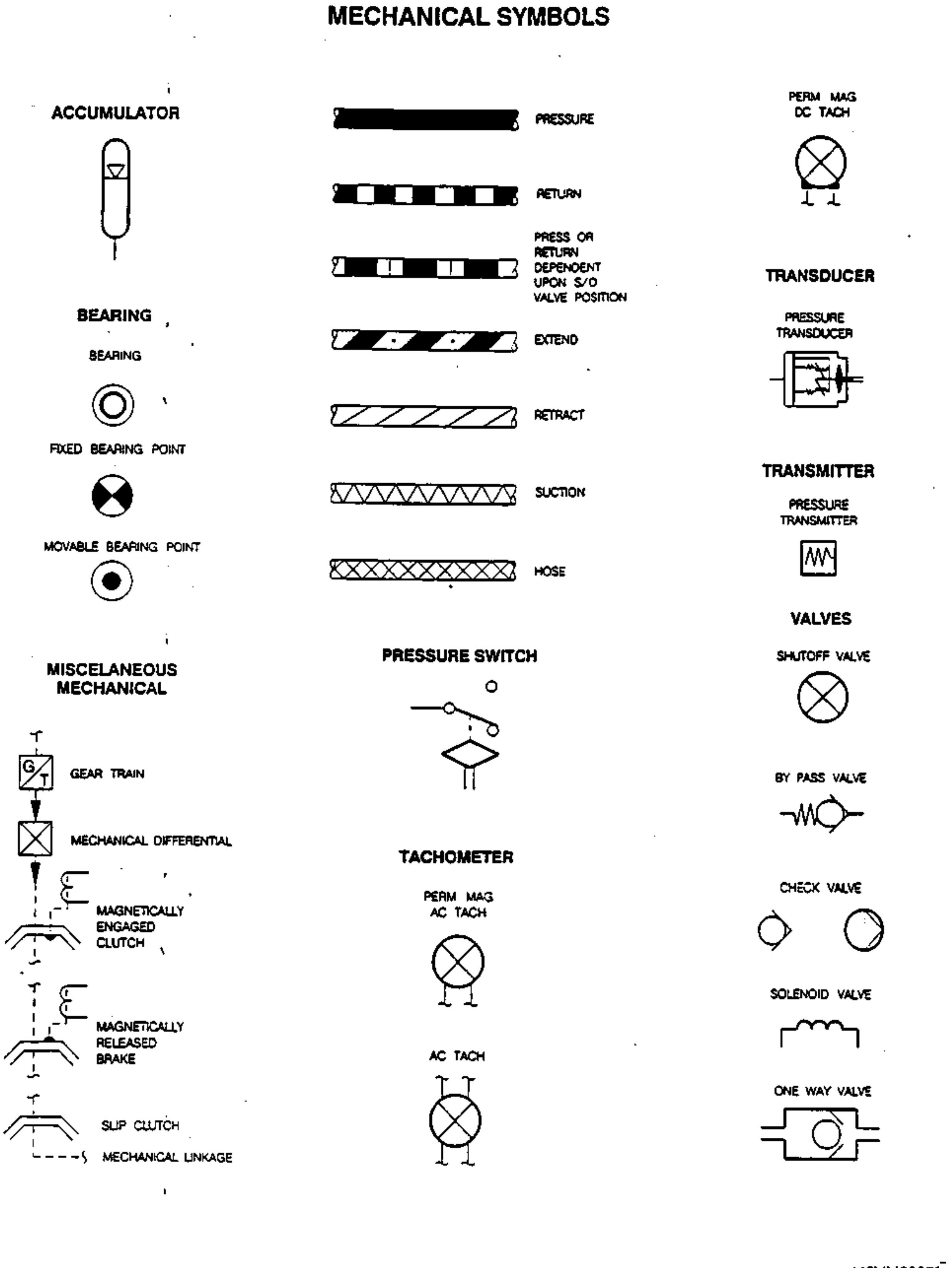

MECHANICAL SYMBOLS
ACCUMULATOR
BEARING
BEARING
FIXED BEARING POINT
MOVABLE BEARING POINT
MISCELANEOUS MECHANICAL
G
T
GEAR TRAIN
MECHANICAL DIFFERENTIAL
MAGNETICALLY ENGAGED CLUTCH
MAGNETICALLY RELEASED BRAKE
SLIP CLUTCH
MECHANICAL LINKAGE
PRESSURE
RETURN
PRESS OR RETURN DEPENDENT UPON S/O VALVE POSITION
EXTEND
RETRACT
SUCTION
HOSE
PRESSURE SWITCH
TACHOMETER
PERM MAG AC TACH
AC TACH
PERM MAG DC TACH
TRANSDUCER
PRESSURE TRANSDUCER
TRANSMITTER
PRESSURE TRANSMITTER
VALVES
SHUTOFF VALVE
BY PASS VALVE
CHECK VALVE
SOLENOID VALVE
ONE WAY VALVE

Figura 6-118 Símbolos elétricos V

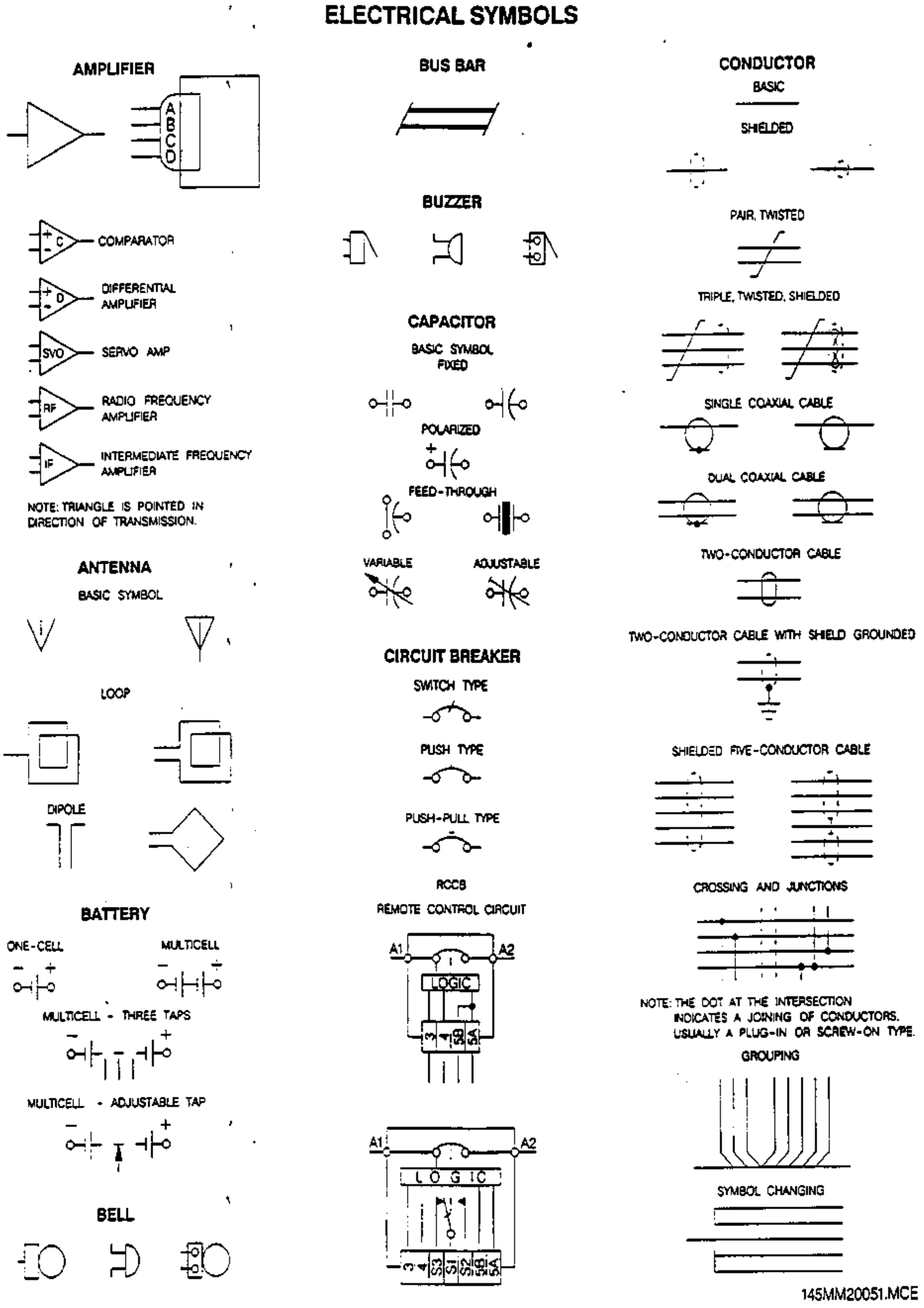

ELECTRICAL SYMBOLS
AMPLIFIER
A
B
C
D
C
COMPARATOR
D
DIFFERENTIAL AMPLIFIER
SVO
SERVO AMP
RF
RADIO FREQUENCY AMPLIFIER
IF
INTERMEDIATE FREQUENCY AMPLIFIER
NOTE: TRIANGLE IS POINTED IN DIRECTION OF TRANSMISSION.
ANTENNA
BASIC SYMBOL
LOOP
DIPOLE
BATTERY
ONE-CELL
MULTICELL
MULTICELL - THREE TAPS
MULTICELL - ADJUSTABLE TAP
BELL
BUS BAR
BUZZER
CAPACITOR
BASIC SYMBOL FIXED
POLARIZED
FEED-THROUGH
VARIABLE
ADJUSTABLE
CIRCUIT BREAKER
SWITCH TYPE
PUSH TYPE
PUSH-PULL TYPE
RCCB
REMOTE CONTROL CIRCUIT
A1
A2
LOGIC
3
4
5B
5A
A1
A2
L O G I C
3
4
S3
S1
S2
5B
5A
CONDUCTOR
BASIC
SHIELDED
PAIR, TWISTED
TRIPLE, TWISTED, SHIELDED
SINGLE COAXIAL CABLE
DUAL COAXIAL CABLE
TWO-CONDUCTOR CABLE
TWO-CONDUCTOR CABLE WITH SHIELD GROUNDED
SHIELDED FIVE-CONDUCTOR CABLE
CROSSING AND JUNCTIONS
NOTE: THE DOT AT THE INTERSECTION INDICATES A JOINING OF CONDUCTORS. USUALLY A PLUG-IN OR SCREW-ON TYPE.
GROUPING
SYMBOL CHANGING
145MM20051.MCE

Figura 6-119 Símbolos elétricos VI

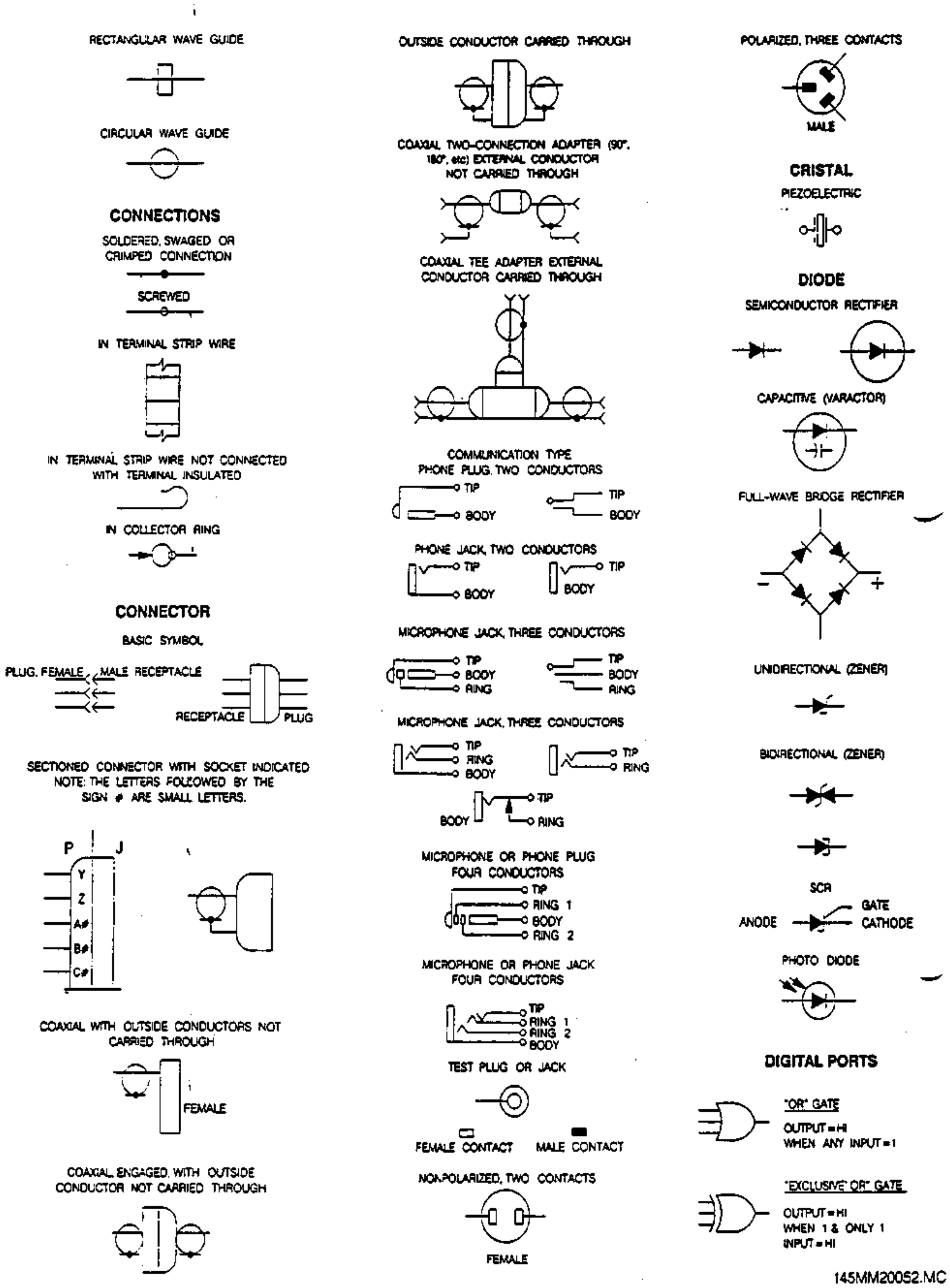

RECTANGULAR WAVE GUIDE
CIRCULAR WAVE GUIDE
CONNECTIONS
SOLDERED, SWAGED OR CRIMPED CONNECTION
SCREWED
IN TERMINAL STRIP WIRE
IN TERMINAL STRIP WIRE NOT CONNECTED WITH TERMINAL INSULATED
IN COLLECTOR RING
CONNECTOR
BASIC SYMBOL
PLUG, FEMALE
MALE RECEPTACLE
RECEPTACLE
PLUG
SECTIONED CONNECTOR WITH SOCKET INDICATED NOTE: THE LETTERS FOLLOWED BY THE SIGN # ARE SMALL LETTERS.
P
J
Y
Z
A#
B#
C#
COAXIAL WITH OUTSIDE CONDUCTORS NOT CARRIED THROUGH
FEMALE
COAXIAL ENGAGED, WITH OUTSIDE CONDUCTOR NOT CARRIED THROUGH
OUTSIDE CONDUCTOR CARRIED THROUGH
COAXIAL TWO-CONNECTION ADAPTER (90°, 180°, etc) EXTERNAL CONDUCTOR NOT CARRIED THROUGH
COAXIAL TEE ADAPTER EXTERNAL CONDUCTOR CARRIED THROUGH
COMMUNICATION TYPE PHONE PLUG, TWO CONDUCTORS
TIP
BODY
TIP
BODY
PHONE JACK, TWO CONDUCTORS
TIP
BODY
TIP
BODY
MICROPHONE JACK, THREE CONDUCTORS
TIP
BODY
RING
TIP
BODY
RING
MICROPHONE JACK, THREE CONDUCTORS
TIP
RING
BODY
TIP
RING
BODY
TIP
RING
MICROPHONE OR PHONE PLUG FOUR CONDUCTORS
TIP
RING 1
BODY
RING 2
MICROPHONE OR PHONE JACK FOUR CONDUCTORS
TIP
RING 1
RING 2
BODY
TEST PLUG OR JACK
FEMALE CONTACT
MALE CONTACT
NON-POLARIZED, TWO CONTACTS
FEMALE
POLARIZED, THREE CONTACTS
MALE
CRISTAL
PIEZOELECTRIC
DIODE
SEMICONDUCTOR RECTIFIER
CAPACITIVE (VARACTOR)
FULL-WAVE BRIDGE RECTIFIER
-
+
UNIDIRECTIONAL (ZENER)
BIDIRECTIONAL (ZENER)
SCR
ANODE
GATE
CATHODE
PHOTO DIODE
DIGITAL PORTS
"OR" GATE
OUTPUT = HI WHEN ANY INPUT = 1
"EXCLUSIVE" OR" GATE
OUTPUT = HI WHEN 1 & ONLY 1 INPUT = HI
145MM20052.MC

Figura 6-120 Símbolos elétricos VII

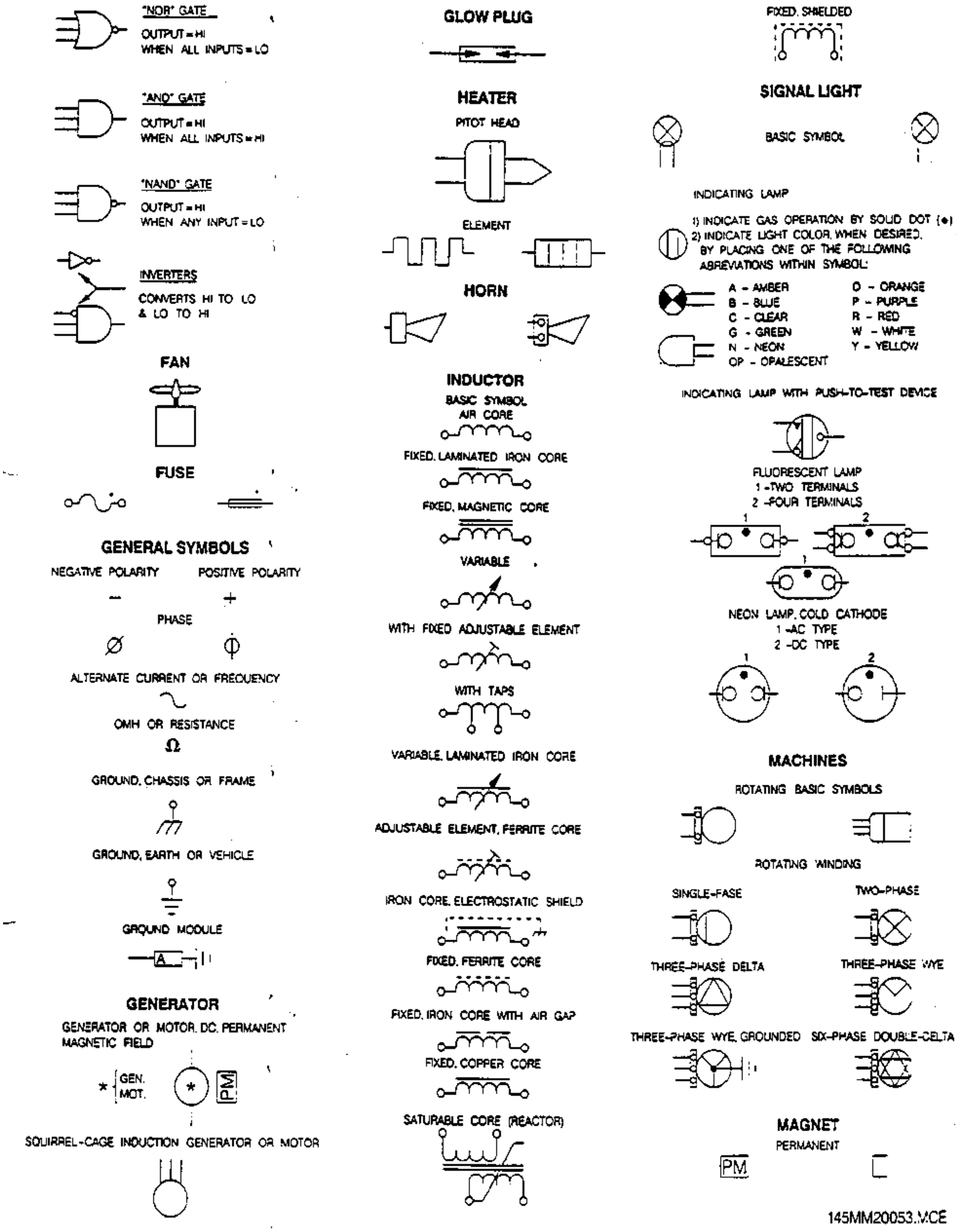

"NOR" GATE
OUTPUT = HI
WHEN ALL INPUTS = LO
"AND" GATE
OUTPUT = HI
WHEN ALL INPUTS = HI
"NAND" GATE
OUTPUT = HI
WHEN ANY INPUT = LO
INVERTERS
CONVERTS HI TO LO
& LO TO HI
FAN
FUSE
GENERAL SYMBOLS
NEGATIVE POLARITY
POSITIVE POLARITY
PHASE
ALTERNATE CURRENT OR FREQUENCY
OMH OR RESISTANCE
GROUND, CHASSIS OR FRAME
GROUND, EARTH OR VEHICLE
GROUND MODULE
A
GENERATOR
GENERATOR OR MOTOR, DC, PERMANENT
MAGNETIC FIELD
* GEN.
MOT.
PM
SQUIRREL-CAGE INDUCTION GENERATOR OR MOTOR
GLOW PLUG
HEATER
PITOT HEAD
ELEMENT
HORN
INDUCTOR
BASIC SYMBOL
AIR CORE
FIXED, LAMINATED IRON CORE
FIXED, MAGNETIC CORE
VARIABLE
WITH FIXED ADJUSTABLE ELEMENT
WITH TAPS
VARIABLE, LAMINATED IRON CORE
ADJUSTABLE ELEMENT, FERRITE CORE
IRON CORE, ELECTROSTATIC SHIELD
FIXED, FERRITE CORE
FIXED, IRON CORE WITH AIR GAP
FIXED, COPPER CORE
SATURABLE CORE (REACTOR)
FIXED, SHIELDED
SIGNAL LIGHT
BASIC SYMBOL
INDICATING LAMP
1) INDICATE GAS OPERATION BY SOLID DOT (•)
2) INDICATE LIGHT COLOR, WHEN DESIRED,
BY PLACING ONE OF THE FOLLOWING
ABREVIATIONS WITHIN SYMBOL:
A - AMBER
B - BLUE
C - CLEAR
G - GREEN
N - NEON
OP - OPALESCENT
O - ORANGE
P - PURPLE
R - RED
W - WHITE
Y - YELLOW
INDICATING LAMP WITH PUSH-TO-TEST DEVICE
FLUORESCENT LAMP
1 -TWO TERMINALS
2 -FOUR TERMINALS
1
2
1
NEON LAMP, COLD CATHODE
1 -AC TYPE
2 -DC TYPE
1
2
MACHINES
ROTATING BASIC SYMBOLS
ROTATING WINDING
SINGLE-FASE
TWO-PHASE
THREE-PHASE DELTA
THREE-PHASE WYE
THREE-PHASE WYE, GROUNDED
SIX-PHASE DOUBLE-DELTA
MAGNET
PERMANENT
PM
145MM20053.VCE

Figura 6-121 Símbolos elétricos VIII

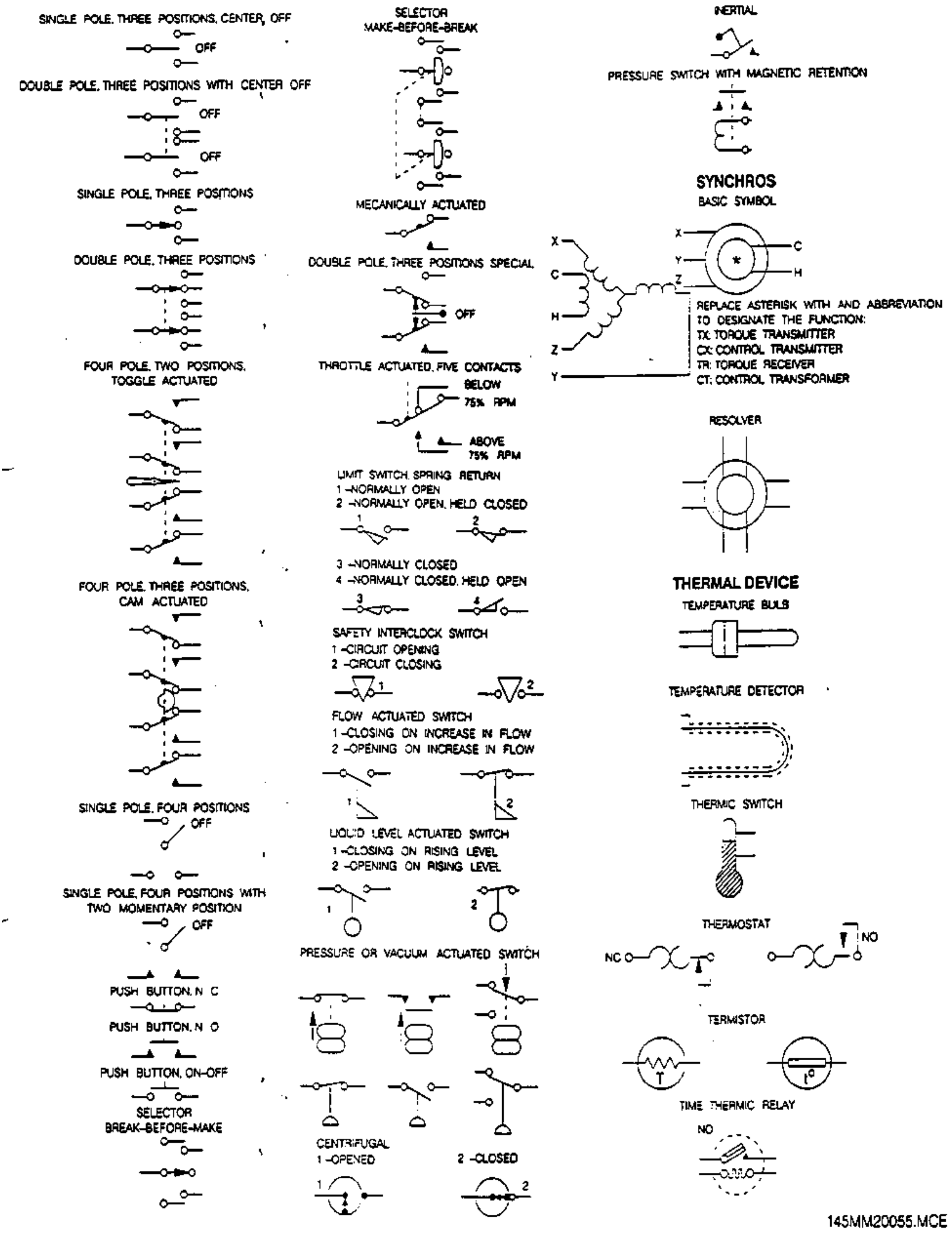

SINGLE POLE. THREE POSITIONS. CENTER, OFF
OFF
DOUBLE POLE. THREE POSITIONS WITH CENTER OFF
OFF
OFF
SINGLE POLE. THREE POSITIONS
DOUBLE POLE. THREE POSITIONS
FOUR POLE. TWO POSITIONS. TOGGLE ACTUATED
FOUR POLE. THREE POSITIONS. CAM ACTUATED
SINGLE POLE. FOUR POSITIONS
OFF
SINGLE POLE. FOUR POSITIONS WITH TWO MOMENTARY POSITION
OFF
PUSH BUTTON. N C
PUSH BUTTON. N O
PUSH BUTTON. ON-OFF
SELECTOR BREAK-BEFORE-MAKE
SELECTOR MAKE-BEFORE-BREAK
MECANICALLY ACTUATED
DOUBLE POLE. THREE POSITIONS SPECIAL
OFF
THROTTLE ACTUATED. FIVE CONTACTS
BELOW 75% RPM
ABOVE 75% RPM
LIMIT SWITCH. SPRING RETURN
1 -NORMALLY OPEN
2 -NORMALLY OPEN. HELD CLOSED
1
2
3 -NORMALLY CLOSED
4 -NORMALLY CLOSED. HELD OPEN
3
4
SAFETY INTERCLOCK SWITCH
1 -CIRCUIT OPENING
2 -CIRCUIT CLOSING
1
2
FLOW ACTUATED SWITCH
1 -CLOSING ON INCREASE IN FLOW
2 -OPENING ON INCREASE IN FLOW
1
2
LIQUID LEVEL ACTUATED SWITCH
1 -CLOSING ON RISING LEVEL
2 -OPENING ON RISING LEVEL
1
2
PRESSURE OR VACUUM ACTUATED SWITCH
CENTRIFUGAL
1 -OPENED
2 -CLOSED
1
2
INERTIAL
PRESSURE SWITCH WITH MAGNETIC RETENTION
SYNCHROS
BASIC SYMBOL
X
C
H
Z
Y
X
Y
Z
*
C
H
REPLACE ASTERISK WITH AND ABBREVIATION TO DESIGNATE THE FUNCTION:
TX: TORQUE TRANSMITTER
CX: CONTROL TRANSMITTER
TR: TORQUE RECEIVER
CT: CONTROL TRANSFORMER
RESOLVER
THERMAL DEVICE
TEMPERATURE BULB
TEMPERATURE DETECTOR
THERMIC SWITCH
THERMOSTAT
NC
NO
TERMISTOR
T
t°
TIME THERMIC RELAY
NO
145MM20055.MCE

Figura 6-122 Símbolos elétricos IX

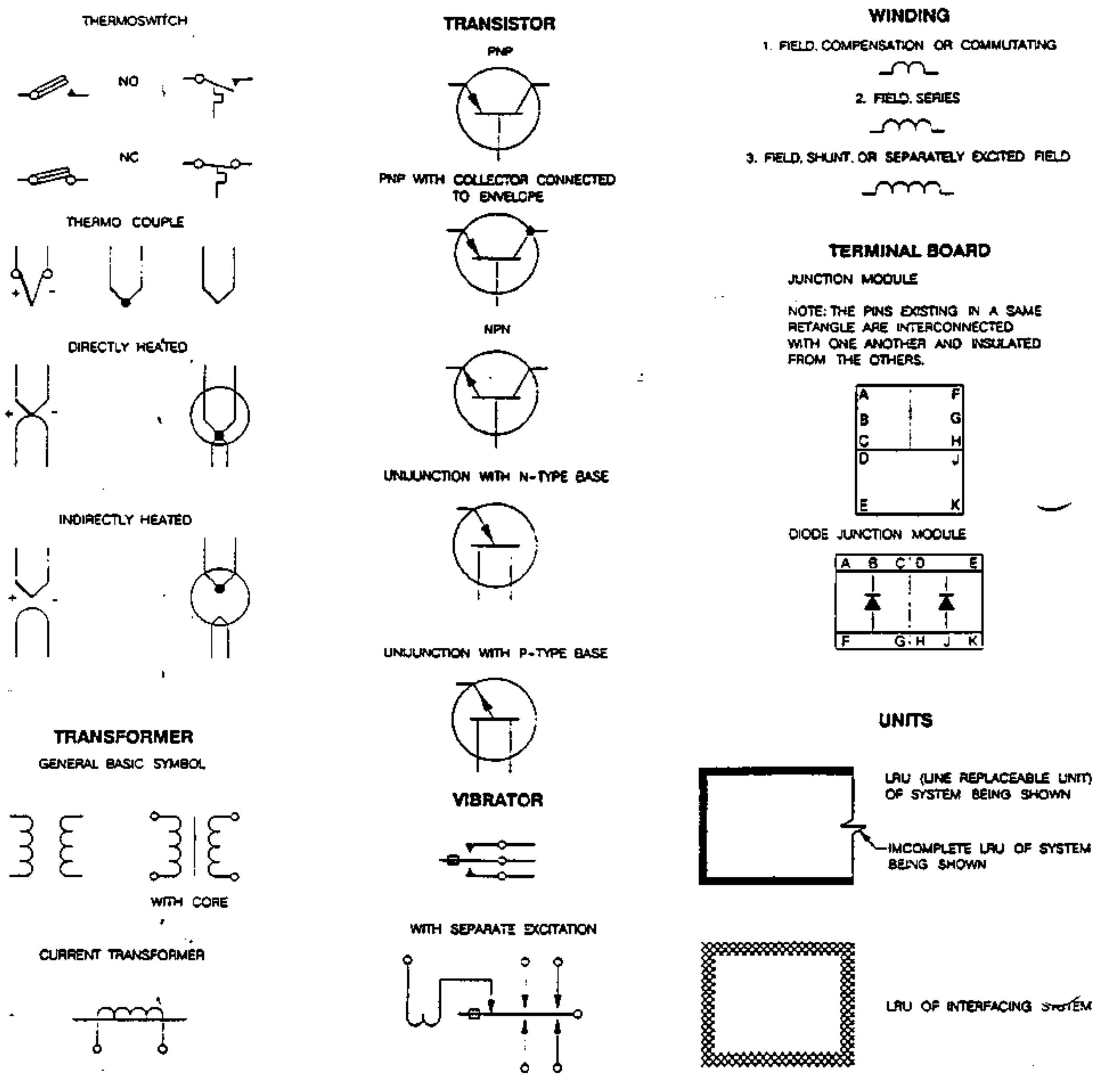

THERMOSWITCH
NO
NC
THERMO COUPLE
DIRECTLY HEATED
INDIRECTLY HEATED
TRANSFORMER
GENERAL BASIC SYMBOL
WITH CORE
CURRENT TRANSFORMER
TRANSISTOR
PNP
PNP WITH COLLECTOR CONNECTED TO ENVELOPE
NPN
UNIJUNCTION WITH N-TYPE BASE
UNIJUNCTION WITH P-TYPE BASE
VIBRATOR
WITH SEPARATE EXCITATION
WINDING
1. FIELD, COMPENSATION OR COMMUTATING
2. FIELD, SERIES
3. FIELD, SHUNT, OR SEPARATELY EXCITED FIELD
TERMINAL BOARD
JUNCTION MODULE
NOTE: THE PINS EXISTING IN A SAME RETANGLE ARE INTERCONNECTED WITH ONE ANOTHER AND INSULATED FROM THE OTHERS.
A
B
C
D
E
F
G
H
J
K
DIODE JUNCTION MODULE
A B C D E
F G H J K
UNITS
LRU (LINE REPLACEABLE UNIT) OF SYSTEM BEING SHOWN
INCOMPLETE LRU OF SYSTEM BEING SHOWN
LRU OF INTERFACING SYSTEM

Figura 6-123 Símbolos elétricos X

CAPÍTULO 7

SISTEMAS ELÉTRICOS DE PARTIDA E DE IGNIÇÃO DOS MOTORES

SISTEMAS ELÉTRICOS DE PARTIDA

A maioria dos motores de aeronaves é acionada por um dispositivo chamado motor de partida (*starter*), ou arranque.

O arranque é um mecanismo capaz de desenvolver uma grande quantidade de energia mecânica que pode ser aplicada a um motor, causando sua rotação.

Nos estágios anteriores de desenvolvimento de aeronaves, os motores de baixa potência eram acionados pela rotação da hélice através de rotação manual.

Algumas dificuldades foram freqüentemente experimentadas na partida, quando as temperaturas do óleo estavam próximas ao ponto de congelamento.

Em adição, os sistemas de magnetos forneciam uma centelha fraca na partida, e em velocidades de acionamento muito baixas. Isto foi muitas vezes compensado providenciando-se uma centelha quente, usando dispositivos de ignição como bobina de reforço, vibrador de indução ou acoplamento de impulso.

Algumas aeronaves de baixa potência, que usam acionamento manual da hélice para a partida, ainda estão sendo operadas. Para instruções gerais sobre a partida desse tipo de aeronave, consulta-se o Capítulo 11 do volume Matérias Básicas.

SISTEMAS DE PARTIDA DE MOTORES CONVENCIONAIS

Desde o início do desenvolvimento de motores convencionais ou alternativos de aeronaves (do sistema de partida mais antigo até o presente), inúmeros sistemas foram desenvolvidos. Os mais comuns são:

1) Cartucho. (Não usado comumente).
2) Manual de Inércia. (Não usado comumente).
3) Elétrico de Inércia. (Não usado comumente).
4) Inércia Combinado. (Não usado comumente).
5) Elétrico de Engrazamento Direto.

A maioria dos arranques de motores convencionais é do tipo elétrico de engrazamento direto.

Alguns dos poucos modelos mais antigos de aeronaves estão ainda equipados com um dos tipos de acionados de inércia, sendo em ocasiões muito raras, podem ser encontrados arranques de acionamento manual, inércia manual ou de cartucho. Então, somente uma breve descrição de cada um desses sistemas de partida estará incluída nesta seção.

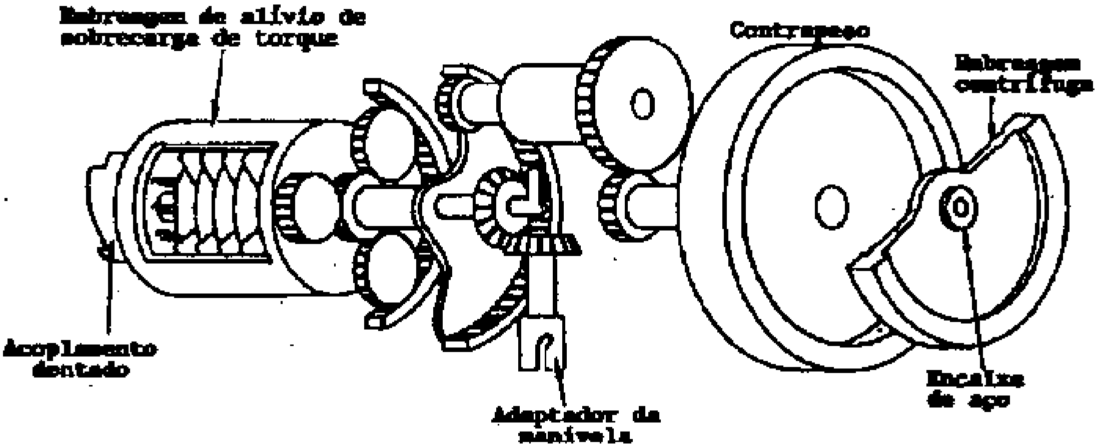


Figura 7-1 Motor de partida de inércia, combinado manual e elétrico.

Motores de Partida de Inércia

Existem três tipos gerais:

1) Manual de inércia;
2) Elétrico de inércia;
3) De inércia, combinado manual e elétrico.

A operação de todos os tipos de arranques de inércia, depende da energia cinética armazenada em um volante de rotação rápida em condições de giro. (Energia cinética é a força processada por um corpo pela eficiência do seu estado de movimento, que pode ser movido ao longo de uma linha ou pela ação de rotação).

No arranque de inércia, a potência é armazenada vagarosamente durante o processo de energização pelo giro manual ou elétrico, utilizando-se um pequeno motor. O volante e as engrenagens móveis de uma arranque de inércia, combinado manual e elétrico, são mostrados na figura 7-1. O circuito elétrico para um arranque de inércia elétrica é mostrado na figura 7-2.

Durante a energização do motor de partida, todas as partes internas se movem, incluindo o volante, formando um conjunto em movimento.

Assim que o arranque tiver sido completamente energizado, ele é acoplado ao eixo de manivelas do motor por um cabo, acionado manualmente, ou por um solenidade de acoplamento que é eletricamente energizado.

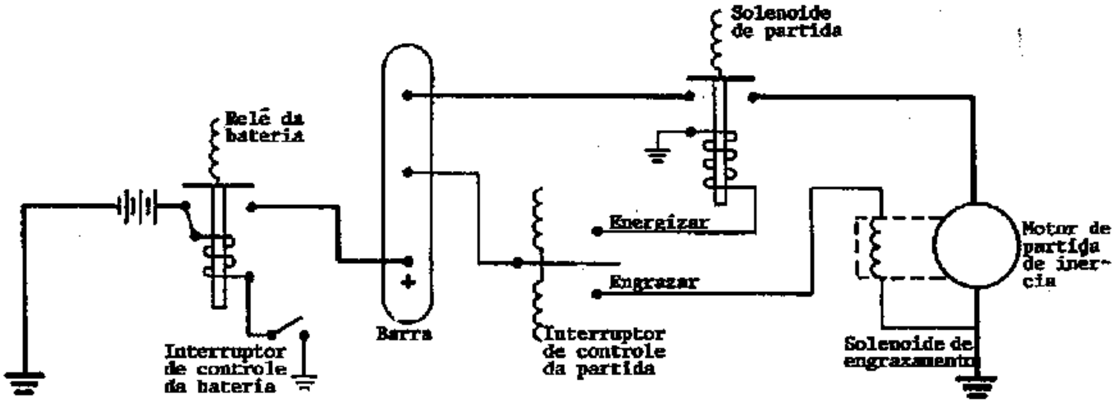

Solenoide de partida
Relê da bateria
Energizar
Engrazar
Motor de partida de inércia
+
Barra
Interruptor de controle da partida
Solenoide de engrazamento
Interruptor de controle da bateria

Figura 7-2 Circuito de partida

Quando o arranque é acoplado ou engrazado, a energia do volante é transferida para o motor através de um conjunto de engrenagens de redução e embreagem de liberação de sobrecarga de torque. (ver figura 7-3).

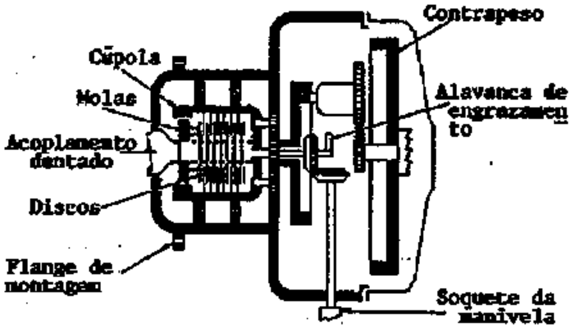

Contrapeso
Cúpola
Molas
Acoplamento dentado
Discos
Flange de montagem
Alavanca de engrazamento
Soquete da manivela

Figura 7-3 Embreagem de alívio da sobrecarga

Motor de Partida Elétrico de Engrazamento Direto

O sistema de partida largamente utilizado em todos os tipos de motores alternativos, é o arranque elétrico de acionamento direto.

Esse tipo de arranque provê acionamento instantâneo e contínuo quando energizado, consistindo, basicamente, em um motor elétrico, engrenagens de redução e um mecanismo de acomplamento e desacoplamento, que são operados através de uma embreagem ajustável de alívio de sobrecarga de torque.

Um circuito típico para um arranque elétrico de acionamento direto é mostrado na figura 7-4.

O motor é acionado diretamente quando o solenóide do arranque é fechado.

Desde que não haja nenhum volante sendo usado, não há armazenamento preliminar de energia, como no caso de um arranque de inércia.

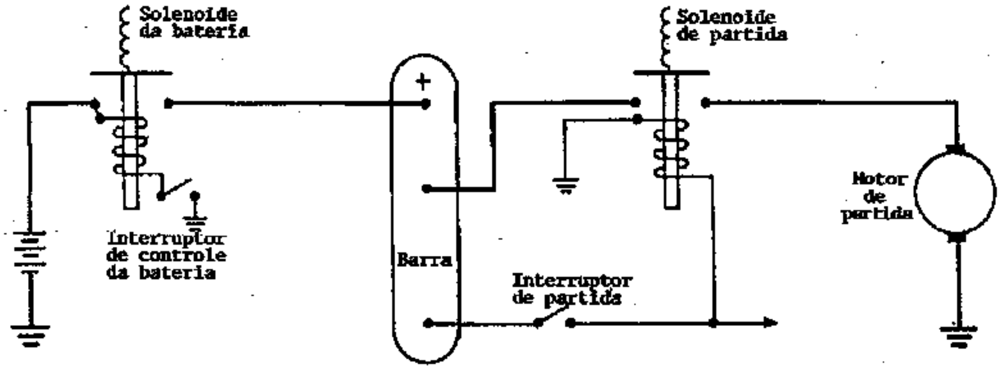
Conforme mostrado na figura 7-4, os cabos condutores principais do arranque para a bateria, são para os serviços pesados, para conduzir o fluxo que pode ser tão alto como 350 ampères, dependendo do torque requerido na partida.

O uso de solenóides e cablagens grossas com chaves de controle remoto, reduzem, acima de tudo, o peso do cabo e a queda total de voltagem no circuito. Um motor de arranque típico é um motor de 12 ou 24 volts, enrolamento em série, que desenvolve elevado torque na partida.

O torque do motor é transmitido através de engrenagens de redução para a embreagem de alívio de sobrecarga.

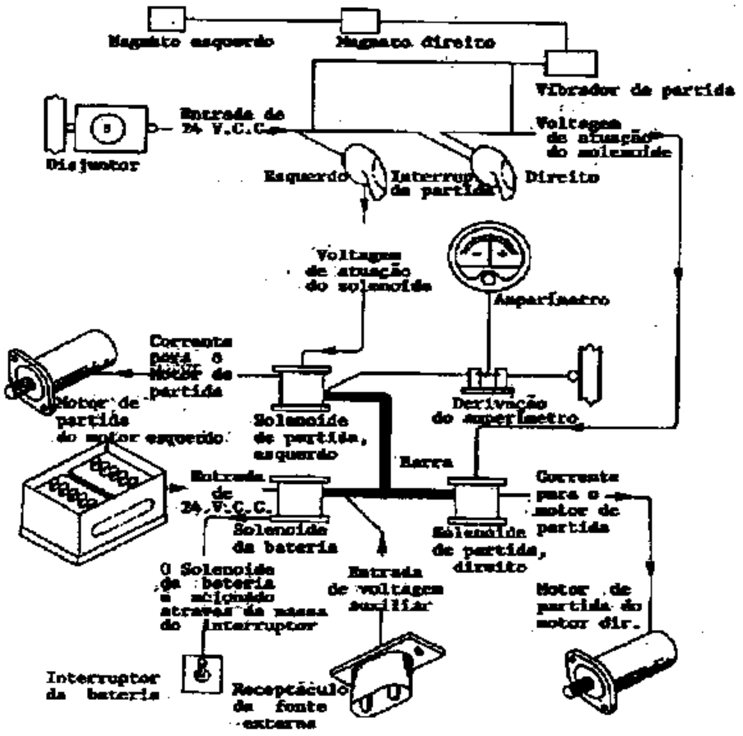
Tipicamente, essa ação faz atuar um eixo estriado helicoidal, movendo a castanha do motor de arranque para fora, acoplando-a à castanha de acionamento do motor de aeronave, antes que a castanha do arranque comece a girar.

Assim que o motor da aeronave alcança uma velocidade pré-determinada, o motor de arranque desacopla automaticamente.



Solenoide da bateria
Solenoide de partida
Interruptor de controle da bateria
Barra
Interruptor de partida
Motor de partida

Figura 7-4 Típico circuito, usando um motor de partida elétrico de engrazamento direto



Magnéto esquerdo
Magneto direito
Vibrador de partida
Disjuntor
Entrada de 24 V.C.C.
Voltagem de atuação do solenoide
Esquerdo
Interruptor de partida
Direito
Voltagem de atuação do solenoide
Amperímetro
Corrente para o Motor de partida
Motor de partida do motor esquerdo
Solenoide de partida, esquerdo
Derivação do amperímetro
Barra
Entrada de 24 V.C.C.
Solenoide da bateria
Corrente para o motor de partida
Solenoide de partida, direito
O Solenoide da bateria é acionado através da massa do interruptor
Entrada de voltagem auxiliar
Motor de partida do motor dir.
Interruptor da bateria
Receptáculo da fonte externa

Figura 7-5 Esquema de partida do motor de uma aeronave leve bimotora

O esquema da figura 7-5 provê um arranjo pictorial de um sistema de partida completo para uma aeronave leve de dois motores.

SISTEMA DE PARTIDA USANDO MOTOR DE INÉRCIA COMBINADO

O assunto seguinte cobre um tipo de sistema utilizado em grandes aeronaves bimotoras. Esse sistema inclui para cada motor, um arranque de inércia combinado, uma bobina de reforço, uma chave de polo simples, duplo acionamento na cabine, cablagens e solenóides conforme necessário. O arranque de inércia combinado é mostrado na figura 7-6.

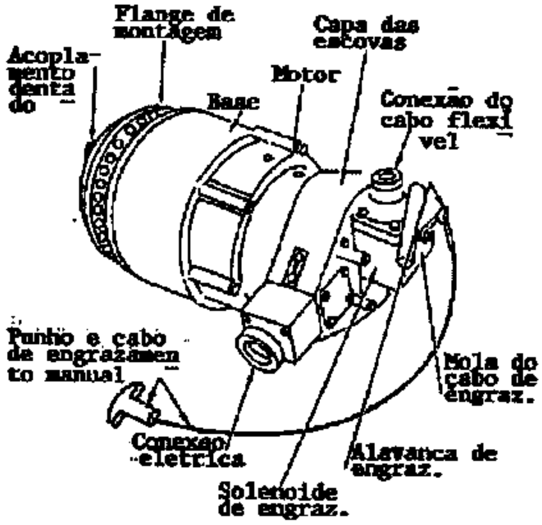


Figura 7-6 Motor de partida de inércia combinado

Controles externos de partida manual, incorporando uma manivela para acionamento do arranque e cabo de controle para a partida, são providos para a partida do motor, manualmente (figura 7-7)

Duas chaves de partida estão localizadas no painel elétrico da cabine. Comandando a chave "para cima" opera-se o arranque. A mesma chave, comandada "para baixo" opera o solenóide de acoplamento de arranque e a bobina ativadora de ignição.

A posição "off" da chave está entre aquelas duas posições. A bobina de reforço operada pela bateria, montada em um alojamento blindado, está instalada no suporte de cada motor. Conduítes flexíveis protegem os condutores da bobina para os magnetos de cada motor.

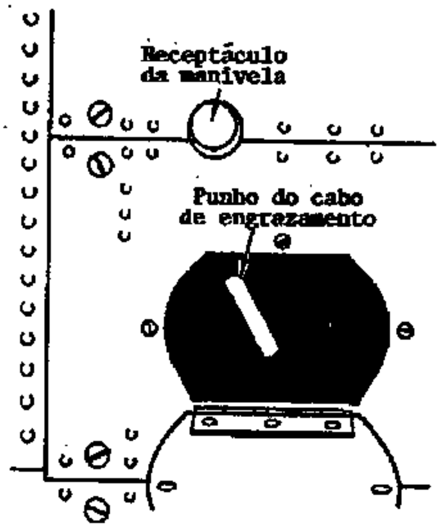


Figura 7-7 Controles de partida

SISTEMA DE PARTIDA ELÉTRICO DE ENGRAZAMENTO DIRETO PARA GRANDES MOTORES CONVENCIONAIS

Para um sistema de partida típico para motor alternativo de alta potência, o arranque elétrico de acionamento direto consiste em dois componentes básicos: um conjunto motor e uma seção de engrenagens. A seção de engrenagens é aparafusada no terminal do eixo de acionamento do motor para formar uma unidade completa.

O motor consiste de um induzido e um conjunto pinhão, o conjunto do sino traseiro e o conjunto do alojamento do motor. O alojamento do motor também age como cabeçote magnético para o campo da estrutura.

O motor de arranque é irreversível, interpolado em série. Sua velocidade varia diretamente com a voltagem aplicada, e inversamente com a carga.

A seção de engrenagens do motor de arranque, mostrada na figura 7-8, consiste de um alojamento com flange de montagem, engrenagem planetária de redução, um conjunto de engrenagens sol e integral, uma embreagem limitadora de torque, e um conjunto de castanha e cone.

Quando o circuito do motor é fechado, o torque desenvolvido no motor do arranque é transmitido para a castanha através do trem de engrenagens de redução e embreagem.

O trem de engrenagens do arranque converte a alta velocidade e baixo torque do motor em baixa velocidade e alto torque.

Na seção de engrenagens, o pinhão do motor acopla a engrenagem na árvore de transmissão intermediária (consultar a figura 7-8). O pinhão da árvore intermediária acopla a engrenagem interna, esta fica sendo uma parte integral do conjunto da engrenagem sol, e é rigidamente fixada ao eixo da engrenagem. A engrenagem sol aciona três engrenagens planetas, que são do conjunto planetário.

Os eixos individuais das engrenagens planetas são suportados por um braço de apoio do planetário, uma parte semelhante a um cilindro mostrado na figura 7-8. O braço de apoio transmite o torque das engrenagens planetas para a castanha do arranque como segue:

1) A porção cilíndrica do braço de apoio é estriada longitudinal ao redor da superfície interna.
2) As ranhuras são cortadas sobre a superfície exterior da parte cilíndrica da castanha do arranque.
3) A castanha desliza para frente e para trás, dentro do braço de apoio, para acoplar e desacoplar com o motor.

As três engrenagens planetárias também acoplam os dentes internos circundantes nos seis discos de embreagem (figura 7-8).

Esses discos são intercalados com os de bronze, que são estriados externamente, evitando-os de girar. A pressão correta é mantida sobre o pacote da embreagem por um conjunto de mola de retenção da embreagem.

Uma porca de passeio cilíndrica dentro da castanha do arranque estende e retrai a castanha. Estrias espirais da castanha de acoplamento ao redor da parede interna da porca casam com as estrias similares, cotadas sobre a extensão do eixo da engrenagem sol (figura 7-8).

A rotação do eixo força a porca para fora e esta faz o apoio com a castanha. A mola, ao redor da porca de passeio, apoia com a porca, e tende a manter a superfície da embreagem helicoidal ao redor da parede interna da cabeça da castanha, assentada contra uma superfície similar ao redor do lado inferior da cabeça da porca.

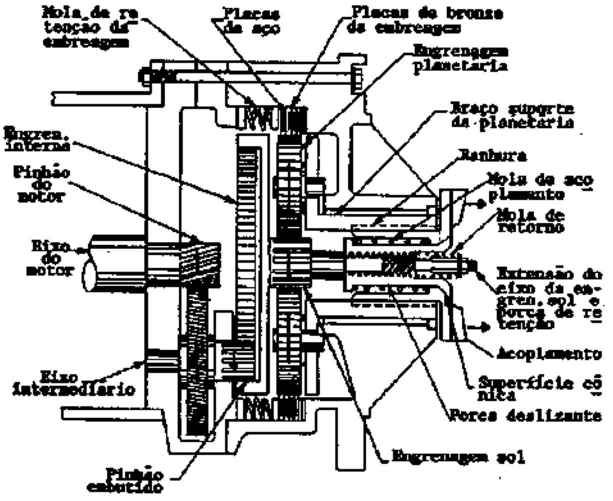

Mola de re tenção da embreagem
Placas de aço
Placas de bronze da embreagem
Engrenagem planetaria
Braço suporte da planetaria
Ranhura
Mola de aco plamento
Mola de retorno
Extensão do eixo da engren. sol e porca de re tenção
Acoplamento
Superfície cô nica
Porca deslizante
Engrenagem sol
Engren. interna
Pinhão do motor
Eixo do motor
Eixo intermediario
Pinhão embutido

Figura 7-8 Seção de engrenagens do motor de partida

Uma mola de retorno está instalada sobre a extensão do eixo da engrenagem sol, entre o anteparo formado pelas estrias ao redor da parede interna da porca de passeio e uma porca de retenção do batente sobre a ponta do eixo.

Por causa das superfícies cônicas da embreagem, a porca de passeio e a castanha do arranque são acopladas pela pressão da mola da castanha, e as duas partes tendem a girar na mesma velocidade. Entretanto, a extensão do eixo da engrenagem sol gira seis vezes mais rápida do que a castanha.

As estrias espirais sobre ela são cortadas à esquerda, e a extensão do eixo da engrenagem sol, girando para a direita em relação a castanha, força a porca e a castanha para fora do arranque no seu passeio total (cerca de 5/16"), em aproximadamente 12 graus da rotação da castanha.

A castanha move-se para fora até ser parada pelo acoplamento com o motor, ou pela porca de retenção do seu batente.

O passeio da porca continua a mover-se lentamente além do limite do curso da castanha; sendo o suficiente para aliviar a pressão da mola sobre as superfícies cônicas da embreagem helicoidal.

Enquanto o arranque continua a girar, há uma pressão suficiente sobre as superfícies cônicas da embreagem para prover torque sobre as estrias espirais, que pesam mais do que a pressão da mola da castanha.

Se o motor falhar na partida, a castanha do arranque não se retrairá, desde que o mecanismo do arranque não produza força de retração.

Entretanto, quando o motor inflama e ultrapassa a velocidade do arranque, as rampas inclinadas dos dentes da castanha forçam a castanha do arranque para dentro, contra a pressão de mola. Assim, desacopla inteiramente as superfícies cônicas da embreagem, e a pressão da castanha força a porca de passeio a deslizar ao longo das estrias espirais, até que as superfícies cônicas da embreagem estejam novamente em contato.

Com ambos, motor e arranque girando, haverá uma força de acoplamento mantendo as castanhas em contato, que continuarão até que o arranque seja desenergizado. Entretanto, o rápido movimento dos dentes da castanha do motor, encontrarão o movimento vagaroso dos dentes da castanha do arranque, segurando o desacoplamento desta.

Tão logo o arranque comece a repousar, a força de acoplamento é removida, e a pequena mola de retorno jogará a castanha do arranque para dentro da posição totalmente retraída, onde permanecerá até a próxima partida.

Quando a castanha do arranque acopla a castanha do motor, o induzido do motor precisa ter um tempo para alcançar uma velocidade considerável por causa do seu alto torque na partida.

O repentino acoplamento da castanha do arranque em movimento com o motor parado poderia desenvolver forças suficientemente altas para danificar severamente o motor ou o arrranque, não o fazendo de certo modo sobre os discos da embreagem, os quais deslizam quando o torque do motor excede o torque de deslizamento da embreagem. Em ação normal de acionamento, os discos internos da embreagem (aço) são mantidos parados pela fricção dos discos de bronze, com os quais estão intercalados.

Quando o torque imposto pelo motor excede ao do engate, o conjunto da embreagem e os discos internos da embreagem giram contra a fricção da embreagem, permitindo que as engrenagens planetas girem enquanto o braço de apoio da planetária e a castanha permanecem parados. Quando o motor da aeronave sobe para a velocidade na qual o arranque está tentando acioná-lo, o torque cai para um valor menor que o assentado para a embreagem.

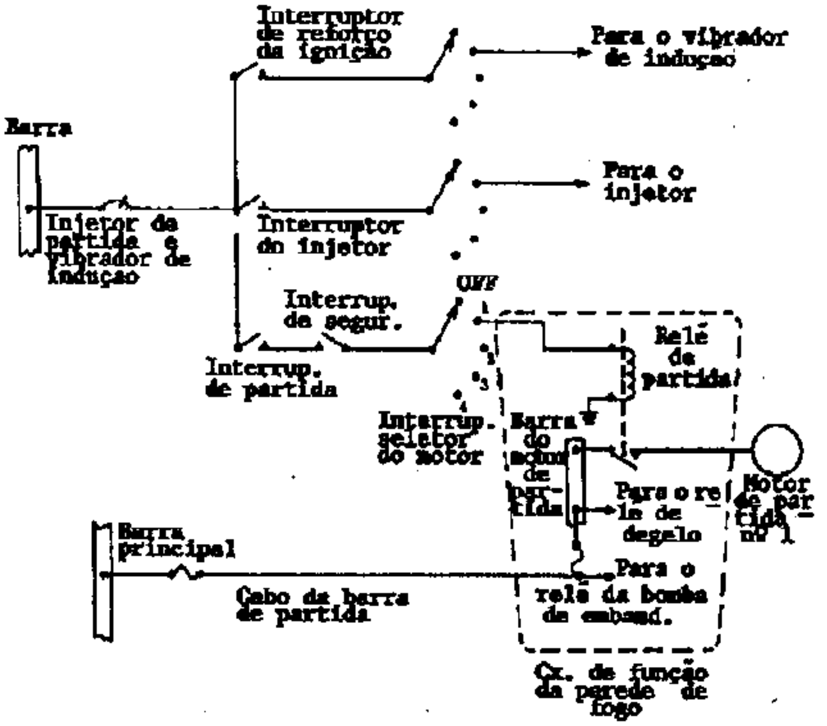

Interruptor de reforço da ignição
Para o vibrador de indução
Barra
Para o injetor
Injetor da partida e vibrador de indução
Interruptor do injetor
OFF
Interrup. de segur.
Relé de partida
Interrup. de partida
1
3
4
Interrup. seletor do motor
Barra do motor de partida
Motor de partida nº 1
Para o relé de degelo
Barra principal
Para o relé da bomba de embarq.
Cabo da barra de partida
Cx. de função da parede de fogo

Figura 7-9 Circuito de controle de partida

Os discos de embreagem da engrenagem interna permanecem parados, e a castanha gira a uma velocidade na qual o motor está tentando acioná-los.

As chaves de controle do arranque são mostradas esquematicamente na firua 7-9.

A chave seletora do motor deve ser posicionada, e ambas as chaves do arranque e de segurança (ligadas em série) devem ser fechadas antes da energização do arranque.

A corrente é suprida para o circuito de controle do arranque de um interruptor, estampado "*Starter, Primer e Induction Vibrator*"(figura 7-9). Quando a chave seletora está posicionada para a partida do motor, fechando as chaves do arranque e de segurança, ela energiza o relé do arranque localizado na caixa de junção da parede de fogo. Energizando o relé do arranque, completa-se o circuito de potência para o motor de partida. A corrente necessária para essa carga pesada está sendo tomada diretamente do barramento principal através dos cabos do arranque.

Após a energização do arranque por um minuto, deverá ser permitido pelo menos um minuto para resfriamento. Após um segundo, ou subsequente período de acionamento de 1 minuto, deverá resfriar por 5 minutos.

SISTEMA DE PARTIDA ELÉTRICO DE ENGRAZAMENTO DIRETO PARA PEQUENAS AERONAVES

A maioria das pequenas aeronaves de motor alternativo emprega sistema de partida elétrico de acionamento direto. Alguns desses sistemas são automaticamente acoplados aos sistemas de partida, enquanto outros o são manualmente.

Os sistemas de partida acoplados automaticamente, empregam um motor de arranque elétrico montado sobre um adaptador do motor. Um solenóide de partida é ativado, ou por um botão de empurrar, ou por uma chave de ignição no painel de instrumento.

Quando o solenóide é ativado, seus contatos fecham, e a energia elétrica energiza o motor de partida. A rotação inicial do motor elétrico acopla o motor de partida através de uma embreagem no adaptador, que incorpora engrenagens espirais (sem fim) de redução.

Os sistemas de partida acoplados manualmente em pequenas aeronaves empregam um pinhão de acionamento de embreagem para transmitir potência de um motor de partida elétrico para uma engrenagem de acionamento de partida do eixo de manivelas (Ver a figura. 7.10).

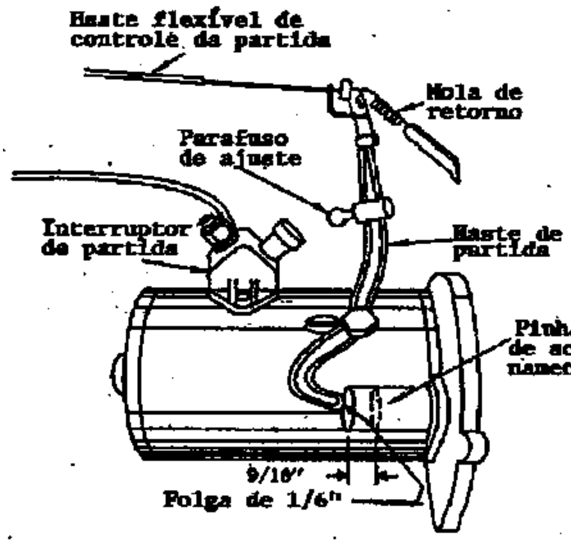


Figura 7-10 Hastes de controle do motor de partida e ajustes

Um botão ou punho no painel de instrumentos está conectado por um controle flexível a uma alavanca no motor de partida. Esta alavanca eleva o pinhão de acionamento do motor de partida para a posição acoplada, e fecha os contatos da chave do motor de partida quando o botão do motor de partida ou o punho é empurrado.

A alavanca do motor de partida está presa na mola que retorna a alavanca e o controle flexível para a posição OFF. Quando o motor dá a partida, a ação da embreagem protege o pinhão de acionamento do motor de partida até que a alavanca de mudança possa estar livre para desacoplar o pinhão.

Conforme mostrado na figura 7-10, para uma unidade típica, há um comprimento específico de curso para a engrenagem pinhão do motor de partida.

É importante que a alavanca do motor de partida mova a engrenagem pinhão a uma distância apropriada, antes que o estojo da alavanca ajustável faça contato com a chave do arranque.

PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PARTIDA

A maioria das práticas de manutenção do sistema de partida incluem substituição das molas e das escovas, limpeza de acúmulos dos comutadores e torneamento das partes queimadas ou arrendondamento dos comutadores do motor de partida.

Como regra, as escovas do motor de partida devem ser substituídas quando desgastadas aproximadamente na metade do seus comprimentos originais. A tensão da mola da escova deve ser o suficiente para que elas tenham um bom e firme contato com o comutador. Os guias das escovas não devem estar quebrados, e os parafusos do terminal bem apertados.

Sujeira ou espelhamento dos comutadores do motor de partida podem ser limpos segurando uma tira de lixa "00", ou uma pedra de assentamento da escova contra o comutador enquanto ele é girado.

PROBLEMAS	ISOLANDO O PROBLEMA	AÇÃO CORRETIVA
ARRANQUE NÃO OPERA:		
Defeito da chave principal ou do circuito.	Verificar o circuito.	Reparar o circuito
Defeito na chave do arranque ou no circuito.	Verificar a continuidade da chave e do circuito.	Substituir a chave ou os fios.
A alavanca do arranque não atua a chave.	Verificar o ajuste da alavanca do arranque.	Ajustar a alavanca de acordo com as instruções do fabricante
Arranque defeituoso.	Verificar os itens anteriores, se não houver outra causa, o defeito é do arranque.	Remover e reparar ou susbstituir o arranque
O *ARRANQUE GIRA MAS NÃO ENGRAZA NO MOTOR:*		
Alavanca do arranque ajustada para ativar chave sem engrazar o pinhão na engrenagem	Verificar a ajustagem da alavanca do arranque.	Ajustar a alavanca de acordo com as instruções do fabricante.
Defeito na embreagem ou na engrenagem de acionamento	Remover o arranque e testar a embreagem e a engrenagem.	Substituir a parte defeituosa.
Engrenagem pinhão ou de acionamento com defeito.	Remover e testar o pinhão e a engrenagem de acionamento.	Substituir a parte defeituosa.
ARRANQUE SEM FORÇA PARA GIRAR:		
Bateria fraca.	Testar a bateria.	Recarregar a bateria ou substituí-la
Contatos do relé ou da chave queimados ou sujos.	Testar os contatos.	Substituir por unidades perfeitas.

Arranque defeituoso.	Verificar as escovas e a tensão das suas molas e fixação.	Reparar ou substituir o arranque.
Comutadores sujos ou gastos	Limpar e verificar visualmente.	Tornear o comutador.
ARRANQUE EXCESSIVAMENTE BARULHENTO:		
Pinhão gasto	Remover e examinar o pinhão.	Substituir o acionamento do arranque.
Engrenagens gastas ou com dentes quebrados.	Remover o arranque e girar o seu motor com a mão para examinar o eixo das engrenagens.	Substituir as partes danificadas.

Tabela 1 Procedimentos para pesquisa de problemas no sistema de partida de pequenas aeronaves

A lixa ou a pedra devem ser movidas para frente e para trás para evitar desgaste da ranhura. Lixa de esmeril ou "carborundum"nunca devem ser usadas para este propósito, por causa de sua possível ação de curto circuito.

Rugosidade, fora de arrendondamento, ou condições de "alta mica", são razões para tornear o comutador.

No caso de condição de "alta mica", ela deve ser cortada assim que a operação de torneamento esteja cumprida.

Consulta-se, o Livro Matérias Básicas, para uma revisão de comutadores de "alta mica" nos motores.

Pesquisa de panes nos sistemas de partida em pequenas aeronaves

Os procedimentos de pesquisa de panes listados na tabela 1 são típicos daqueles usados para isolar mal funcionamento em sistemas de partida de pequenas aeronaves.

SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES DE TURBINA A GÁS

Motores de turbina a gás são acionados pela rotação do compressor. Nos motores com dois estágios axiais do compressor, apenas o compressor de alta pressão é girado pelo motor de partida. Para acionar um motor de turbina a gás, é necessário acelerar o compressor provendo ar suficiente para suportar a combustão nos queimadores.

Uma vez que o combustível tenha sido introduzido, e o motor tenha partido, o motor de partida deva continuar acionando o motor para chegar a uma velocidade acima da velocidade de auto aceleração.

O torque suprido pelo motor de partida deve estar acima do que é requerido, a fim de superar a inércia do compressor e as cargas de fricção do motor.

Os tipos básicos de motores de partida, que foram desenvolvidos para uso nos motores de turbina a gás, são motores elétricos C.C., turbina de ar e combustão. Um sistema de partida de impacto é algumas vezes usado em motores pequenos. Uma partida desse tipo consiste de jatos de ar comprimido, dirigidos para dentro do compressor ou da carcaça da turbina, de modo que a rajada do jato de ar seja direcionada para dentro do compressor ou das palhetas do rotor da turbina, causando sua rotação.

O gráfico na figura 7-11 ilustra uma seqüência típica de partida para um motor de turbina a gás, a despeito do tipo de motor empregado.Tão logo o arranque tenha acelerado o compressor suficientemente para estabelecer o fluxo de ar através do motor, a ignição é ligada, e depois o combustível.

A seqüência exata do procedimento de partida é importante, desde que haja fluxo de ar suficiente através do motor para suportar a combustão, antes que a mistura ar/combustível seja inflamada.

A baixas velocidades do eixo do motor, a razão do fluxo de combustível não é suficiente para possibilitar a aceleração do motor e, por essa razão, o motor de partida continua a girar até que a velocidade de auto aceleração tenha sido conseguida.

Se a assistência do motor de partida for cortada abaixo da velocidade de auto aceleração, o motor falha para acelerar até a velocidade de marcha lenta, ou pode ainda ser desacelerado, porque não pode produzir energia suficiente para sustentar a rotação ou para acelerar durante a fase inicial do ciclo de partida.

O motor de partida deve continuar a auxiliar o motor, consideravelmente acima da velocidade de auto aceleração, para evitar um retardo no ciclo de partida, que poderia resultar em uma partida quente ou falsa, ou uma combinação de ambas.

Em pontos apropriados na seqüência, o motor de partida, e geralmente a ignição, serão desligados automaticamente.

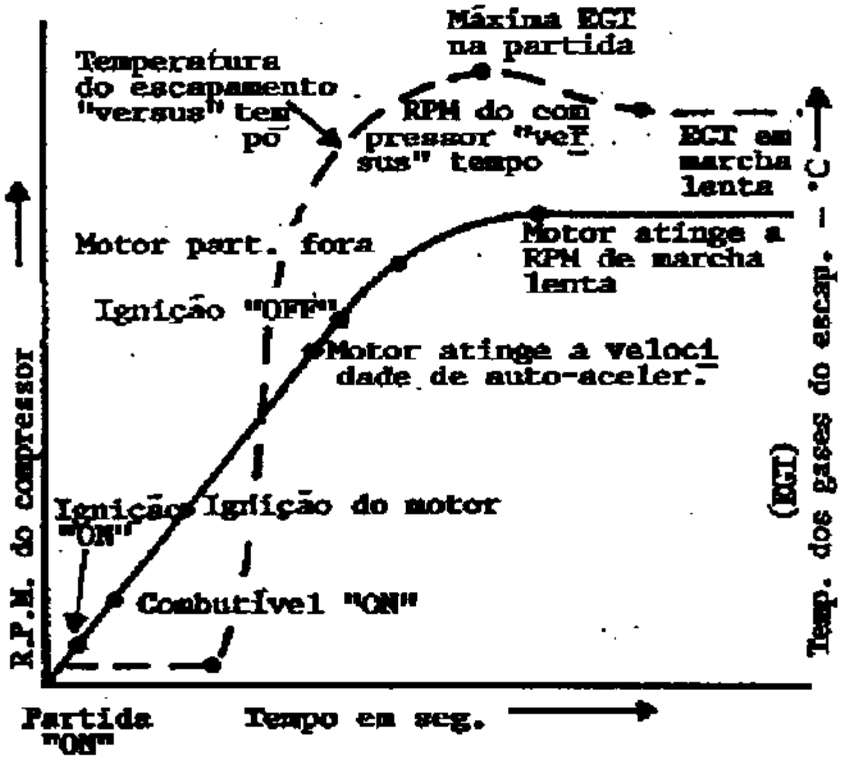


Figura 7-11 Típica sequência de partida de motor a turbina

Sistemas elétricos de partida

Os sistemas elétricos de partida são de dois tipos, em geral: (1) Sistemas elétricos de acionamento direto; e (2) Sistemas de arranque-gerador.

Os sistemas elétricos de partida de acionamento direto são similares aqueles usados nos motores alternativos. O sistema de motor de partida arranque- gerador são similares aos sistemas elétricos de acionamento direto. Eletricamente, os dois sistemas podem ser idênticos, mas o motor de "arranque-gerador" é permanentemente acoplado com o eixo do motor através de necessárias engrenagens de acionamento, enquanto o motor de partida de acionamento direto deve empregar alguns meios de desacoplamento do eixo após o acionamento do motor da aeronave.

Motores de partida de acionamento direto nos motores de tubina a gás

Em alguns arranques de acionamento direto, usados nos motores de turbina a gás, nenhuma embreagem de alívio de sobrecarga ou mecanismo de engrenagem de redução são usados. Isto acontece por causa dos requerimentos de baixo torque e de alta velocidade para a partida dos motores de turbina a gás.

Um mecanismo de redução de voltagem é utilizado, principalmente nos sistemas de partida para evitar danos no conjunto de acoplamento.

A figura 7-12 mostra o circuito de controle de redução de voltagem. O mecanismo é montado em alojamento à prova de explosão, que contém 5 relés e uma resistência de 0,042 ohm. Quando a chave da bateria é fechada, a mola do relé de retardo é energizada. O aterramento do circuito para a mola deste relé é completada através do motor de partida.

Quando a chave do motor de partida é movida para a posição partida, um circuito é completado para a mola de aceleração. O fechamento dos contatos do relé completam um circuito da barra, através dos contatos fechados, o resistor de 0,042 ohm, da bobina do relé em série, e finalmente através do motor de partida para o aterramento. Desde que o resistor de 0,042 ohm cause uma queda na voltagem, a baixa voltagem é aplicada ao motor de partida, evitando danos de torque elevado. O relé de retardo volta para sua posição normal (fechado), desde que nenhuma diferença de pontencial exista entre os terminais da bobina do relé de retardo com os contatos fechados do relé de aceleração.

O fechamento do relé de retardo completa um circuito para a bobina do relé do motor (fig. 7-12). Com o relé do motor energizado, um circuito completo existe através desse relé e a bobina do relé em série para o motor de partida, desviando o resistor de 0,042ohm.

Quando a corrente de 200 anpères ou mais flui para o motor de partida, a bobina do relé em série é energizada suficientemente para fechar os seus contatos. A chave do motor de partida pode então estar liberada para retornar para sua posição normal “off”, porque o circuito do motor de partida está completo através do relé de parada, e o relé em série contacta a mola do relé do motor.

Conforme o motor de partida aumenta a rotação, uma força eletromotiva contrária se desenvolve o suficiente para permitir ao relé em série abrir-se e interromper o circuito para o relé do motor.

Entretanto, o período de partida é controlado automaticamente pela velocidade do motor de arranque.

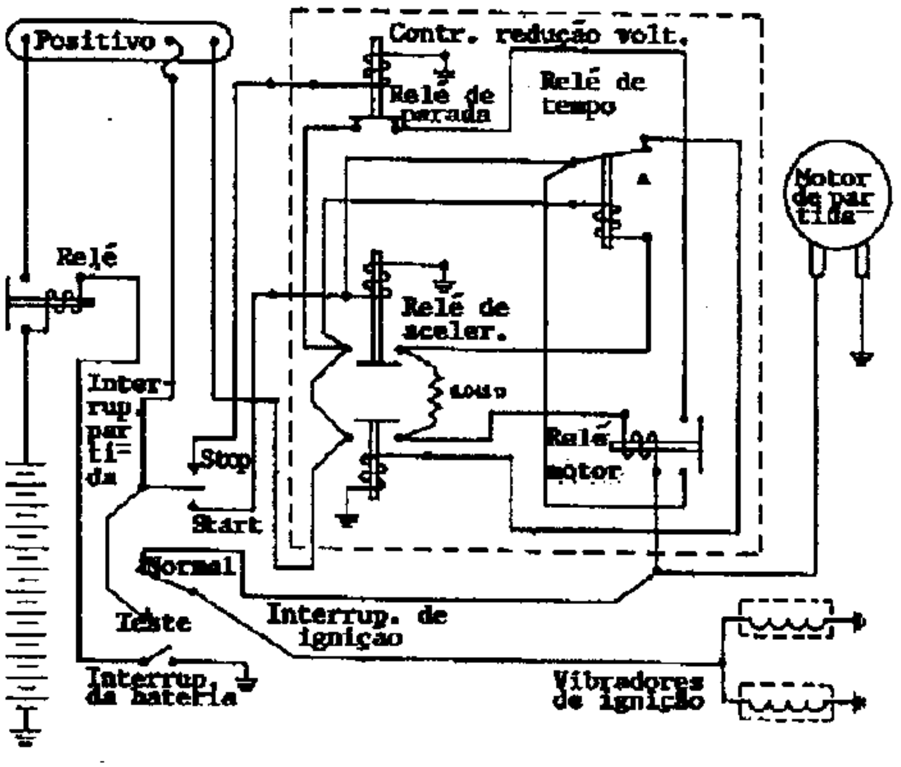


Figura 7-12 Figura Circuito de controle de redução de voltagem para sistema de partida de engrazamento direto para motor de turbina a gás

SISTEMA DE PARTIDA ARRANQUE-GERADOR

Muitos dos aviões de turbina a gás são equipados com sistemas de arranque-gerador. Esses sistemas de partida usam uma combinação de arranque-gerador que opera como um motor de arranque para acionar o motor durante a partida; e após o motor ter alcançado a velocidade de auto-sustentação, opera como um gerador para suprir a potência do sistema elétrico.

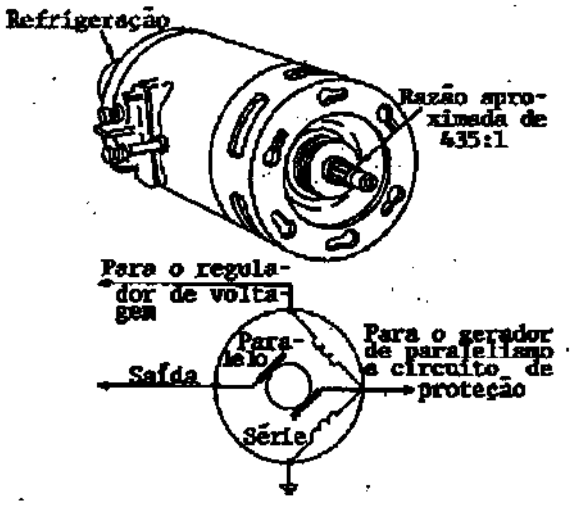

Refrigeração
Razão aproximada de 435:1
Para o regulador de voltagem
Paralelo
Saída
Para o gerador de paralelismo e circuito de proteção
Série

Figura 7-13 Típico "Arranque-gerador"

A unidade arranque-gerador, mostrada na figura 7-13, é basicamente uma derivação do gerador com uma quantidade adicional de enrolamentos em série. Este enrolamento em série está eletricamente conectado para produzir um forte campo, resultando num alto torque para a partida.

As unidades arranque-gerador são desejáveis por um ponto de vista econômico, uma vez que executa as funções de ambos, arranque e gerador. Adicionalmente, o peso total dos componentes do sistema de partida é reduzido, e poucas peças de reposição são requeridas.

O circuito interno de um arranque-gerador mostrado na figura 7-14 tem 4 enrolamentos de campo: (1) Campos em série (campo "C"); (2) Uma derivação do campo; (3) Um campo de compensação; e (4) Um enrolamento de interpolação ou comunicação. Durante a partida, os enrolamentos em série ("C "), de compensação e comunicação, são usados.

A unidade é similar ao arranque de acionamento direto, uma vez que todos os enrolamentos usados durante a partida estão em série com a fonte. Enquanto agindo como arranque, a unidade faz uso prático de sua derivação de campo. Uma fonte de 24 volts e 15500 ampères é geralmente requerida para a partida.

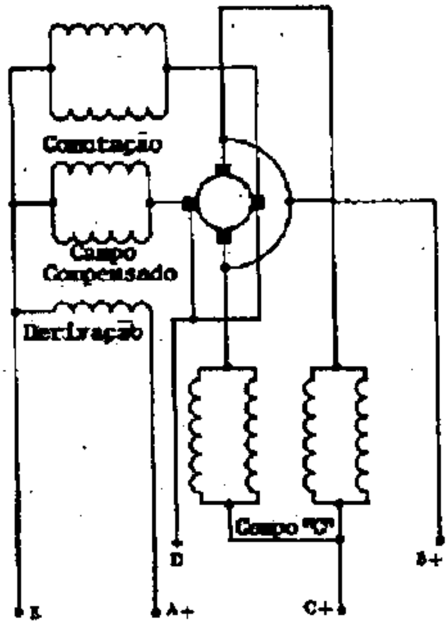


Figura 7-14 Circuito interno do arranque-gerador

Quando operando como gerador, os enrolamentos de derivação, compensação e comunicação são usados. O campo "C" é usado somente para propósitos de partida. O campo de derivação é conectado no circuito de controle de voltagem convencional para o gerador. Enrolamentos de compensação e comutação (interpolos) suprem a comutação quase sem centelha, de nenhuma carga para carga total.

A figura 7-15 ilustra o circuito externo de um arranque-gerador com um controlador de baixa corrente. Essa unidade controla o arranque-gerador quanto este é usado. Seu propósito é assegurar ação positiva de arranque, e mantê-lo operando até que o motor esteja girando rápido o suficiente para sustentar a combustão. O bloco de controle do controlador de baixa corrente contém dois relés, um é o relé do motor, que controla a entrada para o arranque; o outro é o relé de baixa corrente, que controla a operação do relé do motor.

A sequência de operação para o sistema de partida mostrado na figura 7-15 é discutido nos parágrafos seguintes.

Para dar partida num motor equipado com um relé de baixa corrente, primeiro é necessário desligar a chave mestra do motor. Isto completa o circuito da barra da aeronave para a chave de partida, para as válvulas de combustível e para o relé, as bombas de combustível são acionadas, e completando o circuito da válvula de combustível, dá a pressão necessária para a partida do motor.

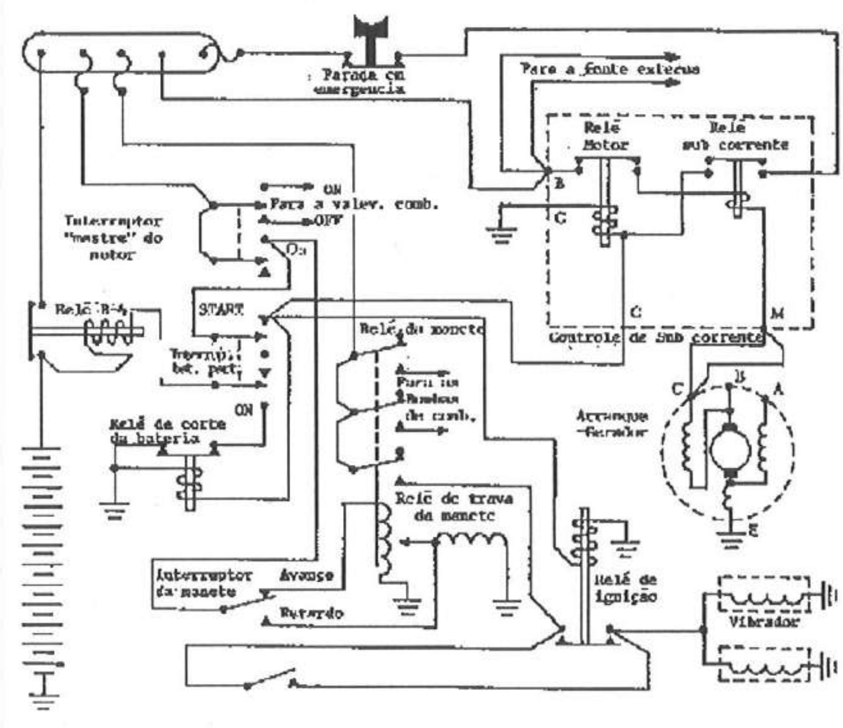

Parada em emergência
Para a fonte externa
Relé Motor
Relé sub corrente
B
C
C
M
Controle de sub corrente
ON
Para a válv. comb.
OFF
Interruptor "mestre" do motor
On
Relé B-4
START
Interrup. bat. part.
Relé do manete
Para as bombas de comb.
ON
Relé de corte da bateria
Arranque -Gerador
C
B
A
E
Relé de trava da manete
Interruptor da manete
Avanço
Retardo
Relé de ignição
Vibrador

Figura 7-15 Circuito de motor de arranque-gerador

Conforme a chave da bateria e de partida são ligadas, três relés fecham. Eles são o relé do motor, o da ignição e o de corte da bateria. O relé do motor fecha o circuito da fonte de potência para o motor de arranque; o relé de ignição fecha o circuito da unidade de ignição; e o de corte da bateria, desconecta a bateria. A abertura do circuito da bateria é necessária porque o pesado dreno de energia do motor de arranque danificaria a bateria.

O fechamento do relé do motor permite que uma corrente muito alta flua para o motor. Desde que essa corrente flua através da bobina do relé de baixa corrente, ele fecha.

O fechamento do relé de baixa corrente completa um circuito da barra positiva para a bobina do relé do motor de partida, bobina do relé de ignição e bobina do relé de corte da bateria, A chave de partida está liberada para retornar a sua posição normal "desligada", e todas as unidades continuem a operar.

Conforme a velocidade do motor se desenvolve, o dreno de corrente começa a diminuir, e ao atingir menos de 200 ampères o relé de baixa corrente abre. Isto abre o circuito da barra positiva para as bobinas dos relés do motor, ignição e corte da bateria. A desenergização das bobinas dos relés faz parar a operação de partida.

Depois que os procedimetnos descritos estiverem completos, o motor está operando eficientemente, e a ignição auto sustentada. Se o motor falhar para atingir a velocidade suficiente, interrompendo a operação de partida, a chave de parada pode ser usada para abrir o circuito da barra positiva para os contatos principais do relé de baixa corrente.

Numa instalação típica de aeronave, um arranque-gerador é montado na caixa de acessórios do motor. Durante a partida, a unidade do arranque-gerador funciona como um motor de partida C.C. até que o motor tenha chegado a uma velocidade pré-determinada de auto-sustentação.

Aviões equipados com duas baterias de 24 volts podem suprir a carga elétrica requerida para a partida pela operação das baterias instaladas em série.

A descrição seguinte do procedimento de partida usado num avião turbojato de 4 motores, equipado com uma unidade de arranque-gerador, é típico da maioria dos sistemas de partida de arranque-gerador.

A potência de partida, que só deve ser aplicada a um arranque-gerador por vez, está conectada a um terminal de seleção do arranque-gerador através de um relé de partida correspondente. A partida do motor é controlada por um painel.

Um painel de partida típico (figura 7-16) contém as seguintes chaves: chave seletora do motor, seletora de potência, de partida em vôo e uma chave de partida.

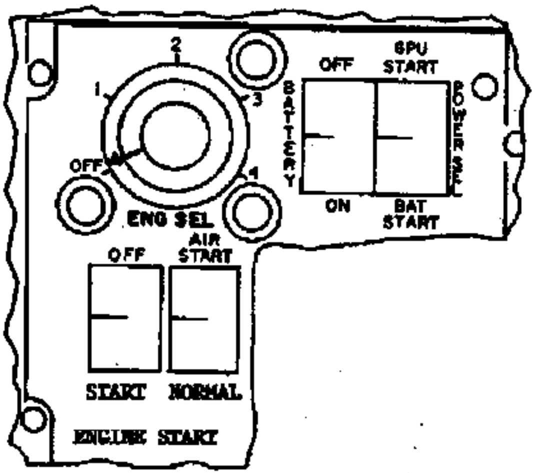


Figura 7-16 Painel de partida do motor

A chave seletora do motor mostrada na figura 7-16 tem cinco posições (“1”, “2”, “3”, “4” e “OFF”), e é girada para a posição correspondente ao motor a ser acionado.

A chave seletora de energia é usada para selecionar o circuito elétrico aplicável da fonte de externa (unidade auxiliar de energia ou bateria) que está sendo usada. A chave de partida em vôo, quando colocada na posição “NORMAL”, arma o circuito de partida no solo.

Quando colocada na posição “AIR-START”, os ignitores podem ser energizados independentemente da chave de ignição da manete. A chave de partida, quando na posição “START”, completa o circuito para o arranque-gerador do motor selecionado para a partida, e causa a rotação do motor. O painel de partida do motor mostrado, também inclui uma chave de bateria.

Quando um motor de partida é selecionado com a chave seletora, e a chave de partida é mantida na posição “START”, o relé de partida correspondente ao motor selecionado é energizado, e conecta aquele arranque-gerador do motor à barra de partida. Quando a chave de partida é colocada na posição “START”, um relé de travamento de partida é também energizado. Uma vez energizado, o relé provê seu próprio circuito de atuação e permanece energizado, provendo circuitos fechados para as funções de partida.

Durante a partida no solo, o relé de alívio temporário de sobrevoltagem para cada arranque-gerador selecionado, é energizado através de circuitos de controle de partida.

Quando o relé está energizado, a proteção de sobrevoltagem para o arranque-gerador selecionado é suspensa. Um caminho alternativo do regulador de voltagem para o arranque-gerador selecionado é também provido para remover controle e resistência indesejáveis do campo de derivação de partida.

Em algumas aeronaves, uma chave de bateria está instalada no compartimento do receptáculo da fonte externa. Quando a porta é fechada, ativando a chave, os circuitos de controle de partida no solo funcionam somente para partida com a bateria. Quando a porta é aberta, somente partidas com a fonte externa podem ser efetuadas.

Um relé em série para a bateria é também uma unidade necessária no sistema de partida. Quando energizado, o relé da bateria conecta duas baterias de 24 volts em série para o barramento de partida, provendo uma voltagem inicial de 48 volts.

A grande queda de voltagem, que ocorre na entrega da corrente necessária para a partida, reduz a voltagem em aproximadamente 20 volts. A voltagem aumenta gradualmente, à medida em que a corrente de partida diminui com a aceleração do motor e a voltagem no barramento do arranque. Eventualmente, se aproxima do seu máximo original de 48 volts.

PROBLEMAS	ISOLANDO O PROBLEMA	AÇÃO CORRETIVA
O MOTOR DA AERONAVE NÃO GIRA DURANTE A TENTATIVA DE PARTIDA		
Baixo suprimento de voltagem para o arranque.	Verificar a voltagem da bateria ou da fonte externa.	Ajustar a voltagem da fonte externa ou das baterias.
Chave de força defeituosa.	Verificar a continuidade do interruptor.	Substituir a chave.
Interruptor do quadrante da manete.	Verificar a continuidade do interruptor.	Substituir o interruptor.
Relé de travamento (lockout) energizado.	Verificar a posição da chave de controle do gerador.	Colocar a chave na posiçãp “OFF”.
Relé em série da bateria está defeituoso.	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé em série da bateria, acusa 48 V.C.C.	Substituir o relé se não houver voltagem.
O relé de partida está defeituoso.	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé de partida, cruzam 48 V.C.C.	Substituir o relé se não houver voltagem.
Defeito no motor de arranque.	Com o circuito de partida energizado, verificar se a voltagem adequada chega ao arranque.	Se houver voltagem, substituir o arraque.
Defeito no relé de travamento ligado (lock-in).	Com o circuito de partida energizado, verificar se através da bobina do relé cruzam 28 V.C.C.	Substituir o motor da aeronave.
Eixo de acionamento do arranque de um componente da caixa de engrenagens está cisalhado.	Ouvir som do arranque durante a tentativa de partida. Se o arranque gira e o motor da aeronave não, o eixo está cisalhado.	Substituir o motor da aeronave.
O MOTOR DA AERONAVE DÁ PARTIDA, MAS NÃO ACELERA PARA A MARCHA LENTA		
Arranque com voltagem insuficiente.	Testar a voltagem terminal do arranque.	Utilizar uma fonte externa de maior potência, ou aumentar a carga da bateria.
O MOTOR DA AERONAVE FALHA NA PARTIDA QUANDO A MANETE É COLOCADA EM MARCHA LENTA (IDLE)		
Sistema de ignição com defeito.	Ligar o sistema e ouvir se os acendedores estão operando.	Limpar ou substituir os acendedores, ou substituir os excitadores ou a fiação para os acendedores.

Tabela 2 Procedimentos para pesquisa de problemas no sistema de partida “Arranque-gerador”

Algumas aeronaves multimotoras equipadas com arranque-geradores incluem um relé de partida em paralelo no seu sistema de partida. Após a partida dos dois primeiros motores de uma aeronave quadrimotora o fluxo de corrente necessário para a partida dos outros dois motores passa através de um relé de partida em paralelo. Após a partida dos dois primeiros motores, o requerimento de potência, necessário para a partida, conecta as duas baterias em série. Assim que o geradores de dois ou mais motores estejam provendo energia, a energia combinada das duas baterias em série não é mais necessária. Quando o relé de partida em paralelo é energizado, o circuito da bateria é trocado de série para paralelo.

Para dar a partida num motor com as baterias do avião, a chave de partida é colocada na posição "START" (Figura 5-16). Isto completa um circuito através de um disjuntor, da chave de ignição da manete e da chave seletora do motor, para energizar o relé de travamento na posição ligada (*lock-in*). A energia, então, tem um caminho da chave do arranque através da posição "BAST START" da chave seletora de energia, para energizar o relé de baterias em série, pois ele conecta as baterias do avião em série com a barra de partida.

Energizando o relé do arranque do motor nº 1, direciona-se energia da barra de partida para o arranque-gerador nº 1, que então gira o motor.

Ao mesmo tempo em que as baterias são conectadas para a barra de partida, a energia é direcionada para a barra apropriada pela chave de ignição da manete. O sistema de ignição é conectado para a barra de partida através de um relé de sobrevoltagem, que não se torna energizado até que o motor comece a acelerar e a voltagem da barra de partida chegue acerca de 30 volts.

Conforme o motor é girado pelo arranque, a aproximadamente 10% de r.p.m., a manete é avançada para a posição "IDLE" (Marcha Lenta). Esta ação atua sobre a chave de ignição da manete, energizado o relé do ignitor. Quando o relé do ignitor é fechado, a energia é provida para excitar os ignitores e inflamar o motor.

Quando o motor chega entre 25 a 30% de r.p.m., a chave de partida é liberada para a posição "OFF" .

Isto remove os circuitos de ignição e partida do ciclo de partida do motor, que então acelera sob sua própria potência.

Pesquisa de panes do sistema de partida arranque-gerador

Os procedimentos listados na tabela 2 são típicos daqueles usados para reparo de mal funcionamento no sistema de partida de arranque-gerador, similar ao sistema descrito nesta seção. Esses procedimentos são apresentados como um guia. As instruções apropriadas dos fabricantes e as diretivas aprovadas de manutenção de vem sempre ser consultadas para a aeronave envolvida.

SISTEMAS ELÉTRICOS DE IGNIÇÃO

Os requisitos básicos para o sistema de ignição de motores de combustão interna são sempre os mesmos, independente do tipo de motor envolvido ou do feitio dos componentes do sistema.

Esse sistema deve liberar uma centelha de alta energia para cada cilindro do motor na seqüência de ignição, com um número de graus de avanço predeterminado em relação ao ponto morto alto do pistão.

A voltagem de alimentação do sistema deve ser suficiente para garantir a ocorrência do centelhamento entre os eletrodos da vela, sob todas as condições de operação.

O sistema de ignição dos motores a reação é operado apenas durante o ciclo de partida do motor, sendo, portanto, menos complexo e estando sujeito a um menor número de problemas em comparação com os sistemas de ignição dos motores convencionais.

O sistema de ignição do motor alternativo pode ser dividido em duas classes: ignição por bateria ou ignição por magneto. O sistema é também classificado como: simples ou de ignição dupla.

O sistema simples consiste em um magneto e fiação associada. Esse sistema foi usado em muitos motores pequenos de baixa rotação; atualmente é mantido em uso em pequenos motores de cilindro opostos de aeronaves.

SISTEMA DE IGNIÇÃO POR BATERIA

Poucas aeronaves ainda utilizam o sistema de ignição por bateria, onde o suprimento de energia elétrica provém de uma bateria ou de um gerador, ao invés do magneto.

Esse sistema é similar ao utilizado na maioria dos automóveis. Um excêntrico, acionado pelo motor, comanda a abertura de um contato elétrico diversas vezes para interromper o fluxo de corrente da bobina primária de um transformador. O resultado do colapso do campo magnético induz uma alta voltagem na bobina secundária, a qual é direcionada por um distribuidor para o cilindro apropriado. A figura 7-17 mostra o esquema simplificado deste sistema.

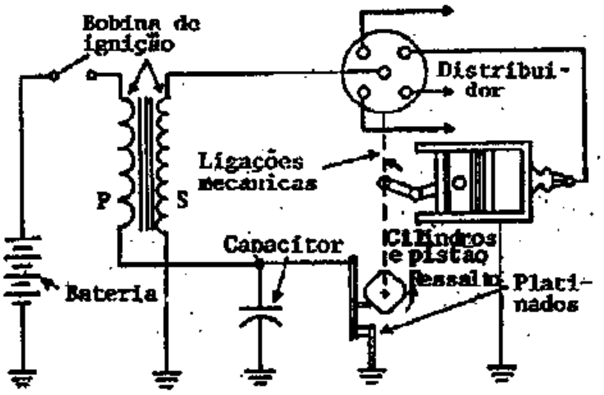


Figura 7-17 Sistema de ignição por bateria

SISTEMA DE IGNIÇÃO POR MAGNETO

O magneto, um tipo especial de gerador de corrente alternada acionado pelo motor, usa um imã permanente como fonte de energia. Ele desenvolve alta voltagem, forçando uma centelha que salta entre os eletrodos da vela em cada cilindro. Sua operação está sincronizada com o motor, de maneira que a centelha ocorra somente quando o pistão estiver no curso apropriado em um específico número de graus do eixo de manivelas, antes do ponto morto alto.

O sistema de ignição por magneto nos aviões pode ser classificado como : sistema por magneto de baixa ou de alta tensão. O de baixa tensão (que será comentado posteriormente) gera uma baixa voltagem que é distribuída para uma bobina de transformador, próximo de cada vela, eliminando assim alguns problemas inerentes ao sistema de alta tensão.

O sistema por magneto de alta tensão é o mais antigo dos dois e, desprezando algumas desvantagens, ainda é o mais largamente usado na aviação.

Sistema por magneto de alta tensão

O sistema por magneto de alta tensão pode ser dividido, para efeito de discussão, em três circuitos distintos; são eles: o circuito magnético, o circuito elétrico primário e o circuito elétrico secundário.

O circuito magnético consiste em um imã permanente rotativo de múltiplos pólos, um núcleo de ferro doce, e sapatas polares

O imã é acionado pelo motor, e gira na folga entre as sapatas polares, para fornecer linhas magnéticas de força (fluxo), necessárias para produzir uma voltagem elétrica. Os pólos do imã estão arranjados com polaridades alternadas, de modo que o fluxo magnético consiga, saindo do pólo norte, passar através do núcleo de ferro doce, retornando ao pólo sul.

Quando o ímã está na posição mostrada em “A”, da figura 7-18, o número de linhas de força através do núcleo da bobina é máximo, porque os dois pólos, magneticamente opostos, estão perfeitamente alinhados com os pólos da ferradura.

Essa posição do ímã rotativo é chamada de “capacidade plena”.

Ela produz o número máximo de linhas de força magnética no sentido horário através do circuito magnético, partindo da esquerda para a direita, do núcleo.

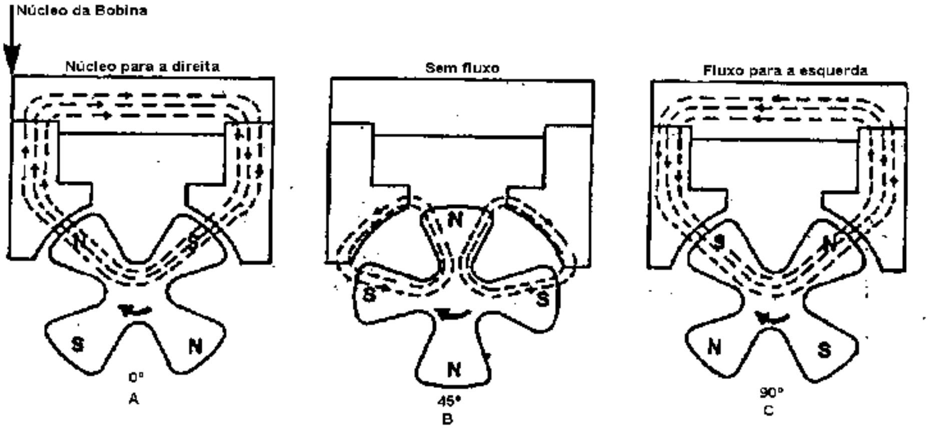


Figura 7-18 Fluxo magnético nas três posições do imã rotativo

Conforme o ímã vai saindo da posição de capacidade plena, a quantidade de fluxo através do núcleo vai diminuindo. Isso ocorre devido aos pólos do ímã serem afastados das sapatas polares, permitindo que apenas parte das linhas de fluxo passem através do núcleo.

Quanto mais o ímã se afasta da posição de capacidade plena, mais e mais linhas são curto-circuitadas através das extremidades das sapatas. Finalmente, na posição neutra (45º da posição de capacidade plena), todas as linhas estarão curto-circuitadas, e não haverá fluxo através do núcleo da bobina ("B"da figura 7-18).

Conforme o ímã gira de 0º para 45º, o número de linhas de fluxo através do núcleo da bobina diminui, da mesma maneira como ocorre o colapso gradual do fluxo do campo magnético de um eletroímã comum.

A posição neutra é aquela onde um dos ímãs permanentes encontra-se entre as sapatas polares.

Como o ímã gira no sentido horário, as linhas de fluxo que haviam sido curto-circuitadas nas extremidades da ferradura começam a fluir novamente através do núcleo da bobina. Entretanto, desta vez, as linhas fluem no sentido contrário, conforme é mostrado em "C" da figura 7-18.

A inversão do fluxo se deve ao fato de que o ímã, saindo da posição neutra, deixa o pólo norte em frente à sapata direita em vez da esquerda. (Ilustrado em "A" da figura 7-18).

Quando o ímã é girado novamente num total de 90º, mais uma vez a posição de capacidade plena é atingida, conseqüentemente o fluxo máximo é obtido, mas em sentido contrário.

A progressão de 90º do ímã é ilustrada graficamente na figura 7-19, onde a curva mostra como a densidade do fluxo magnético do núcleo da bobina (sem a bobina primária em torno do núcleo) muda ao passo que o ímã gira.

A figura 7-19 mostra que, conforme o ímã se afasta da posição de capacidade plena (0º), o fluxo vai diminuindo até atingir zero, exatamente na posição neutra (45º).

Agora à medida que o ímã se afasta da posição neutra, o fluxo aumenta, porém em sentido contrário, como indicado pela curva abaixo da linha horizontal. Em 90º, mas uma vez o fluxo máximo é atingido.

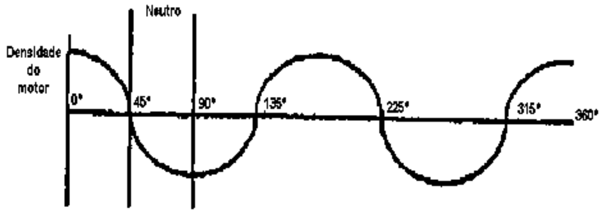


Figura 7-19 Mudança na densidade do fluxo durante a rotação do imã

Desta forma, para cada volta completa (360º) do ímã de quatro pólos, existirão quatro posições de fluxo máximo e quatro posições de fluxo reverso.

Uma discussão do circuito magnético demonstra como o núcleo da bobina é afetado pela rotação do ímã permanente, ficando sujeito a uma elevação ou redução do campo magnético e a uma mudança na polaridade, a cada progressão radial de 90º do ímã.

Uma bobina que faz parte integrante do circuito elétrico primário do sistema de ignição por magneto de alta tensão, quando é enrolada em torno do núcleo de ferro doce, também é afetada pela variação do campo magnético.

O circuito elétrico primário (figura 7-20) consiste em um par de contatos chamados de platinado (visto receberem um banho de platina, melhorando a condução elétrica e evitando a corrosão dos mesmos), um condensador e uma bobina de fios eletricamente isolados.

A bobina é constituída de várias espiras de fio grosso em cobre, com uma de suas extremidades aterrada no próprio núcleo, e a outra conectada ao contato platinado que não se encontra aterrado (ver figura 7-20).

O circuito primário é fechado somente quando os dois contatos se juntam. A terceira unidade no circuito, que é o condensador, está conectado em paralelo com o par de contatos. O condensador evita o arco voltaico entre os contatos quando o circuito está aberto, e acelera o colapso do campo magnético sobre a bobina primária.

O platinado será comandado próximo da posição de capacidade plena. Quando os contatos se tocam, o circuito elétrico primário está fechado e a rotação do ímã induz um fluxo de corrente na bobina. Essa corrente, por sua vez, gera um campo magnético, que possui a tendência de se opor a qualquer mudança no fluxo gerado pelo circuito de ímãs permanentes.

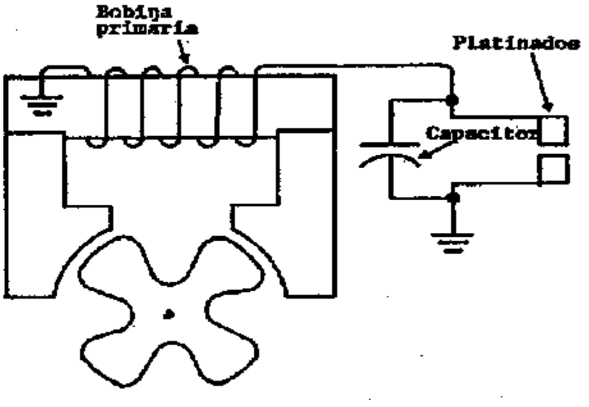


Figura 7-20 Circuito elétrico primário de um magneto de alta tensão

Enquanto a corrente induzida estiver circulando no circuito primário (bobina), ela se opõe a qualquer redução do fluxo magnético no núcleo. Isso está de acordo com a Lei de Lenz, que afirma: “Uma corrente induzida, sempre que fluindo em uma determinada direção, faz com que o magnetismo (gerado por esta corrente) se oponha a qualquer alteração a ele induzido”.

Para rever a Lei de Lenz, consulta-se o capítulo 8 de Matérias Básicas. Desta maneira, a corrente que passa pelo circuito primário mantém o fluxo magnético com um elevado valor e na mesma direção, até que o ímã em rotação tenha tempo de passar pela posição neutra para um ponto poucos graus à frente. Essa posição é chamada de folga “E” (onde “E” corresponde a eficiência e “folga” ao vão entre as sapatas polares).

Com o rotor de ímãs em posição de folga “E” e a bobina primária mantendo o campo mangnético do circuito em polaridade oposta, uma brusca mudança na direção do fluxo pode ser obtida pela abertura dos contatos.

A abertura dos contatos interrompe a circulação de corrente no circuito primário, e permite que o rotor de ímãs inverta rapidamente o sentido do fluxo magnético na bobina. Essa súbita reversão produz uma brusca mudança no sentido do fluxo no núcleo, que é sentida por uma segunda bobina chamada de secundária (exposta magneticamente, mas eletricamente isolada no núcleo), na qual será induzido um pulso de corrente de alta voltagem, pulso este necessário para provocar o centelhamento entre os eletrodos da vela.

Como o rotor está em movimento, na próxima vez em que estiver próximo de atingir a posição de capacidade plena, os contatos da bobina primária se fecharão novamente e o ciclo será repetido para provocar o centelhamento dos eletrodos da próxima vela do pistão seguinte na seqüência da ordem de fogo.

A seqüência de eventos pode, agora, ser revista em maiores detalhes para explanar como a situação de indução magnética ocorre.

Com o platinado, o excêntrico (came) e o condensador conectados no circuito, como mostrado na figura 7-21, a ação cíclica é representada pela curva gráfica da figura 7-22 quando o rotor gira.

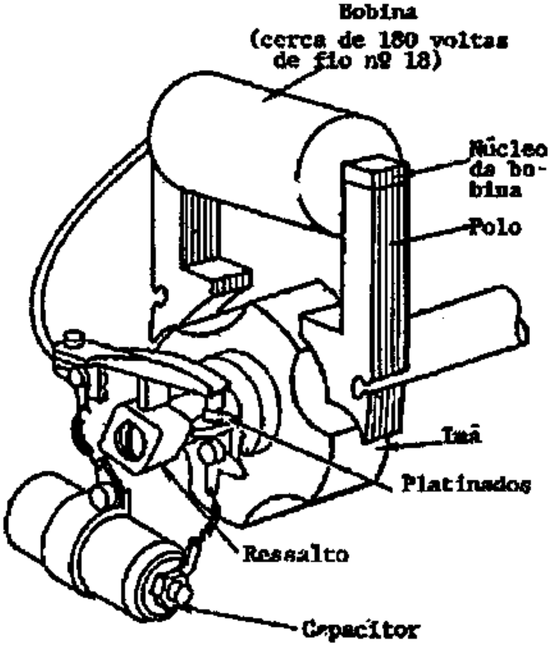


Figura 7-21 Componentes do circuito

Na parte “A” da figura 7-22, é mostrada a curva original do fluxo estático. Abaixo da curva é indicado o momento de abertura e fechamento do platinado. Nota-se que essa abertura e fechamento são sincronizados pelo excêntrico. Os contatos se tocam no momento em que a maior quantidade de fluxo estiver passando através do núcleo, e separam-se após a posição neutra. Uma vez que existem quatro ressaltos no excêntrico, os contatos irão fechar e abrir quatro vezes, na mesma relação das quatro posições neutras do rotor magnético. Também, os intervalos de tempo entre os momentos de abertura e fechamento são aproximadamente os mesmos.

Partindo da posição de máximo fluxo (demarcada como 0º e que se encontra no topo da figura 7-22), a seqüência de eventos é descrita nos próximos parágrafos.

Quando o rotor de ímãs é acionado em direção ao neutro, a quantidade de fluxo através do núcleo começa a diminuir (D da figura 7-22). Esta mudança do fluxo induz uma corrente na bobina primária (C da figura 7-22) que, por sua vez induz um campo magnético em torno da própria bobina por onde circula. Esse campo magnético se opõe a qualquer alteração de seu fluxo.

Quando o rotor estiver em neutro nenhuma corrente circula pela bobina primária, conseqüentemente, o fluxo no núcleo cai a zero e começa a aumentar em direção oposta, conforme o ímã se afasta do neutro (a curva do fluxo estático é mostrada pela linha tracejada em “D” da figura 7-22). No entanto, a ação eletromagnética da corrente primária evita que o fluxo se altere, e mantém o campo temporariamente inalterado (linha do fluxo resultante em “D” da figura 7-22).

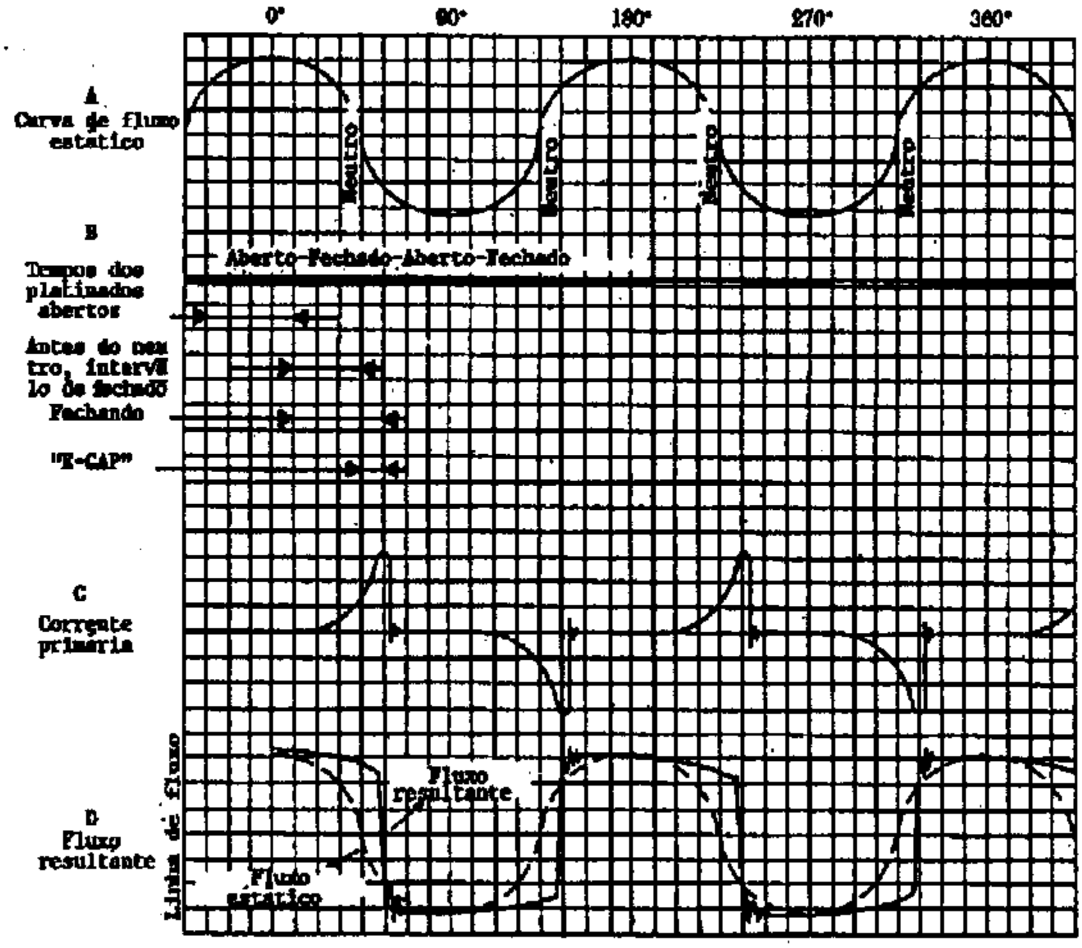


Figura7-22 Curvas do fluxo magnético

Como resultado desse processo, observa-se que ocorre um elevado colapso no circuito magnético, durante o tempo que o rotor de ímãs leva até atingir a posição na qual os contatos estavam próximos de abrir. Os platinados, quando abertos, funcionam com o condensador para interromper o fluxo de corrente na bobina primária, causando uma mudança extremamente rápida no fluxo. A alta tensão na bobina secundária é descarregada através dos eletrodos da vela, para inflamar a mistura ar/ combustível no cilindro do motor.

Cada centelha consiste em um pico de descarga, após o qual uma série de pequenas oscilações ocorrem. Isso continua até que a tensão se torne muito baixa para manter a descarga.

A corrente flui na bobina secundária, durante o tempo levado para descarregá-la completamente.

A energia no circuito magnético é completamente dissipada, durante o tempo que os contatos se encontram fechados para a geração da centelha seguinte.

Conjunto de contatos platinados

Esse conjunto, usado em sistemas de ignição por magneto de alta tensão, abre e fecha automaticamente o circuito primário no devido tempo, em relação à posição do pistão no cilindro, no qual está ocorrendo o centelhamento.

A interrupção do fluxo da corrente primária é conseguida através de um par de contatos platinados, feito de uma liga resistente à corrosão e ao calor.

A maioria dos platinados utilizados em sistemas de ignição de aeronaves são do tipo desarticulados, no qual um dos contatos é móvel e e o outro fixo (ver figura 7-23).

O contato móvel, suportado por uma lâmina, está isolado da carcaça do magneto e conectado a bobina primária (figura 7-23).

O contato fixo está aterrado a carcaça para fechar o circuito primário quando os contatos se tocam; e o came rotativo está ajustado de maneira que os contatos se afastem no devido tempo.

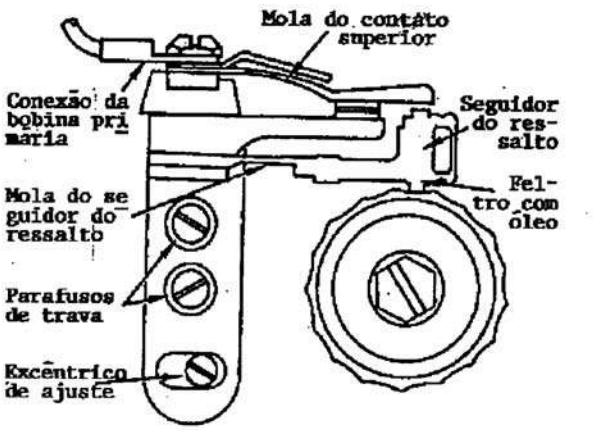


Figura 7-23 Platinado to tipo desarticulado e ressalto

Ainda fazendo parte deste conjunto, encontraremos o seguidor do came, suportado pela mesma lâmina, a qual o manterá com uma certa tensão contra o came rotativo.

O seguidor do came composto de um aglomerado em mica (ou material similar) se encontra apoiado no came rotativo e afasta o contato móvel do contato fixo toda vez que o ressalto o empurra para cima. Um feltro com óleo, instalado sob a lâmina, lubrifica e evita a corrosão do came.

Um tipo simples de platinado pode ser encontrado em alguns motores de baixa potência. Esse tipo, chamado de articulado, possui uma dobradiça ou um pivô suportando uma alavanca, onde na extremidade oposta se encontra um dos platinados. O outro platinado está preso a uma lâmina estacionária.

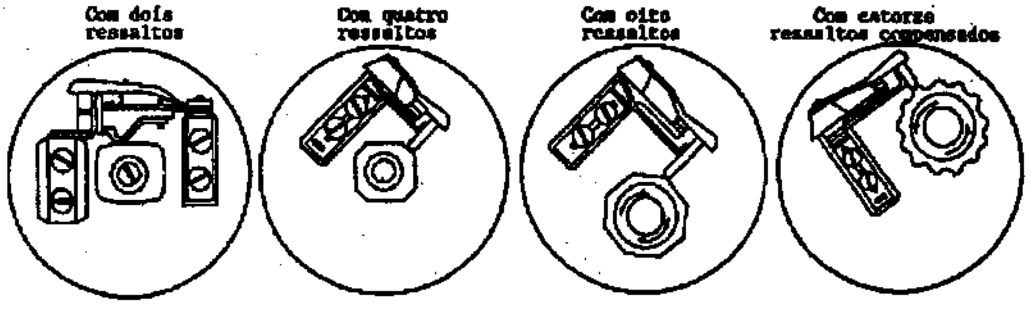


Figura 7-24 Platinados típicos

Uma bucha de fricção, normalmente feita de materiais fibrosos, está instalada próximo ao centro da alavanca. Quando o motor aciona o came, os ressaltos exercem pressão contra a bucha, causando o movimento da alavanca no sentido de aproximar as extremidades pivotadas, conseqüentemente afastando os contatos platinados e abrindo o circuito.

O came rotativo pode ser acionado diretamente pelo eixo do rotor do magneto, ou através de uma caixa de engrenagens. A maioria dos motores radiais usa um came compensado, que já é desenhado para operar com um motor específico, possuindo um ressalto para cada cilindro em que ocorre a centelha.

Os ressaltos são usinados em intervalos desiguais para compensar as variações do ponto morto superior de cada posição. Um came compensado de 14 ressaltos, junto com os outros não compensados de 02, 04 e 08 ressaltos são mostrados na figura 7-24. O espaço desigual entre os ressaltos do came compensado, embora proporcione a mesma posiçao relativa do pistão para que a ignição ocorra, causa uma pequena variação da folga "E" do rotor de ímãs e, desta forma, uma pequena variação no impulso de alta tensão gerado pelo magneto.

Uma vez que o espaço entre os ressaltos é feito sob medida para cada cilindro de um motor em particular, os cames compensados são marcados para mostrar a série do motor e a localização da biela mestra ou bielas, o ressalto usado para regulagem do magneto, a direção de rotação do came, e a especificação da folga "E" do rotor em graus além de neutro. Em adição a estas marcas, o came recebe um corte, o qual, quando alinhado com o risco de marcação na carcaça do magneto, coloca o rotor na posição de folga "E" para ajuste do cilindro.

Uma vez que os contatos devem iniciar sua abertura quando o rotor se encontra na posição folga "E", o corte no came alinhado com a marca na carcaça proporciona um rápido e fácil método de estabelecer a exata posição de folga "E", para verificação e ajuste do platinado.

Conjunto de bobinas

O conjunto das bobinas do magneto consiste em um núcleo em ferro doce, em torno do qual encontraremos as bobinas primária e secundária, sendo que a secundária se encontra enrolada sobre a primária.

A bobina secundária é feita de um enrolamento contendo aproximadamente 13.000 voltas de fio fino e isolado, com um terminal eletricamente aterrado à bobina primária ou ao núcleo, e o outro terminal conectado ao rotor do distribuidor. Ambas as bobinas são revestidas com um material não condutivo como baquelite, borracha rígida, ou cambraia envernizada. Por fim, o conjunto é fixado nas sapatas polares por parafusos e braçadeiras.

Quando o circuito primário está fechado, a corrente que flui através da bobina primária produz linhas de força magnéticas que atravessam o enrolamento secundário, induzindo uma força eletromotriz.

Quando o circuito primário é aberto, o campo magnético sobre o enrolamento primário entra em colapso, levando o enrolamento secundário a ser atravessado pelas linhas de força. A potência da tensão induzida no enrolamento secundário, quando todos os outros fatores permanecem constantes, é determinada pelo número de espiras do enrolamento. Uma vez que a maioria dos magnetos de alta tensão possui milhares de voltas na bobina secundária, uma voltagem muito alta, geralmente superior a 20.000 volts é gerada no circuito secundário para vencer o vão livre entre os eletrodos da vela.

Distribuidor

A alta tensão induzida na bobina secundária é enviada ao distribuidor, o qual consiste em duas partes. A parte rotativa é chamada de rotor do distribuidor e a estacionária, de bloco do distribuidor.

A parte rotativa, que pode ter formato de um disco, tambor, ou lingueta, é confeccionada em material não-condutor com um condutor embutido.

A parte estacionária consiste de um bloco também feito de um material não-condutor, que possui terminais e receptáculos para terminais, no qual a fiação para o distribuidor é conectada. Em alguns sistemas, o conjunto distribuidor é parte integrante do magneto, mas em outros, estão remotamente localizados e separadamente acionados.

No momento em que o rotor de ímãs encontra-se na posição de folga "E" para o cilindro nº 1 e o platinado aberto, o rotor do distribuidor alinha-se com o eletrodo nº 1 no bloco distribuidor.

A tensão secundária induzida no momento que o platinado abre, passa pelo rotor, onde ocorre o arco num pequeno vão de ar para o eletrodo nº 1 do bloco.

Já que o distribuidor gira com metade da velocidade do eixo de manivelas em todos os motores de quatro tempos, o bloco terá tantos eletrodos quantos cilindros existirem, ou tantos eletrodos como cilindros servidos pelo magneto.

Os eletrodos estão localizados circunferencialmente em torno do bloco distribuidor, de tal maneira que, conforme o motor gira, um circuito é completado para um diferente cilindro e uma vela, cada vez que ocorre o alinhamento entre a lingueta do rotor e um eletrodo no bloco distribuidor.

Os eletrodos do bloco distribuidor são numerados na seqüência de rotação do rotor (figura 7-25).

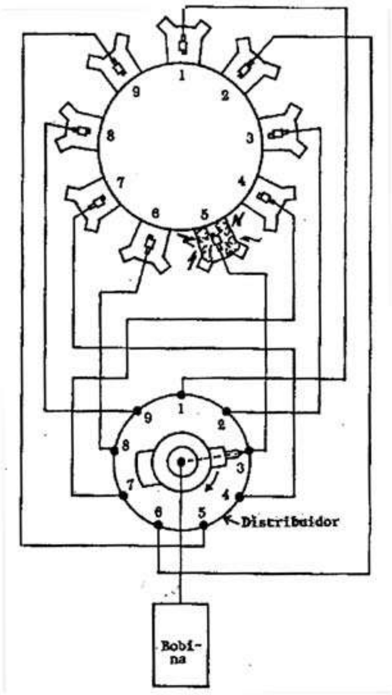


Figura 7-25 Relação entre os números dos terminais do distribuidor e os dos cilindros

Os números do distribuidor representam mais propriamente a ordem de centelha do magneto do que o número do cilindro do motor.

O eletrodo do istribuidor marcado com "1" é conecatado à vela nº 1 no cilindro nº 1; o eletrodo marcado com "2" para o segundo cilindro a ser explodido; o eletrodo marcado com "3" para o terceiro cilindro a ser explodido, e assim por diante.

Na figura 7-25, a lingueta do rotor do distribuidor está alinhada com o eletrodo marcado "3", o qual explode o cilindro nº 5 de um motor radial de 9 cilindros. Uma vez que a seqüência de explosão de um motor radial de 9 cilindros é 1-3-5-7-9-2-4-6-8, o terceiro eletrodo na ordem de centelhamento do magneto servirá o cilindro nº 5.

Nas instalações onde o magneto e o rotor do distribuidor são combinados em um único conjunto, a lingueta do distribuidor será ajustada na revisão ou na fabricação . Nos motores onde o distribuidor está separado do magneto, o distribuidor assim como o magneto, devem ser manualmente ajustados para o cilindro na apropriada distribuição de alta tensão.

Ventilação do magneto e do distribuidor

Uma vez que o magneto e o conjunto distribuidor são sumetidos a rápidas mudanças de temperatura, os problemas de condensação e umidade são levados em consideração no projeto dessas unidades.

A umidade, em qualquer situação, é um bom condutor de eletricidade e, se absorvida pelos materiais nãocondutores do magneto, como o bloco distribuidor, lingueta, e carcaças das bobinas, pode criar uma fuga na condução elétrica.

A corrente de alta tensão que normalmente flui pelos vãos de ar do distribuidor pode passar por uma superfície isoladora molhada para a massa, ou pode ser má orientada para alguma vela que não deveria ser ativada. Esta condição é chamada de "flashover" e, normalmente, resulta em explosão de cilindro fora de seqüência. Por esta razão, bobinas, condensadores, distribuidores e rotores são encerados de forma a reter a umidade em gotas isoladas, e não formando um circuito completo que permita o "flashover"(arco).

Esse arco pode carbonizar os contatos, os quais tomam a aparência de uma fina linha de lápis na umidade onde ocorreu o arco.

A trilha de carbono é o resultado das partículas de poeira queimadas pela centelha que contém hidrocarbono. A água no material hidrocarbonado é evaporada durante o arco, deixando o carbono formar uma passagem condutora de corrente.

E mesmo quando a umidade não se faz presente, a centelha continua a seguir a trilha para a massa.

Os magnetos não podem ser hermeticamente fechados para evitar a entrada de umidade, pois estão sujeitos a mudanças de pressão e temperatura em altitude.

Entretanto, drenos adeqüados e apropriada ventilação, reduzem a tendência ao arco e à carbonização.

Boa circulação de ar no magneto também garante que os gases produzidos pelo arco normal, através dos vãos do distribuidor, sejam eliminados para o exterior.

Em algumas instalações, a pressurizaçao de várias partes do sistema de ignição é essencial para manter uma elevada pressão absoluta e eliminar o arco.

Independentemente do método de ventilação empregado, os respiros ou válvulas devem ser mantidos livres de obstrução.

Além disso, a circulação de ar através dos componentes do sistema de ignição deve estar livre do óleo, uma vez que, mesmo em pequena quantidade nas unidades, resulta em formação de arco e carbonização nas mesmas.

Cabos de ignição

Os cabos de ignição possuem um fio isolado para cada cilindro que o magneto supre no motor. Uma extremidade de cada fio é conectada ao bloco distribuidor, e a outra é conectada à vela apropriada.

O cabo de ignição tem um duplo propósito: ele suporta os fios e os protege de danos devido ao aquecimento do motor, vibração ou chuva e também serve como um condutor para campos magnéticos desviados, que circundam os fios enquanto estão carregados momentaneamente com corrente de alta-voltagem.

Através da condução destas linhas de força magnéticas à massa, os cabos de ignição eliminam a interferência elétrica com o rádio e outro equipamento sensível. Quando o rádio e outro equipamento elétrico são protegidos desta maneira, diz-se que a fiação do cabo de ignição está protegida por blindagem. Sem essa blindagem, a rádio-comunicação se tornaria virtualmente impossível.

Um tipo comum de cabo de ignição é um tubo, com várias ligações para fixar em volta do cárter do motor com extensões flexíveis terminando em cada ignitor.

Um típico cabo de ignição de alta tensão é mostrado na figura 7-26.

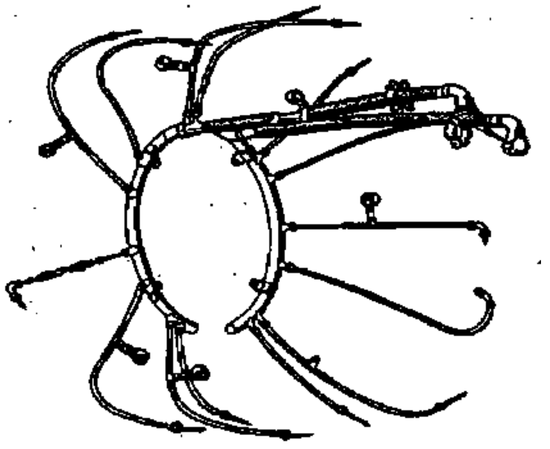


Figura 7-26 Cablagem de ignição de alta tensão

Outro tipo é conhecido como tipo vedado ou enxertado. Um cabo desse tipo tem os fios de ingnição colocados em uma tubulação anular, de maneira que cada extremidade do fio termine na saída da tubulação. Este conjunto é então enchido com um gelatina isoladora que elimina atrito e condensação da umidade.

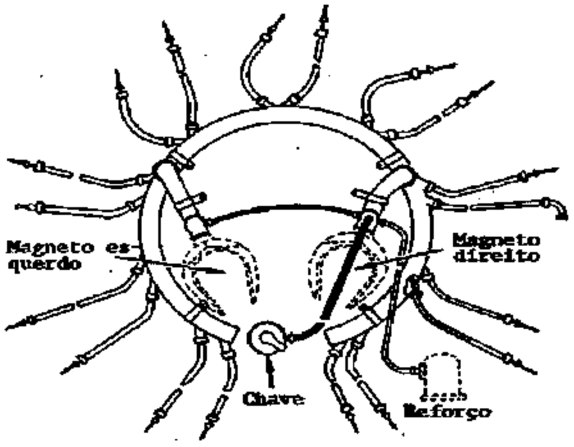


Figura 7-27 Cabos de ignição de motores de 9 cilindros

Cabos de ignitores separados são fixados às saídas da tubulação. Desta maneira, é possível recondicionar a extremidade do cabo do ignitor, evitando, assim, a substituição da cablagem completa entre o ignitor e o distribuidor.

Em instalações onde os magnetos são montados na seção de acessórios do motor, dois conduítes flexíveis e longos, cada um contendo metade dos fios de ignição, levam as extremidades dos fios até o ponto onde são conectados ao magneto (veja figura 7-27). Neste tipo de cablagem, os fios de ignição são contínuos desde o bloco do distribuidor até a vela. Se houver algum problema, o cabo inteiro deve ser substituído.

Interruptores de Ingnição

Todas as unidades do sistema de ignição de um avião são controladas por um interruptor localizado na cabine de comando. O tipo de interruptor utilizado varia com o número de motores instalados no avião e o tipo de magneto utilizado. Todos os interruptores, entretanto, ligam e desligam o sistema da mesma maneira.

O interruptor de ignição se diferencia em pelo menos um aspecto de todos os outros tipos de interruptores, no fato de que, quando o interruptor é posicionado para "OFF", um circuito é fechado através dele para a massa. Em outros interruptores elétricos, a posição "OFF", normalmente abre o circuito.

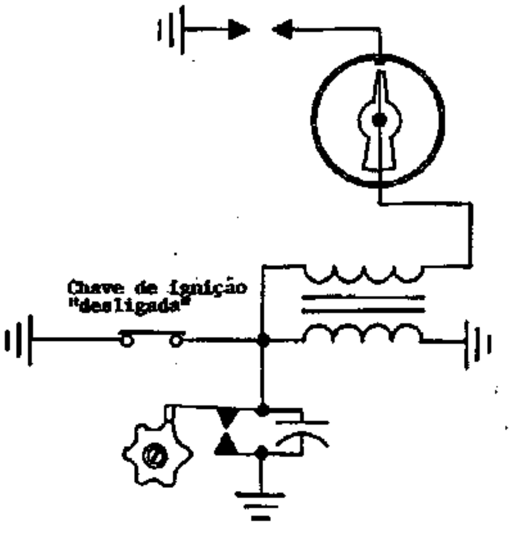


Figura 7-28 Chave típica de ignição na posição desligada

O interruptor de ignição tem um terminal conectado ao circuito elétrico primário, entre a bobina e os platinados. O outro terminal do interruptor é conectado à massa do avião (estrutura).

Como mostra a figura 7-28, as duas maneiras de completar o circuito primário são: (1) através do platinado fechado para a massa; ou (2) através do interruptor de ingnição fechado para a massa.

Na figura 7-28, pode ser visto que a corrente primária não fica interrompida quando os contatos se abrem, desde que haja um caminho mais curto para a massa através do interruptor fechado (off).

Uma vez que a corrente primária não está interrompida quando os pontos de contato abrem (figura 7-28), não poderá haver repentino colapso do campo magnético da bobina primária, e nenhuma alta voltagem induzida na bobina secundária para a queima da vela.

À medida que o magneto gira, passando pela posição folga "E", ocorre uma queda gradual do campo magnético primário.

Mas essa queda ocorre tão lentamente, que a tensão induzida é muito baixa para que ocorra centelha na vela.

Portanto, quando o interruptor está na posição "OFF" (fechado), os pontos de contato estão completamente curto-circuitados, como se tivessem sido removidos do circuito e o magneto fica inoperante.

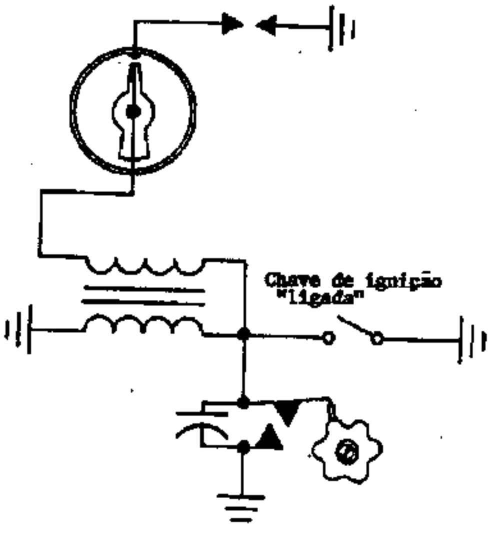


Figura 7-29 Chave típica de ignição na posição ligada

Quando o interruptor de ignição é colocado na posição "ON" (aberto), como mostrado na figura 7-29, o interruptor de corrente primária e o rápido colapso do campo magnético da bobina primária são novamente controlados pela abertura do platinado. Quando o interruptor está na posição “ON”, o mesmo não tem absolutamente efeito algum no circuito primário. Muitos sistemas de ignição de aviões monomotores empregam um sistema de duplo-magneto, no qual o magneto direito fornece a centelha elétrica para as velas dianteiras em cada cilindro, e o esquerdo supre as velas traseiras. Um interruptor é utilizado para controlar ambos os magnetos. Um exemplo deste tipo é mostrado na figura 7-30.

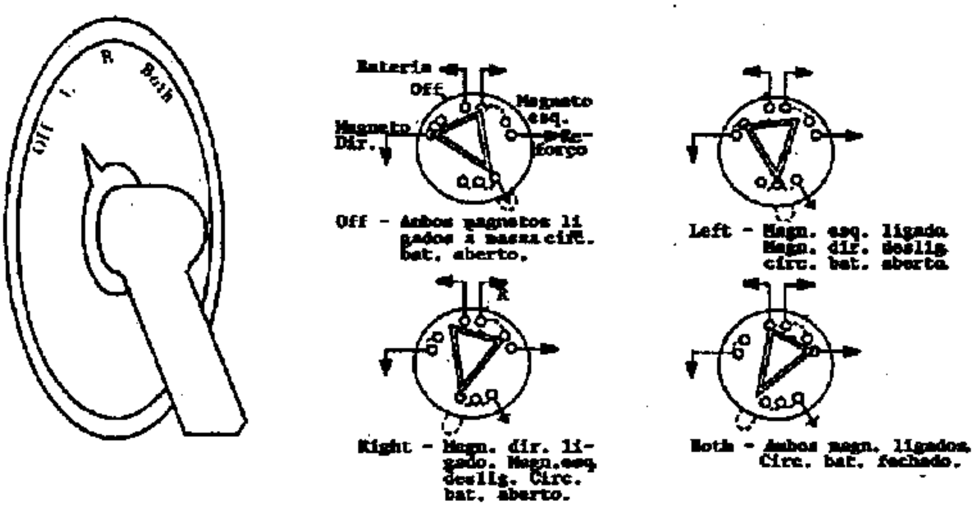

Off
L
R
Both
Bateria
Off
Magneto esq.
Magneto Dir.
Reforço
Off - Ambos magnetos ligados à massa circ. bat. aberto.
Left - Magn. esq. ligado Magn. dir. deslig. circ. bat. aberto.
R
Right - Magn. dir. ligado. Magn. esq. deslig. Circ. bat. aberto.
Both - Ambos magn. ligados. Circ. bat. fechado.

Figura 7-30 Posição da seletora para uma chave de ignição que controla dois magnetos

Este interruptor possui 4 posições: “desligado”, “esquerdo”, “direito” e “ambos”. Na posição “desligado”, ambos os magnetos estão aterrados, portanto, ficam inoperantes. Quando o interruptor é colocado na posição “esquerda”, somente o magneto esquerdo funciona; na posição “direita”, somente o direito funciona, e na posição “ambos”, os dois magnetos funcionam.

As posições “direita” e “esquerda” são usadas para testar sistemas de ignição dupla, permitindo o desligamento de um sistema de cada vez. A figura 7-30 também se refere ao circuito do sistema de ignição por bateria, que será discutido como unidade auxiliar de ignição na próxima seção.

Muitos interruptores de bimotores fornecem ao operador controle independente de cada magneto em um motor, pela rotação dos interruptores em cada lado do interruptor de ignição.

Em adição, um interruptor “master” de alavanca é geralmente incorporado para dar massa a todos os magnetos primários. Então, em uma emergência, toda ignição para ambos os motores (quatro magnetos primários) pode ser cortada pelo movimento desse interruptor (figura 7-31).

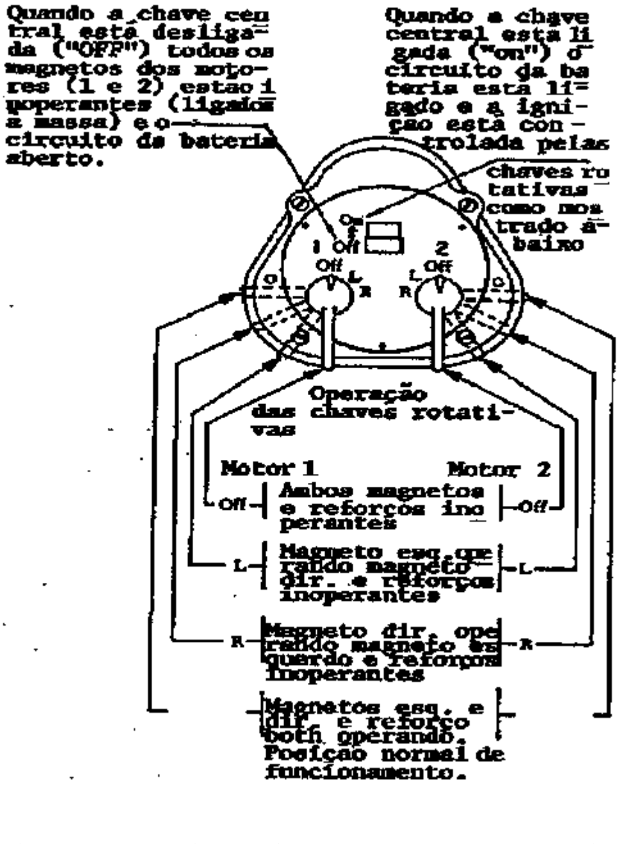

Quando a chave central está desligada ("OFF") todos os magnetos dos motores (1 e 2) estão inoperantes (ligados à massa) e o circuito da bateria aberto.
Quando a chave central está ligada ("on") o circuito da bateria está ligado e a ignição está controlada pelas chaves rotativas como mostrado abaixo
On
1 Off
2
Off
L
R
Off
L
R
Operação das chaves rotativas
Motor 1
Motor 2
Off
Ambos magnetos e reforços inoperantes
Off
L
Magneto esq. operando magneto dir. e reforços inoperantes
L
R
Magneto dir. operando magneto esquerdo e reforços inoperantes
R
Magnetos esq. e dir. e reforço both operando. Posição normal de funcionamento.

Figura 7-31 Chave de magneto para um avião bimotor

Magnetos com sistema simples e duplo de alta tensão

Magnetos em sistema de alta tensão, usados em motores radiais, são do tipo simples ou duplos.

O projeto do magneto simples incorpora o distribuidor no alojamento com o conjunto de contatos, ímã rotativo e bobina.

O magneto duplo incorpora dois magnetos em um alojamento. Um ímã rotativo e um "came" são comuns para dois jogos de platinados e bobinas. Duas unidades do distribuidor são montadas no motor, separadas do magneto.

Sistemas de montagem do magneto

Os magnetos do tipo simples podem ser projetados para montagem em base ou flange. Os de tipo duplo são todos montados em flange. Os magnetos montados em base são presos em um suporte no motor.

Magnetos montados em flanges são presos ao motor por um flange, em redor da extremidade acionadora do eixo rotativo do magneto.

Fendas alongadas no flange de montagem permitem ajuste através de um alcance limitado, que auxilia na regulagem do magneto para o motor.

Sistema de magneto de baixa tensão

O sistema de ignição de alta tensão foi usado por mais de meio século. Muitas melhorias no projeto têm sido feitas, mas certamente problemas fundamentais permanecem e outros se intensificaram, como:

1) O aumento do número de cilindros por motor.
2) A exigência de que todas as aeronaves equipadas com rádio tenham seus cabos de ignição blindados.
3) A tendência favorável a todas as condições de intemperies.
4) O aumento de operações em elevadas altitudes.

Sistemas de baixa tensão foram desenvolvidos para resolverem esses problemas.

Eletronicamente, o sistema de baixa tensão é diferente do sistema de alta tensão. No primeiro, a tensão é gerada no magneto e flui para o enrolamento primário de uma bobina do transformador, localizado próximo da vela. Lá, a tensão é aumentada pela ação do transformador e conduzida para a vela pelos cabos muito curtos de alta tensão. A figura 7-32 é um esquema simplificado de um sitema típico de baixa tensão.

O sistema de baixa tensão elimina centelha tanto no distribuidor como na cablagem, pois o vão dentro do distribuidor foi eliminado pelo uso de um outro distribuidor tipo escova, e a alta tensão está presente somente em cabos curtos entre o transformador e a vela.

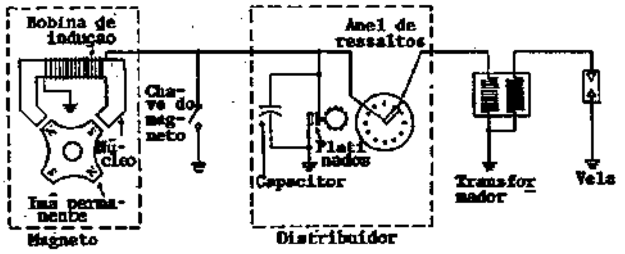


Figura 7-32 Esquema simplificado do sistema de ignição de baixa tensão

Apesar de uma certa quantidade de fuga elétrica ser característica de todos os sistemas de ignição, ela se manifesta mais em instalações de rádio-blidagem, pois o conduíte metálico está aterrado e envolve os cabos de ignição em toda a sua extensão.

Em sistemas de baixa tensão, essa fuga é reduzida consideravelmente, porque a corrente através da maior parte do sistema é transmitida em um potencial de baixa tensão. Apesar dos cabos entre as bobinas do transformador e as velas serem curtos, eles são condutores de alta tensão, estando sujeitos às mesmas falhas que ocorrem em sistemas de alta tensão.

Operação dos sistema de ignição de baixa tensão

O circuito magnético de um típico sistema de magneto de baixa tensão consiste em um ímã permanente rotativo, sapatas e o núcleo da bobina (figura 7-33).

O ímã cilíndrico é constituído com 7 peças de uma polaridade, decaladas com 7 peças de polaridade oposta. Quando o ímã é inserido no circuito magnético da figura 7-33, com 3 dos pólos norte do ímã perfeitamente alinhados com as sapatas, o fluxo magnético estático máximo é produzido da direita para esquerda no núcleo da bobina.

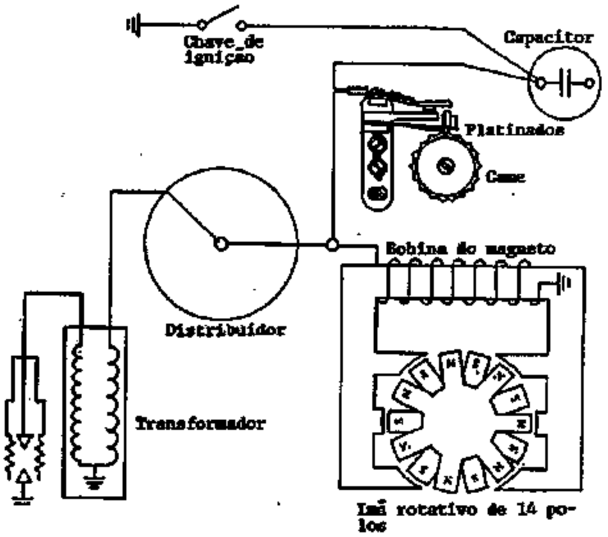

Chave de ignição
Capacitor
Platinados
Came
Bobina do magneto
Distribuidor
Transformador
Imã rotativo de 14 polos

Figura 7-33 Sistema de baixa tensão usando imã rotativo de 14 pólos

Quando o ímã é girado no sentido horário até que os pólos adjacentes se alinhem com sapatas, o fluxo magnético no núcleo da bobina terá diminuído de um máximo para zero em uma direção, e então aumentado para um máximo na direção oposta. Isso contitui um fluxo reverso.

Catorze desse fluxos reversos ocorrem durante cada rotação do ímã, ou sete, para cada rotação do eixo de manivela do motor.

A produção de tensão na bobina do magneto de baixa tensão ocorre da mesma maneira como no circuito magnético primário de um magneto de alta tensão.

Distribuidor do sistema de baixa tensão

Cada pulso de corrente produzido pelo magneto de baixa tensão é direcionado para várias bobinas de transformador na adequada ordem de fogo, através do distribuidor do tipo escova (figura 7-34).

O conjunto do distribuidor consiste em uma peça giratória, chamada de escova do distribuidor, e uma peça estacionária, chamada de bloco do distribuidor.

O rotor (figura 7-34A) tem duas partes separadas das escovas do distribuidor, que percorrem nos 3 trilhos concêntricos do bloco do distribuidor (figura7-34B).

Esses trilhos são divididos em sete segmentos, cada qual isolado eletricamente um do outro.

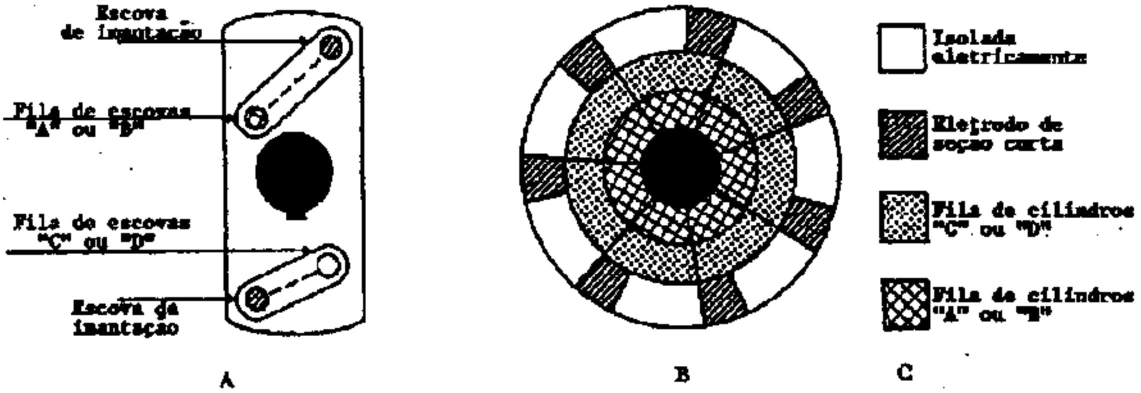

Escova de imantação
Fila de escovas "A" ou "B"
Fila de escovas "C" ou "D"
Escova da imantação
Isolada eletricamente
Eletrodo de seção curta
Fila de cilindros "C" ou "D"
Fila de cilindros "A" ou "B"
A
B
C

Figura 7-34 Distribuidor do tipo escova para um sistema de magneto de baixa tensão

O trilho externo consiste em uma série de seções de eletrodos alternados, longos e curtos. Essas sete longas seções de eletrodos do trilho externo são eletricamente isoladas, e servem somente para prover uma contínua passagem próxima às escovas do distribuidor. A corrente de baixa tensão do magneto entra no distribuidor através de um fio, conectado em uma das curtas seções do eletrodo do trilho externo. Uma vez que todas as curtas seções de eletrodos, apesar de separadas pelas seções isoladas eletricamente, estão conectadas juntas internamente, cada uma tem a tensão da bobina do magneto impressa sobre ela.

O rotor do distribuidor possui escovas de imantação (figura 7-34A), uma em cada extremidade do rotor.

A escova de imantação inferior é eletricamente conectada à fileira da escova “D” ou “C”, que percorre os trilhos intermediários do bloco do distribuidor (figura 7-34A, B, C).

Quando o platinado abre, a corrente da bobina do magneto está disponível no eletrodo de seção curta do trilho externo (figura 7-35). Nesse instante, somente uma das escovas de imantação do rotor do distribuidor está num eletrodo de seção curta; a outra escova de imantação está numa seção, que é isolada eletricamente do mesmo trilho.

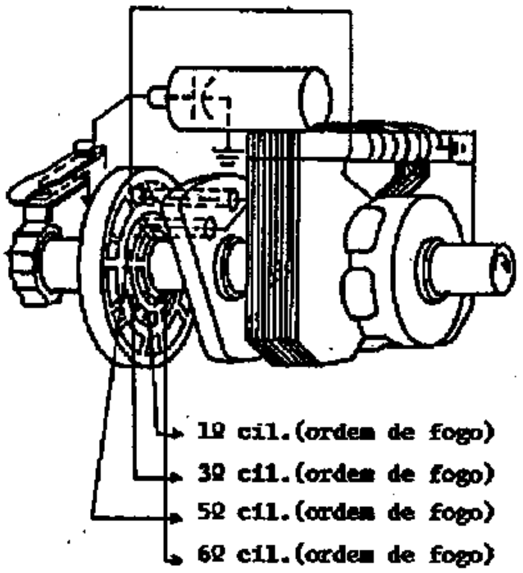


Figura 7-35 Operação do distribuidor do tipo escova

A escova no eletrodo de seção curta capta a corrente da bobina do magneto, direcionando-a para uma seção do trilho intermediário. Se o magneto for o de nº 1 (R-1 ou L-1), o trilho intermediário servirá os sete cilindros na fila “D”, se for o nº 2 (R-2 ou L-2), esse trilho servirá os sete cilindros da fila “C” (figura 7-34).

Similarmente, o lado interno do trilho serve os sete cilindros da fila “B” – se ele for um magneto nº 1; ou os sete cilindros da fila “A” – se ele é um magneto nº 2.

Desde que cada seção de eletrodo do lado interno e intermediário dos trilhos sejam conectados a uma bobina transformadora separada, a escova do distribuidor rotativo determina qual bobina do transformador recebe o pico de corrente auto-induzida.

Em operação, cada magneto servirá primeiro a um cilindro de uma fileira, e em seguida um cilindro na outra.

Por exemplo, na figura 7-35, o transformador do 5º cilindro, na ordem de fogo, está recendo o pico de corrente auto-induzida.

O transformador seguinte ao receber um pico de corrente na ordem de centelhamento do magneto será o sexto cilindro, o qual é servido por uma seção de eletrodo nos trilhos internos.

A sexta bobina do transformador na ordem de centelhamento do magneto, é energizada à medida que a escova de imantação para o lado interno do trilho se move no sentido horário de uma seção isolada eletricamente, e no próximo eletrodo de seção curta.

A corrente é captada do lado externo do trilho, e direcionada para a seção do eletrodo do trilho interno, que alimentará o transformador para o sexto cilindro na ordem de centelhamento.

Enquanto a bobina do transformador do sexto cilindro está recebendo seu pico de corrente, a escova de imantação para o trilho intermediário está numa seção isolada do lado externo, e não interfere com o fluxo do pico de corrente autoinduzido.

Como a escova do distribuidor continua no sentido horário, a escova de imantação para o lado interno do trilho se movimenta para uma seção isolada eletricamente.

Ao mesmo tempo, a escova de imantação para o trilho intermediário se movimenta para um eletrodo de seção curta, e entrega o pico de corrente ao transformador, servindo o sétimo cilindro na ordem de centelhamento do magneto.

A corrente relativamente baixa autoinduzida deixa o distribuidor através das cablagens para o transformador. Os fios são conectados no tubo circular de ignição por um “plug”. Para este sistema de magneto existem 60 cabos dentro do tubo circular de ignição. Quatro cabos (um para cada um dos quatro magnetos) correm do interruptor de ignição ao terminal no “plug”, conectado aos do interruptor de ignição.

Os outros 56 cabos conectam as seções do eletrodo do distribuidor, do lado interno e intermediário do trilho de quatro magnetos, às bobinas primárias dos transformadores das velas.

A corrente da bobina secundária do transformador é conduzida a vela por um curto cabo de alta tensão blindado.

Os magnetos de baixa tensão são desligados e ligados da mesma maneira que os sistemas de alta tensão são controlados, isto é, por um interruptor conectado ao fio-massa do circuito da bobina do magneto.

Quando o interruptor é fechado (posição desligada), uma passagem de baixa resistência direcionada para a massa é alcançada para a bobina do magneto, se os platinados estiverem abertos ou fechados.

Como o interruptor de ignição fechado provê um caminho de baixa resistência para a massa, a corrente na bobina do magneto não é direcionada para a bobina primária do transformador. Ao contrário, a corrente é curto-circuitada pelo caminho do interruptor de ignição fechado.

UNIDADES AUXILIARES DE IGNIÇÃO

Durante a partida do motor, a saída de cada magneto, de alta ou baixa tensão, é baixa porque a velocidade de partida do motor também o é. Isto é aceitável quando os fatores que determinam a quantidade de tensão induzida em um circuito são considerados.

Para aumentar o valor de uma tensão induzida, a força do campo magnético deve ser aumentada pelo uso de um ímã mais poderoso, pelo aumento do número de voltas na bobina, ou aumentando a razão de movimento relativo entre o ímã e o condutor. Uma vez que a força de rotação do ímã, e o número de voltas na bobina, são fatores constantes em ambos os sistemas de ignição por magneto de alta ou baixa tensão, a tensão produzida depende da velocidade com que o ímã gira. Durante a partida do motor, o ímã é girado a aproximadamente 80 RPM.

Uma vez que o valor da tensão induzida é muito baixo, uma centelha não pode saltar a fenda no ignitor. Então, para facilitar a partida do motor, um dispositivo auxiliar é conectado ao magneto para suprir a alta tensão de ignição.

Ordenadamente, essas unidades auxiliares de ignição são energizadas pela bateria, e conectadas ao magneto direito, ou distribuidor. Os sistemas de partida dos motores alternativos, normalmente, incluem um dos seguintes tipos de sistemas auxiliares: dínamo, vibrador de indução (algumas vezes chamado vibrador de partida), acoplamento de impulso, e vibrador de sistemas de partida.

Dínamo

O conjunto dínamo (figura 7-36) consiste em duas bobinas enroladas em torno de um núcleo de ferro doce, um jogo de contatos, e um condensador.

O enrolamento primário possui um de seus terminais aterrado por meio de uma tira interna, e outro terminal conectado ao contato móvel. O contato fixo é provido de um terminal, onde é aplicada a tensão da bateria quando a chave do magneto é colocada na posição "*start*", ou automaticamente quando o motor de arranque é engatado.

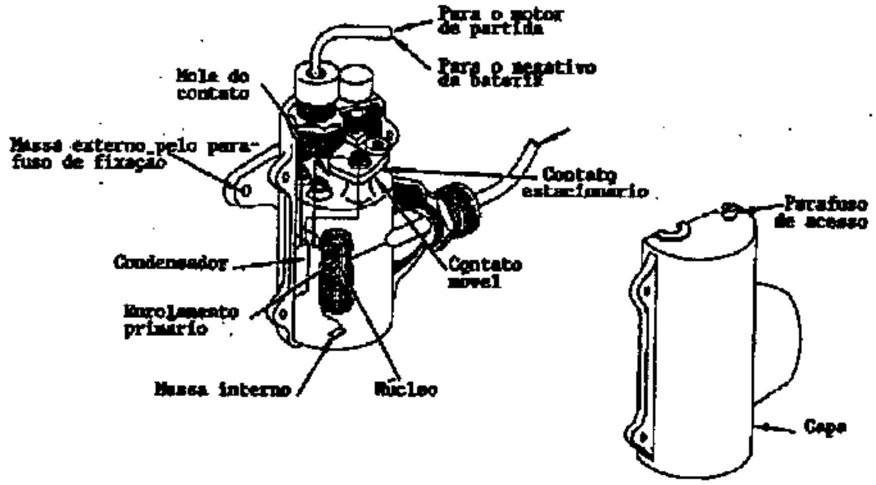


Figura 7-36 Dínamo

A bobina secundária, a qual contém inúmeras vezes mais quantidade de voltas que a primária, possui também um de seus terminais aterrado por meio de uma tira interna, porém o outro está conectado com um terminal de alta tensão. O terminal de alta tensão está conectado para um eletrodo no distribuidor por meio de um cabo de ignição.

Uma vez que o terminal regular do distribuidor está aterrado através das bobinas primária ou secundária de um magneto de alta tensão, a alta tensão fornecida pelo dínamo deve ser distribuída por um circuito separado no rotor do distribuidor. Isso é obtido pelo uso de dois eletrodos em um único rotor.

O eletrodo principal, ou lingueta, descarrega a tensão do magneto e o eletrodo auxiliar distribui somente a descarga do dínamo. O eletrodo auxiliar está constantemente localizado como se fosse a cauda do eletrodo principal, dessa forma retardando a centelha durante o período de partida.

A figura 7-37 ilustra, de forma esquemática, os componentes do dínamo mostrado na figura 7-36.

Em operação, a tensão da bateria é aplicada para o terminal positivo (+) do dínamo através da chave de partida. Isto causa um fluxo de corrente através dos contatos fechados (figura 7-37) para a bobina primária e a massa.

Esta corrente, fluíndo através da bobina primária, produz um campo magnético sobre a bobina, magnetizando o seu núcleo. Quando o núcleo se encontra magnetizado, ele atrai o contato móvel, o qual se encontra normalmente mantido contra o contato fixo por mola.

Quando o contato móvel é atraído pelo núcleo de ferro, o circuito primário é aberto, levando ao colapso o campo magnético da bobina e, conseqüentemente, o do núcleo.

Já que o núcleo atua como um eletroímã somente quando flui corrente pela bobina primária, ele perde seu magnetismo no momento em que ocorre a abertura dos contatos.

Isso permite que a mola torne a fechar os contatos e, novamente, complete o circuito da bobina primária que por sua vez, remagnetiza o núcleo, atraindo o contato móvel, o qual novamente abre o circuito da bobina primária. Essa ação faz com que o contato móvel vibre rapidamente, enquanto for mantida a chave de partida na posição fechada ("on").

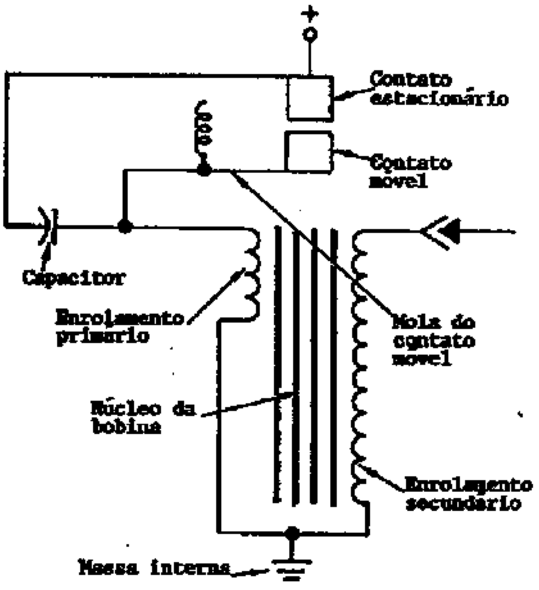


Figura 7-37 Esquema do dínamo

O resultado desta ação é uma contínua expansão e retração (colapso) do campo magnético, transmitindo para a bobina secundária do dínamo.

Como a bobina secundária possui muito mais espiras que a primária, a tensão induzida resultante dessas linhas de força sobre a bobina secundária é altíssima, o suficiente para o sistema de ignição do motor.

O capacitor (figura 7-37), o qual está conectado através dos contatos, tem uma importante função no circuito.

Como o fluxo de corrente na bobina primária é interrompido pela abertura dos contatos, a alta tensão auto-induzida, que acompanha cada colapso do campo magnético, é absorvida pelo capacitor.

Sem o capacitor, ocorreria um arco através dos contatos a cada colapso do campo magnético.

Isso poderia queimar e provocar covas nos contatos, reduzindo brutalmente a tensão de saída do dínamo.

Vibrador de indução

O vibrador de indução (ou vibrador de partida) mostrado na figura 7-38, consiste em um vibrador operado eletricamente, um condensador e um relé. Essas unidades estão montadas em uma base, e estão envolvidas por uma carcaça metálica.

O vibrador de partida, ao contrário do dínamo, não produz a alta tensão de ignição dentro de si. A sua função é transformar a corrente contínua da bateria em corrente pulsante e fornecê-la para a bobina primária do magneto. Também funciona como um relé, desconectando o circuito auxiliar quando esse não estiver em uso.

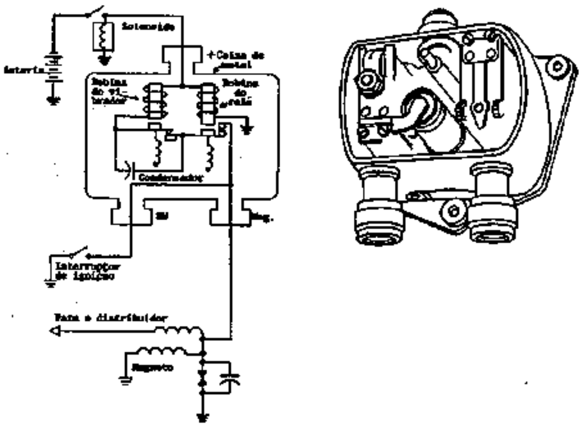


Figura 7-38 Vibrador de indução

Como mostrado na figura 7-38, o terminal positivo do vibrador de partida está conectado ao circuito solenóide de acoplamento do arranque.

Fechando a chave, o solenóide de acomplamento é energizado, permitindo a circulação de corrente através da bobina do relé para a massa. Ao mesmo tempo, a corrente flui através da bobina do vibrador e pelos seus contatos.

Uma vez que a corrente flui através da bobina do relé estabelece um campo magnético que atrai e fecha os contatos do relé, o circuito vibrador é agora completado para o magneto.

A trajetória da corrente elétrica da bateria consumida pelo magneto é determinada pela posição do platinado primário; se os mesmos estiverem fechados, a corrente flui através deles para a massa, se estiverem abertos, a corrente flui através da bobina primária para a massa.

O fluxo de corrente na bobina do vibrador produz um campo magnético que atrai e abre os contratos de vibrador. Quando esses contatos abrem, a circulação de corrente é interrompida e o campo magnético que estava atraindo o contato móvel desaparece. Isso permite que os contatos do vibrador fechem e, novamente, conduzam a corrente da bateria através da bobina do vibrador, completando um ciclo de operação. Este ciclo, entretanto, ocorre várias vezes por segundo, tão rapidamente que os contatos do vibrador produzem um audível “buzz”.

Cada vez que os contatos do vibrador fecham, flui corrente para o magneto. Se o interruptor primário está fechado, quase toda a corrente da bateria passa para a massa através deles, e pequena corrente passa pela bobina primária. Deste modo, uma carga desprezível fluirá pela bobina primária.

Quando os pontos de contato do interruptor do magneto abrem, a corrente que antes passava por esses pontos agora segue direto através da bobina primária para a massa. Uma vez que essa corrente é interrompida muitas vezes por segundo, o campo magnético resultante é ligado e interrompido, através das bobinas primária e secundária do magneto, na mesma ordem.

A rápida sucessão de voltagens distintas induzidas na bobina secundária produz uma “chuva” de centelhas, através dos pólos da vela de ignição selecionada.

A sucessão de voltagens distintas é distribuída através da saída de um distribuidor principal para várias velas de ignição, porque os pontos de contato do interruptor armam no mesmo instante em que o magneto está gerando a sua voltagem.

O sistema de ignição que utiliza um vibrador por indução não possui provimentos para retardo de centelha; portanto, ele não possui um eletrodo guia auxiliar no distribuidor.

Quando se dá a partida num motor equipado com um vribrador indutivo, o interruptor de ignição deve ser mantido desligado até que o motor de partida tenha girado a hélice pelo menos uma volta.

Então, enquanto a hélice é mantida girando, o interruptor de ignição deve ser ligado. Se essa precaução não for observada, poderá acontecer um retrocesso no motor como resultado da ignição antes da correta RPM de partida. Depois que a hélice tiver completado pelo menos uma volta, produzirá um momento suficiente para evitar o retrocesso.

Tão logo o motor inicia o disparo e o interruptor de partida é liberado, o circuito elétrico da bateria para o vibrador indutivo é aberto. Quando a corrente da bateria é cortada do vibrador indutivo, os contatos do relé se abrem e interrompem a conexão entre o vibrador de indução e o magneto. Essa conexão deve ser interrompida para evitar que o magneto fique fora do aterramento do relé da bobina.

Se os contatos do relé do vibrador indutivo não abrirem quando a corrente da bateria for cortada, a corrente primária do magneto não poderá ser interrompida quando os contatos abrirem; ao invés disso, a corrente primária pode fluir através do relé e dos contatos do vibrador indutivo, e então para o terra através da bobina do relé. Nesse caso, o magneto estaria inoperante como se o interruptor de ignição estivesse em "OFF".

Acoplamento de impulso

Motores que possuem um pequeno número de cilindros, algumas vezes são equipados com um acoplamento de impulso. Essa é uma unidade que, durante a produção da centelha, cede a um dos magnetos ligados ao motor uma breve aceleração e produz uma centelha quente para a partida. Esse dispositivo consiste em pequenos contrapesos e um conjunto de molas, localizados na carcaça que fixa o magneto ao eixo de acessórios. O magneto é flexivelmente conectado através do acoplamento de impulso por meio de molas que, durante a baixa velocidade do magneto, é temporariamente mantido enquanto o eixo de acessórios é girado até que o pistão chegue aproximadamente ao ponto morto alto. Nesse ponto, o magneto é liberado e a mola retorna a posição original, resultando em um rápido retorno na rotação do magneto. Sendo isto, equivalente à alta rotação do magneto, produzindo uma faisca quente.

Depois que o motor der a partida e o magneto alcançar uma velocidade suficiente para produzir corrente, os contrapesos se deslocam do acoplament devido a força centrífuga e travam os dois membros de acoplamento juntos. Isso torna a unidade sólida, retornando o magneto para a condição de sincronia relativa ao motor.

A presença do acoplamento de impulso pode ser identificada por meio de um curto estalo, quando o eixo de manivelas e girado até que a velocidade dos cilindros se estabilize após o ponto morto alto em cada cilindro.

O uso do acoplamento de impulso produz forças de impacto no magneto, partes acionadas do motor e várias partes das unidades acopladas. Muitas vezes os contrapesos ficam magnetizados e não engatam os pinos batentes; e o óleo congelado durante o tempo frio produz o mesmo resultado.

Outra desvantagem do acoplamento de impulso é que ele pode produzir somente uma centelha por cada ciclo de movimento do cilindro. Essa é uma desvantagem, especialmente durante condições adversas de partida.

Vibrador interruptor de retardo da alta tensão

O interruptor magneto de retardo e o sistema vibrador de partida são usados como parte do sistema de alta tensão na maioria das aeronaves pequenas.

Projetado para sistemas de ignição de quatro ou seis cilindros, o interruptor magneto de retardo elimina a necessidade de um acoplamento de impulso em pequenas aeronaves. Esse sistema usa um interruptor adicional para obter o retardo da centelha para a partida. O vibrador de partida é também adaptado para muitos sistemas de ignição de helicóptero. O esquema do diagrama de um sistema de ignição, usando o interruptor magneto de retardo e o conceito de vibrador de partida, é mostrado na figura 7-39.

Com o seletor do magneto na posição "ambos" (figura 7-39), e o interruptor de partida S1 ligado, o solenóide de partida L3 e a bobina L1 são energizados, fechando os contatos R4, R1, R2 e R3 do relé.

R3 liga o magneto direito ao aterramento, mantendo-o inoperante durante a operação de partida. A corrente elétrica flui da bateria através de R1, ponto V1 do vibrador, bobina L2, através de ambos os pontos do interruptor de retardo, e através de R2 e o contato principal do interruptor do magneto esquerdo para a massa. A bobina L2 energizada abre os contatos V1 do vibrador, interrompendo o fluxo de corrente através de L2.

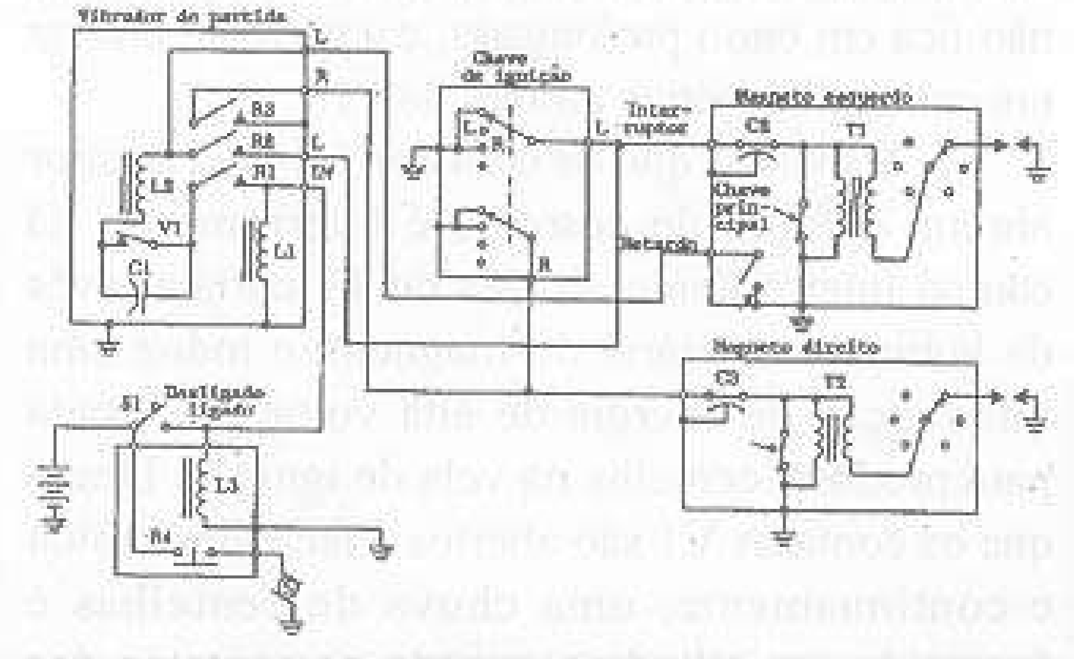


Figura 7-39 Circuito vibrador de partida e magneto interruptor de retardo de alta tensão

O campo magnético de L2 interrompe bruscamente, e os contatos V1 do vibrador fecham novamente. Uma vez mais, corrente flui através de L2, e novamente os contatos V1 do vibrador abrem. Este processo é repetido continuamente, e o fluxo de corrente interrompido da bateria flui para o aterramento, através dos contatos do interruptor principal e do de retardo do magneto esquerdo.

Desde que o relé R4 é fechado, o motor de partida é energizado e o eixo do motor começa a girar. Quando o motor atinge sua posição normal de ignição os contatos do interruptor principal do magneto esquerdo abrem.

A interrupção momentânea de corrente do vibrador pode manter um caminho para o aterramento através dos contatos do interruptor de retardo, que não abrem até que a posição de retardo do motor seja atingida. Nesse ponto do movimento do eixo de partida, os contatos de retardo abrem. Uma vez que os contatos do interruptor principal são mantidos abertos, a bobina primária do magneto não fica em curto prolongado, e a corrente produz um campo magnético através de T1.

Cada vez que os contatos V1 do vibrador abrem, o fluxo de corrente é interrompido. O campo interrompido através de T1 corta através da bobina secundária do magneto, e induz uma interrupção de energia de alta voltagem, usada para produzir centelha na vela de ignição. Desde que os contatos V1 são abertos e fechados rápida e continuamente, uma chuva de centelhas é fornecida aos cilindros quando os contatos dos interruptores principal e de retardo são abertos.

Depois que o motor inicia a aceleração, o interruptor de partida manual é liberado, causando a desenergização de L1 e L3. Isso faz com que o vibrador e os circuitos de retardo fiquem inoperantes, e também abra os contatos do relé R3, o que remove a massa do magneto direito.

Ambos os magnetos agora disparam no avanço (funcionando normalmente) da posição do pistão.

Vibrador interruptor de retardo de baixa tensão

O sistema, projetado para aeronaves pequenas de quatro e seis cilindros, elimina as desvantagens dos sistemas de ignição de acoplamento de impulso e de alta tensão.

Um sistema típico, mostrado na figura 7-40, consiste em magneto interruptor de retardo, um magneto interruptor simples, um vibrador de partida, bobinas de transformador e um interruptor de partida e ignição. Para operar o sistema mostrado na figura 7-40, consiste em magneto interruptor de retardo, um magneto interruptor simples, um vibrador de partida, bobinas de transformador e um interruptor de partida e ignição. Para operar o sistema mostrado na figura 7-40, coloca-se o interruptor de partida S3 na posição ligado. Isso energiza o solenóide L3 e a bobina L1, fechando os contatos R1, R2, R3 e R4 do relé. Com o seletor do magneto na posição "L" (esquerdo), uma corrente flui através de R1, dos contatos L2 e R2 do vibrador, e através dos contatos do interruptor principal para o aterramento. A corrente também flui através de R3 e contatos do interruptor de retardo para a massa.

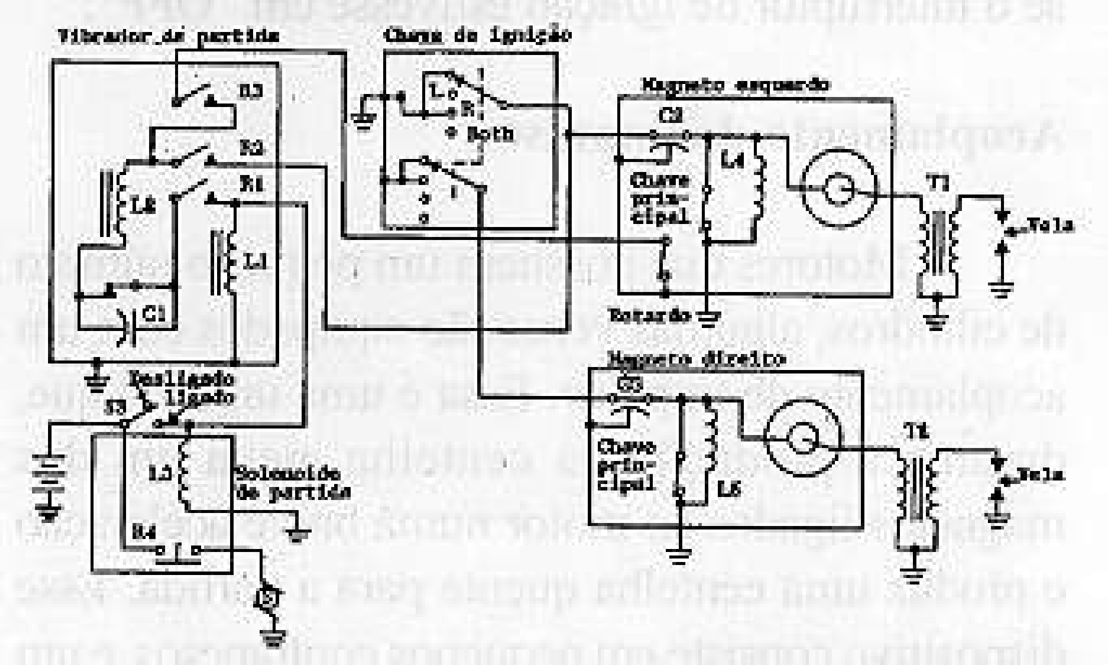


FIgura 7-40 Magneto de retardo de baixa tensão e circuito vibrador de partida

Correntes através de L2 produzem um campo magnético, os quais abrem os contatos do vibrador.

Quando a corrente pára de fluir através de L2, os contatos novamente se fecham. Estas ondas de fluxo de corrente, através de ambos os contatos dos interruptores de retardo e principal vão para a massa.

Desde que o interruptor de partida seja fechado, o eixo do motor começa a girar.

Quando o giro atinge o avanço normal da posição de ignição, os contatos principais do interruptor do magneto abrem; entretanto, a corrente mantém o fluxo para a massa através dos contatos fechados do interruptor de retardo.

Como o motor continua girando, a posição de retardo de ignição é atingida e os contatos do interruptor de retardo são abertos. Desde que os contatos do interruptor principal sejam mantidos abertos, a corrente vai fluir para a massa através da bobina L4, produzindo um campo magnético ao seu redor.

Como o motor continua girando, os contatos do interruptor vibrador abrem, interrompendo bruscamente o campo magnético L4 através do T1 primário, induzindo uma alta voltagem no secundário do T1 para detonar a vela de ignição.

Quando o motor "pega", o interruptor de partida é liberado, desenergizado L1 e L3. Isso abre os contatos do circuito do vibrador e do interruptor de retardo. O interruptor de ignição é então girado para "ambos", permitindo que o magneto direito opere ao mesmo tempo que o magneto esquerdo.

VELAS DE IGNIÇÃO

A finalidade da vela de ignição é inflamar a carga de combustível/ar comprimida no interior do cilindro no tempo de compressão do motor.

Uma parte da vela na câmara de combustão conduz um impulso de corrente de alta voltagem entre dois eletrodos produzindo uma centelha elétrica que, inflamando a carga de combustível/ar, ao final do tempo de compressão, inicia o tempo motor.

Embora as velas de ignição de aeronaves sejam de simples construção e operação, elas estão direta ou indiretamente relacionadas com a maioria das grandes falhas nos motores de aeronaves. Mesmo assim, as velas permitem uma grande operação sem problemas, considerando as condições adversas em que operam.

Em cada cilindro de um motor operando a 2.100 RPM, aproximadamente 17 centelhas de alta voltagem saltam por segundo entre os eletrodos de uma vela de ignição simples. Isso parece para os nossos olhos como um disparo contínuo, saltando dos eletrodos das velas à temperatura acima de 300º F. Ao mesmo tempo, a vela suporta uma alta pressão de gás como 2.000 p.s.i, e uma alta pressão elétrica da ordem de 15.000 volts.

Os três principais componentes de uma vela de ignição (figura 7-41) são os eletrodos, isolante e cobertura externa. A cobertura externa que possui rosca para fixação ao cilindro, é normalmente feita de aço especial resistente à corrosão devido aos gases do motor, garantindo a fixação.

A falta de tolerância da rosca de fixação e do vedador evita vazamento da pressão de gás de escapamento através da vela. A pressão que vier a escapar através dessa é retida pelo vedador interno, entre o metal externo da cobertura e o isolador, e entre o isolador e o conjunto do eletrodo central.

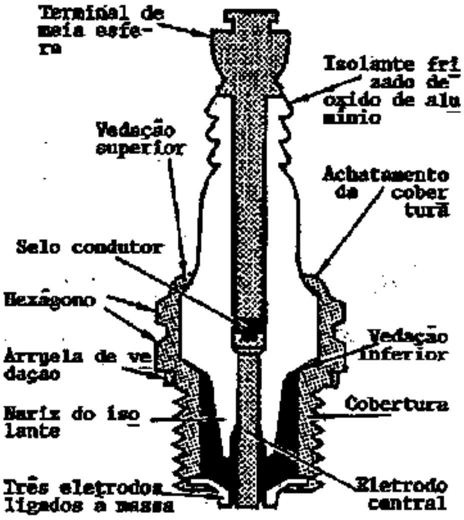


Figura 7-41 Uma vela de ignição típica

O isolador provê uma proteção em torno do eletrodo. Em adição à isolação elétrica, o isolador de cerâmica também transfere calor da ponta da cerâmica para o cilindro.

Os tipos de velas de ignição usados em diferentes motores variam em relação ao calor, faixa, tamanho da rosca ou outras características de instalação, requeridas por diferentes motores.

A faixa de calor de uma vela de ignição é medida pela sua capacidade de transferir calor para a cabeça do cilindro. A vela deve operar quente, permitindo queimar depósitos que podem causar sujeira, entretanto, a uma temperatura que evite a condição de pré-ignição.

O comprimento do nariz central é o principal fator para estabelecer a faixa de calor de vela. Velas "quentes" possuem um grande nariz isolador, que cria um longo caminho de transferência de calor, enquanto que as velas "frias" possuem um isolador relativamente pequeno, para permitir uma rápida transferência de calor para a cabeça do cilindro (Fig 7-42).

Se um motor fosse operado somente em uma velocidade, o desenho das velas de ignição poderiam ser bastante simplificado. Devido ao fato do vôo demandar diferentes situações de carga do motor, as velas de ignição precisam ser projetadas para operar tão quentes quanto possível, e em baixas velocidades e poucas cargas, e tão frias quanto possível em cruzeiro e potência de decolagem.

A opção pela vela de ignição que deve ser utilizada em um motor de aviação é determinada pelo fabricante do motor após testes completos.

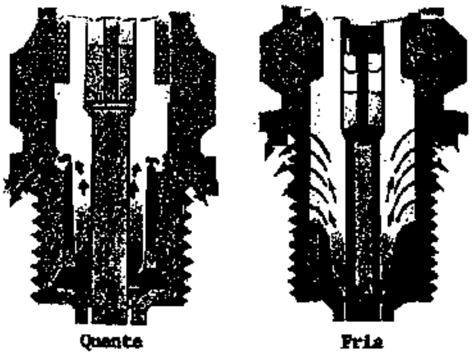


Figura 7-42 Velas quentes e frias

Quando um motor é certificado para utilizar uma vela de ignição quente ou fria, a vela utilizada é determinada pela forma como o motor vai ser operado.

Uma vela com alcance apropriado (Figura 7-42) irá determinar o quanto a extremidade do eletrodo penetrará no cilindro, em uma posição ideal para ativar a ignição. O alcance da vela de ignição é a quantidade de rosca inserida na bucha, do cilindro. Gripamento da vela e/ou combustão incorreta no cilindro, são causas prováveis de velas com alcances errados em uso.

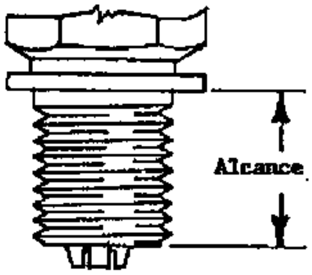


Figura 7-43 Alcance da vela

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO DE MOTORES ALTERNATIVOS

Um sistema de ignição de uma aeronave é o resultado de um cuidado projeto e de esmerados testes. Há todas as possibilidades de um sistema de ignição estar bom, dependendo do serviço e da manutenção adequada. Entretanto, dificuldades podem ocorrer, afetando a performance de um sistema de ignição. A mais comum dessas dificuldades de manutenção, junto com o método mais genérico de inspeção de ignição, será discutido nesta seção.

Quebra do material isolante, surgimento e aumento de pontos de rachaduras e curto-circuito, ou quebra de conectores elétricos, não são incomuns. Esses defeitos devem ser encontrados e corrigidos. Menos comuns são as irregularidades que envolvem erros humanos. Por exemplo, o tempo de ignição requer um ajuste preciso e cuidadoso, para que quatro condições sejam seguidas no mesmo instante:

1) O pistão do cilindro número 1 deverá estar em uma posição descrevendo um número de graus, antes do ponto morto alto no tempo de compressão.
2) O rotor do magneto deve estar na posição da folga “E”.
3) Os contatos do platinado devem estar abertos pelo ressalto do came número 1.
4) A haste do distribuidor deve estar alinhada com o eletrodo servindo o cilindro número 1.

Se uma dessas condições estiver fora de sincronização, com qualquer outra, diz-se que o sistema de ignição está “fora de tempo”.Quando a ignição de um cilindro ocorre antes do eixo de acionamento atingir o ponto ideal, isso é classificado como “avançado”. Se a ignição ocorre muito cedo, o pistão surge no cilindro em oposição a força total da combustão. Essa condição resulta em perda de potência do motor, superaquecimento, e possibilidade de detonação e pré-ignição.

Se a ignição ocorre em um tempo após a posição ótima do eixo de manivelas ser atingida, o tempo de ignição é chamado de “atrasado”.
Se isso ocorrer muito tarde, não haverá tempo suficiente para queima da carga de ar/combustível, e ocorrerá uma combustão incompleta. Como resultado, o motor perde potência e aumenta a abertura necessária ao acelerador, para manter a carga da hélice.

As irregularidades mais comuns são aquelas causadas por formação de umidade em diferentes partes do sistema de ignição. Umidade pode entrar nas unidades do sistema de ignição através de fendas ou coberturas soltas, ou pode ser resultado do condensação.

“Respingos”, uma situação que acontece durante um reajuste do sistema, devido a baixa ou alta pressão atmósferica, pode acontecer quando o ar está carregado de umidade.

Normalmente o calor do motor é suficiente para evaporar a umidade, mas ocasionalmente esta se condensa com o motor frio.

O resultado é um considerável acúmulo de umidade, que pode causar a perda da resistência elétrica do material isolante.

Uma pequena quantidade de contaminação, por umidade, pode causar redução na saída do magneto por curto-circuito, para a massa, de parte da corrente de alta voltagem destinada à vela de ignição.

Se este acúmulo de umidade for considerável, a saída do magneto pode ser dissipada para o aterramento.

O acúmulo de umidade durante o vôo é extremamente raro, devido a alta temperatura de operação do sistema que é suficiente para evitar a condensação, portanto, as dificuldades por essas causas podem ocorrer mais provavelmente durante a operação no solo.

As velas de ignição de aeronaves podem ser injustamente apontadas como causas de falhas no funcionamento.

Elas podem ser apontadas como defeituosas quando, na realidade, o defeito está ocorrendo em outro sistema.

Falha no funcionamento do carburador, sujeira no distribuidor, válvula travada, vazamento no sistema primário, ou sujeira na marcha lenta, e ajuste de mistura podem apresentar os mesmos sintomas de falha no sistema de ignição.

Infelizmente, muitas dessas condições podem ser temporariamente resolvidas com a substituição de uma vela de ignição, mas o problema voltará a ocorrer em um curto espaço de tempo porque sua causa real não foi eliminada. Um total desconhecimento dos vários sistemas de motor, após cuidadosa inspeção e bons métodos de manutenção, podem reduzir substancialmente muito erros.

DISPOSITIVOS DE REGULAGEM DO MAGNETO DE IGNIÇÃO

Quando muitas oportunidades para errar a regulagem do sistema de ignição para o motor são consideradas, a ênfase para o correto uso dos dispositivos que seguem é facilmente justificada.

Erros podem facilmente ocorrer no posicionamento do pistão na sincronização com o cilindro; ele pode ser colocado em um grau do eixo, mas em um tempo errado.

Quando posicionando o rotor do magneto, um desacerto pode ser causado pela não remoção da folga entre as engrenagens de acionamento.

O conjunto dos platinados estando ou não corretamente sincronizado, não pode ser aberto na folga"E".

Qualquer outro erro pode alterar a regulagem final da vela de ingnição. Devido às grandes possibilidades de erros, dispositivos temporizados estão sendo desenvolvidos para tornar mais consistente os métodos de temporização.

Marcas de referências para a regulagem no próprio motor

Muitos motores alternativos possuem marcas de referências no próprio motor.

Em um motor que não tem engrenagens de redução de hélice, a marca poderá ser normalmente encontrada no flange da hélice (figura 7-44).

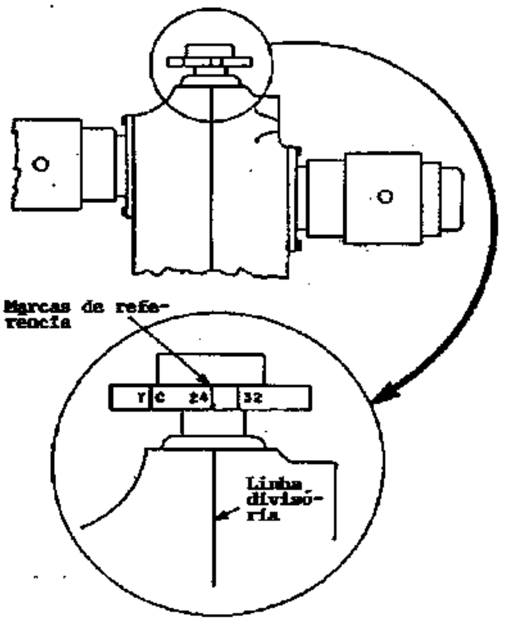


Figura 7-44 Marcas de tempo do motor no flange da hélice

A marca de ponto central (TC), estampada no bordo, irá alinhar-se com o eixo longitudinal abaixo do eixo de manivelas, quando o pistão número 1 estiver no ponto morto alto. Outras marcas no flange indicam os graus antes do ponto morto alto.

Em alguns motores existem marcas de graus na caixa de redução das hélices. Para esses motores é necessário remover um plugue na caixa de engrenagens de redução, para que possa ver as marcas do tempo do motor. Em outros motores, as marcas de temporização estão na flange do eixo de manivelas, e podem ser vistos removendo a conexão à frente do eixo.

Em qualquer caso, as instruções do fabricante do motor irão indicar a localização dessas referências no motor.

Utilizando as marcas (figura 7-45) para posicionar o eixo de manivelas, o ponteiro estacionário, ou a marca na seção dianteira, deve estar alinhado no eixo da hélice, no flange do eixo ou na caixa de engrenagens. Se a verificação for feita em ângulo poderá resultar em um erro de posicionamento do eixo de manivelas. Embora muitos motores tenham marcas de referência de tempos, eles ainda deixam a desejar.

O principal inconveniente é o fator folga. A folga em um sistema de engrenagens irá variar entre as instalações e, muitas vezes, entre duas verificações distintas da mesma peça do equipamento.

Isso acontece porque não existe como impor uma carga à caixa de engrenagens, em direção oposta à rotação do eixo de manivelas. Outro aspecto desfavorável na utilização de marcas na caixa de redução é um pequeno erro que surge quando verifica-se de baixo para cima essa marca de referência, para ajustá-la dentro da carcaça da caixa de redução.

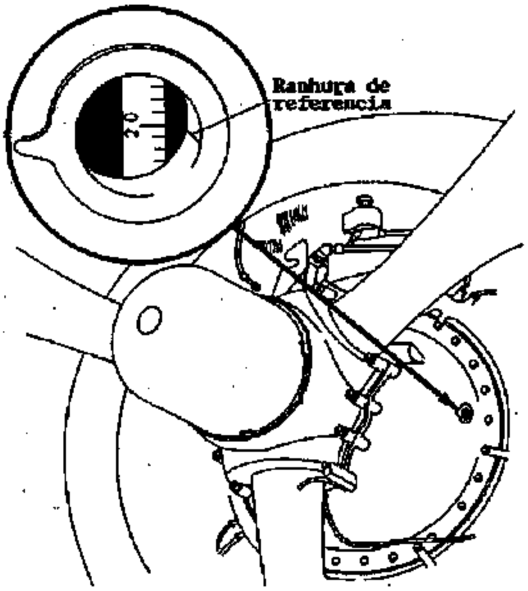


Figura 7-45 Marca de referência dos tempos, na caixa de redução da hélice

Devido ao fato de haver folga entre as duas marcas de referência, cada mecânico deve ter seus olhos no mesmo plano, se não, cada pessoa irá selecionar uma posição diferente do eixo de manivelas para o ajuste da ignição.

Disco de sincronização

O disco de sincronismo é um dispositivo de posicionamento do eixo de manivelas mais preciso do que as marcas de referênica. Esse dispositivo consiste em um disco e um ponteiro mecânico, montado em um acessório acionado pelo motor ou na carcaça do motor. Esse ponteiro, que é montado em um eixo acionador de acessório, indica o número de graus do movimento do eixo de manivelas sobre o disco.

O disco é marcado em graus relativos ao eixo de manivelas. Pelas simples aplicação do torque no acionador de acessórios em uma direção oposta à rotação normal, a folga na caixa de engrenagens pode ser removida, e o eixo de manivelas pode ser levado para a posição, e obter um ajuste preciso a qualquer tempo.

Nem todos os discos são marcados no mesmo número de graus. Por exemplo, o disco destinado para uso em um tipo de motor é montado no eixo de acionamento da bomba de combustível.

Desde que a bomba seja acionada com a mesma velocidade do eixo de manivelas, o ponteiro irá descrever um circuito completo quando o eixo de manivelas completar um volta.

Portanto, o disco pode ter incrementos de um em um grau até completar 360º. Entretanto, o disco utilizado em um outro motor pode ser montado sobre o magneto, que é acionado com a metade da velocidade do eixo de manivelas.

Com essa relação, o eixo move um grau, enquanto o ponteiro indicador move apenas meio grau. Por essa razão, o disco está marcado com 720 espaços de ½ grau. Cada ½ grau indicado corresponde a um grau completo no movimento do eixo de manivelas.

A figura 7-46 mostra um disco de sincronia.

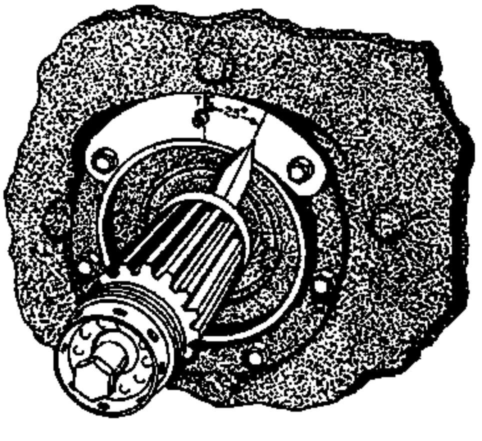


Figura 7-46 Placa de sintonia e ponteiro

As marcas variam de acordo com as especificações do motor. A escala nesse exemplo é fixada nos parafusos de fixação da placa de torque e o ponteiro no eixo de acionamento da hélice.

Indicador de posição do pistão

Precisamos obter a indicação de posição do pistão para sincronizar a ignição, válvulas ou injeção de combustível. Essa referência é chamada de ponto morto alto. Esta posição do pistão não pode ser confundida com a posição do pistão chamada ponto alto.

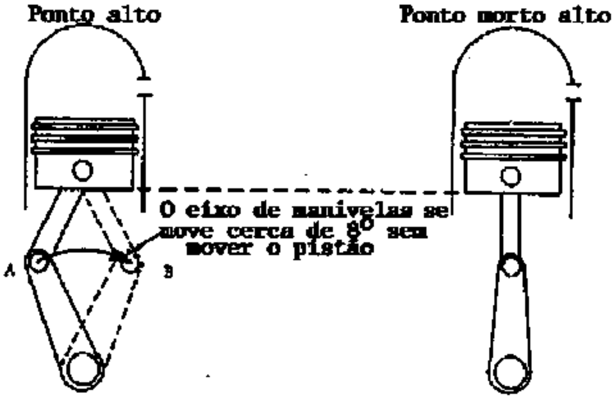


Figura 7-47 Diferença entre o ponto alto e o ponto morto alto

Um pistão no ponto alto tem pouco valor para o ponto de ajuste padrão, porque corresponde a uma variação de 1 a 5º da posição do eixo de manivelas. Isso é ilustrado na figura 7-47, que foi exagerado para dar enfâse a zona em que o pistão "não desloca".

Nota-se que o pistão não se move, enquanto que, o eixo de manivela descreve um pequeno arco da posição "A" para a posição "B". Esta zona que "não desloca" o pistão ocorre entre o tempo em que o eixo de manivelas termina de leva-lo para cima através da biela, e posiciona a biela para puxar o pistão para baixo. O ponto morto alto é a posição do pistão e do eixo de manivelas, a qual todas as outras localizações do pistão e eixo de manivela são referenciadas.

Quando um pistão está na posição de ponto morto alto, ele está na distância máxima do centro do eixo de manivelas, e também no centro da zona que "não desloca". Nessa posição, o pistão está localizado de modo que pode ser traçada uma linha de centro do eixo de manivelas, biela e pino do pistão, como mostrado na figura 7-47. Com esse alinhamento, uma força aplicada no pistão não pode mover o eixo de manivelas.

Talvez uma haste ou um lápis tenham sido os primeiros indicadores de posição do pistão. Uma extremidade dessa simples ferramenta pode ser inserida em um ângulo através do orifício da vela de ignição do cilindro de sincronia, até atingir o outro bordo do pistão, como mostrada na figura 7-48.

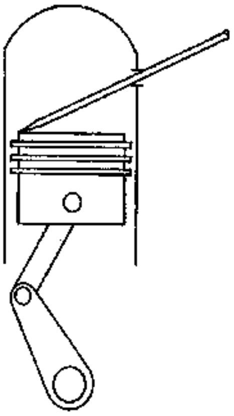


Figura 7-48 Um indicador simples da posição do pistão

Nesse ponto, este mecanismo deve ser marcado com a unha do polegar em relação à face do orifício da vela de ignição. Com essa marca mantida da haste, pode-se retirar a haste e fazer um chanfro de uma polegada acima da marca. Esse chanfro provê um ponto de referência que, algumas vezes, estará antes do ponto morto alto. Um procedimento incorreto não poderá encontrar a mesma posição do pistão em cada tempo.

Todas as indicações de posição do pistão em uso utilizam o orifício da vela de ignição, que sempre encontra o cilindro em um plano exato, e a haste de indicação toca a mesma parte da cabeça do pistão.

Um dos vários indicadores de posição do pistão usados hoje é um indicador mostrador de tempo (figura 7-49). Isso serve para o propósito de indicar a posição do pistão em um número limitado de graus, como o disco de sincronia. Esse dispositivo consiste em duas partes: a carcaça do corpo e a face. A carcaça é essencialmente um adaptador com um parafuso, que atravessa o orifício da vela de ignição e suporta a face.

A face é monstada no adaptador e contém uma mola de carga que compensa o braço do indicador, um ponteiro deslizante, uma escala substituível calibrada em graus, um indicador luminoso, e a borda que distende-se acima da face para formar uma dobradiça para compensar o braço do indicador.

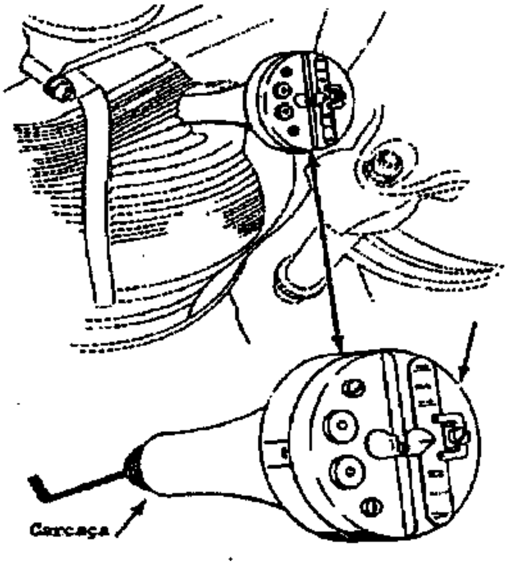


Figura 7-49 Indicador da posição do pistão

A extensão final do braço compensado dentro do cilindro, através do orifício da vela de ignição é atuado pelo movimento do pistão. A outra extremidade da extensão do braço passa através da fenda da face, e atua o ponteiro deslizante sobre a escala.

Esse indicador acoplado tem uma variedade de diferentes braços e escalas graduadas. Tanto os braços, como as escalas, são compensados para os diferentes motores que utilizam essas marcas. A compensação é necessária porque há variação entre golpes dos pistões e localização dos orifícios das velas em diferentes cilindros.

Os braços são compensados pela variação de suas formas e comprimentos, e a escala é compensada pelo espaçamento das marcas em graus.

Desse modo, uma combinação particular de uma escala e braço indicarão a posição verdadeira do pistão, se for usada corretamente.

Para garantir uma maior precisão com o "Indicador", uma pequena luz, alimentada por uma pequena bateria, é montada na face. Quando o braço compensado toca o ponteiro móvel, um circuito elétrico é completado e a luz acende. Essa luz permite maior precisão, porque o ponteiro deslizante pode ser posicionado para marcar um determinado grau sobre a escala, e o eixo de manivelas pode ser girado lentamente pelo eixo da hélice até que a luz acenda. O eixo da hélice deve ser movimentado lenta e cuidadosamente, para que o braço não movimente o ponteiro além do grau ajustado após a luz acender.

Existem dois outros tipos comuns de indicadores de posição de pistão em uso, e ambos utilizam o mesmo princípio de posicionamento do pistão. Um possui a escala e pontos de referência. O outro é simplesmente uma luz que acende quando o pistão toca o braço atuador, e apaga quando o pistão se move para baixo do braço.

Luzes de sincronia

A luz de sincronia é utilizada para ajudar a determinar o instante exato em que os contatos do magneto se abrem. Esses equipamentos são encontrados em dois tipos gerais e de uso comum. Ambos possuem duas luzes e três fios de conexão externa, embora possuam circuitos internos completamente diferentes, suas funções são as mesmas. Um tipo e seu circuito interno são mostrados na figura 7-50.

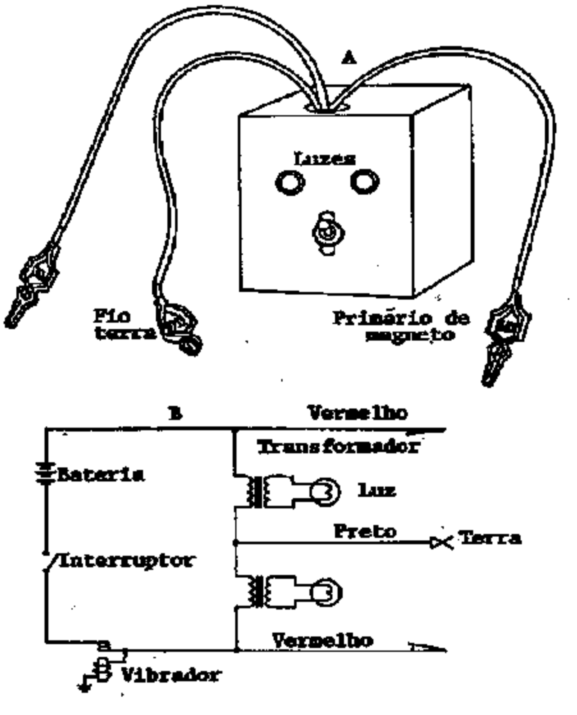


Figura 7-50 Diagrama elétrico de luz de sincronia

Três fios conectores saem do topo da caixa de luzes (“A “ na figura 7-50). Também possui duas luzes na face dianteira da unidade e um interruptor para ligar e desligar a unidade.

No diagrama de fios (“B” na figura 7-50) percebe-se que a unidade contem uma bateria, uma bobina do vibrador e dois transformadores. Para utilizar a luz de sincronia, o fio central, marcado “terra” é conectado à carcaça do magneto a ser testado. As outras pernas são conectadas aos fios do primário do conjunto de platinados dos magnetos.

Com as pernas conectadas dessa maneira, pode ser facilmente determinado se os contatos estão abertos ou fechados pelo comando do interruptor, observando as fuas luzes. Se os contatos estiverem fechados, a maior parte da corrente fluirá através dos contatos do interruptor, e não através dos transformadores, então as luzes não acendem.

Alguns modelos operam de maneira inversa, ou seja, a luz se apaga quando os contatos abrem. Cada uma das duas luzes é operada separadamente por contatos do interruptor, no qual estão conectadas. Isso torna possível observar o tempo ou o ponto de referência para ajustar o rotor do magneto para o ponto onde os contatos abrem.

Muitos destes sincronizados utilizam bateria seca que são substituídas após longo tempo de uso. A atenção para a utilização é com relação a bateria fraca, que pode causar resultados errôneos de leitura, devido ao baixo fluxo de corrente no circuito.

SINCRONISMO INTERNO DO MAGNETO

Ao substituir um magneto ou prepará-lo para a instalação, a primeira preocupação é com a sincronização interna.

Para cada modelo de magneto, o fabricante determina com quantos graus da posição neutra um polo do rotor pode ser mantido para obter a melhor centelha na vela, no instante em que os contatos do platinado se abrem. Esse deslocamento angular da posição neutra, conhecido como ângulo de folga “E”, varia com os diferentes modelos de magnetos. Em um modelo, o “passo” é verificar o came do platinado para checar a sincronia interna do magneto.

Quando uma régua é colocada nesse passo e coincide com as marcas na borda da carcaça, o rotor do magneto está na posição de folga “E” e os contatos do platinado devem estar começando sua abertura.

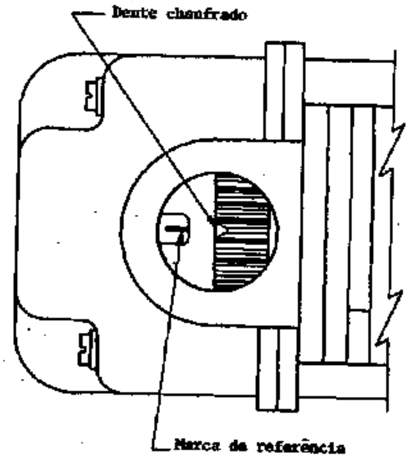


Figura 7-51 Marcas de sincronismo que indicam a posição n^{o} 1 de centelhas do magneto

Outro método para checar a folga “E”é alinhando a marca de sincronismo com um dente chanfrado (figrua 7- 51). Os contatos devem estar começando a abertura quando essa marca estiver alinhada.

Em um terceiro método, a folga “E”estará correta quando o pino de sincronia estiver posicionado, e os pontos vermelhos visíveis através de um furo de ventilação, no lado da carcaça do magneto, estiverem alinhados (figura 7-52). Os pontos de contato deverão estar começando a abertura, quando o rotor se encontrar na posição descrita.

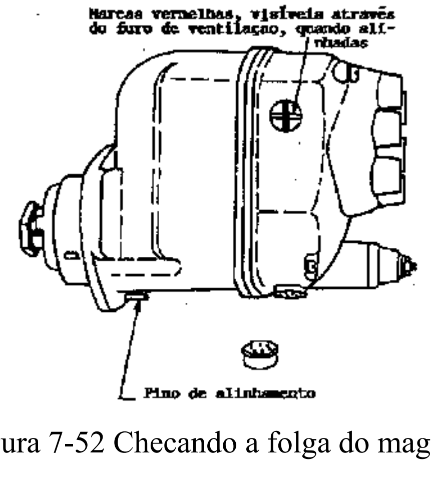

Marcas vermelhas, visíveis através do furo de ventilaçao, quando alinhadas
Pino de alinhamento

Figura 7-52 Checando a folga do magneto

O ajuste de sincronismo do magneto envolve o posicionamento do rotor na posição da folga "E", e o ajuste dos contatos do platinado para abrirem quando as marcas de sincronia, destinadas a esse propósito, estiverem perfeitamente alinhadas.

Sincronia do magneto de alta tensão

No assunto a seguir os procedimentos para sincronismo de um magneto de motor radial de duas carreiras de cilindros é citado somente para exemplo. Consulte as instruções do fabricante em qualquer caso, antes de alinhar a referência do magneto.

Para alinhar o magneto em bancada, certas ferramentas são necessárias. Normalmente usa-se a luz de sincronia, uma ferramenta para segurar o magneto, uma chave de fenda comum para soltar alguns parafusos do conjunto e uma régua para verificar a folga "E".

Os contatos do plantinado são protegidos por uma cobertura. A remoção dessa cobertura como mostrado na figura 7-53, expõe o ressalto e os contatos do platinado.

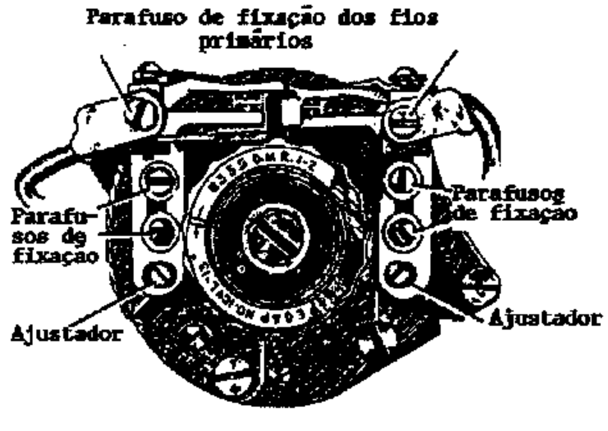


Figura 7-53 Contatos do platinado e ressalto compensado

Para iniciar o ajuste de sincronismo do magneto, conecta-se os dois fios vermelhos do sincronizador de luzes nos parafusos primários do magneto. E o fio preto restante liga-se na carcaça do magneto para fazer o aterramento.

Com a maioria dos magnetos desse tipo, uma ferramenta especial é usada para receber o encaixe do eixo de acionamento do magneto. Essa ferramenta mantém o magneto com os contatos para a posição perpendicular, e mantém o rotor do magneto estacionário durante o processo de alinhamento.

O movimento do rotor pode ser simulado, girando o magneto em torno do rotor. Para alguns tipos de magnetos a ferramenta que segura o rotor contém uma braçadeira para travá-lo na carcaça do magneto, estabelecendo a relação entre os dois.

Com o magneto instalado na ferramenta fixadora, e o sincronizador de luzes instalado, o posicionamento das marcas de alinhamento do rotor do magneto e o alinhamento do magneto pode ser perfeitamente localizado. Trava-se a ferramenta nessa posição.

Com o rotor posicionado e travado, ambos os parafusos inferiores (figura 7-54) podem ser afrouxados. Então, aperta-se estes dois parafusos até que haja algum arrasto (fricção), permitindo movimentar a base nos parafusos de ajuste.

Liga-se o sincronizador de luzes e move-se os parafusos de ajuste para trás e para frente até que as luzes de sincronia, para ajuste dos pontos, iniciem a acender. Trava-se este ajuste nos pontos de contato, apertando os dois parafusos sem alterar o ajuste.

A trava do rotor do magneto deve ser solta e o ajuste pode ser verificado com a régua e o sincronizador de luzes, para determinar que os pontos estejam abertos exatamente na folga "E". Isso é conseguido colocando e mantendo-se a régua no ressalto do rotor, e girando a carcaça do magneto em torno do eixo do rotor suportado pelo dispositivo de fixação.

Primeiro, gira-se a carcaça do magneto na direção indicada pela seta no ressalto do rotor até que a luz se apague. Indicando dessa forma que os contatos estão completamente fechados, então, o magneto é rodado na direção oposta.

Isso fará com que o rotor do magneto volte para a posição de folga "E" na direção normal da rotação.

Se o ajuste estiver correto, o ressalto do rotor do magneto se alinhará com a posição de folga "E", que será indicado pela régua, no exato momento em que a luz acende para mostrar que os contato estão abertos.

A sincronia interna pelo ajuste dos contatos do platinado estará concluída.

Existem diversas maneiras para ajustar e manter o ajuste dos contatos abertos na posição de folga “E”. Talvez o método mais fácil já seja utilizado, ajustando os pontos do interruptor com uma verificação de contato.

Utilizando a indicação de luzes através dos pontos, com uma correta referência da folga, o segundo ajuste pode ser sincronizado para abrir exatamente no mesmo tempo.

Quando os dois parafusos de fixação no segundo ponto de ajuste (figura 7-53) são liberados, para permitir que os parafusos de ajuste movam as partes dos pontos de aterramento, os contatos podem ser ajustados até que a luz acenda exatamente ao mesmo tempo que o primeiro ajuste.

Então os parafusos de trava podem ser apertados sem alterar o posicionamento do interruptor antes de rodar a carcaça do magneto para ver se ambas as luzes acendem simultaneamente. O magneto agora está pronto para ser instalado no motor e isso requer sincronia desse com o motor.

SINCRONISMO DO MAGNETO DE ALTA TENSÃO COM O MOTOR

Quando se substitui magnetos em motores de aeronaves, dois fatores são considerados: a sincronia interna do magneto, incluindo o ajuste do ponto de contato, que deve ser correto para obter o máximo potencial de voltagem dos magnetos; e a posição do eixo de manivelas em relação a centelha.

Uma folga dos contatos do platinado nunca pode ser comparada com outra, desde que não se conheça o outro ajuste dos contatos, que abre com um determinado número de graus antes do ponto morto alto na posição sincronismo de tempo do motor.

O magneto deve ser sincronizado primeiro ajustando o próprio sincronismo interno e, então, checando e ajustando os contatos de ignição para abrir nesta posição.

Se a marca de sincronia de referência para o alinhamento do magneto, alinhar quando a sincronia do pistão estiver um número descrito de graus adiante do ponto morto alto verdadeiro e, ambos os ajustes dos platinados, direito e esquerdo abrirem nesse instante e permanecerem abertos por um número de graus prescritos, a sincronia interna do magneto estará correta, a sincronia apropriada magneto-motor existe e todas as fases do magneto operam sincronizadas.

No caso dos platinados não serem ajustados quando da sincronia interna do magneto, como descrito pelas marcas de referência de ajuste interno, o magneto, estará fora da posição prescrita em relação ao pistão.

Para que haja sincronia do magneto com o motor no exemplo seguinte, uma luz de sincronismo é usada. A luz de sincronismo é projetada de tal forma que uma das duas estará acesa quando os contatos se abrirem.

A sincronia de luzes incorpora duas lâmpadas; portanto, quando conectamos o sincronizador de luzes ao magneto, os fios devem ser ligados de tal forma que a luz no lado direito da caixa represente os platinados do lado direito do magneto, e a luz do lado esquerdo do teste represente os platinados ao lado esquerdo.

A conexão apropriada dos fios pode ser estabelecida pelo acendimento da luz de sincronia, tocando um dos fios vermelhos como o fio preto. Se a luz direita apagar, o fio vermelho utilizado deve ser conectado na carcaça do magneto, ou no motor, para completar o aterramento.

Quando se utiliza a luz de sincronia para verificar um magneto em um sistema completo de ignição instalado na aeronave, o interruptor principal de ignição da aeronave deve ser ligado e o seletor de ignição colocado em “ambos”(both).

Com o interruptor de ignição ligado e o sincronizador e luzes conectado, o magneto ficará inoperante; portanto, não haverá centelha quando a hélice for girada.

Após se concluir que o sincronismo interno do magneto está correto, gira-se o eixo de manivelas do motor até que o pistão do cilindro número 1 atinja a posição de faiscamento no tempo de compressão. (Esta posição pode ser determinada por referência do manual de serviços do fabricante). Localiza-se essa posição utilizando um indicador do pistão.Para se estabelecer o posicionamento do eixo de manivelas, com o indicador de posição do pistão, alguns itens são seguidos:

1. Remover a vela de ignição mais acessível do cilindro número 1.

2. Instalar o braço de contato e a escala calibrada corretos para o motor específico (consultar as instruções específicas do fabricante para serem utilizados corretamente).
3. Puxar a hélice na direção de rotação, até que o pistão número 1 venha para cima na fase de compressão. Isso pode ser determinado mantendo o polegar sobre o orifício da vela de ignição, enquanto a compressão o empurre para fora.
4. Separar o conjunto indicador de posição do pistão, e atarrachar a carcaça no orifício da vela de ignição. Inserir o conjunto indicador dentro do corpo com a extremidade do gancho para cima ou para baixo, como indicado na escala.
5. Empurrar o ponteiro deslizante para cima na fenda até atingir a extremidade da mesma, e pare no braço indicador (figura 7-54).

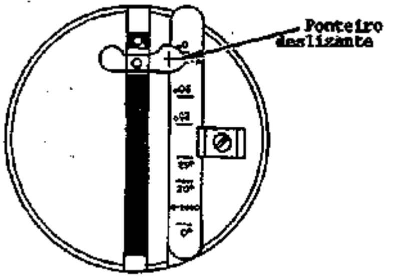


Figura 7-54 Posicionando o ponteiro de indicação

6. Puxar a hélice lentamente na direção de rotação, até que o braço de indicação mova o ponteiro deslizante na distância máxima e o braço indicador inicie o movimento para trás, subindo na fenda (figura – 7-55)

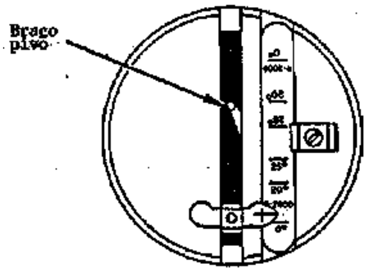


Figura 7-55 Posição máxima do ponteiro indicador

7. Mover a escala calibrada para que a marca do zero se alinhe com a marca descrita no ponteiro deslizante.
8. Mover o ponteiro deslizante para trás, até o topo da fenda, ou até encostar no braço de indicação.
9. Girar a hélice na direção oposta, para que o braço do indicador possa retornar ao topo da fenda.
10. Verificar novamente a marca do zero na escala calibrada contra a marca de referência no ponteiro indicador (figura 7-56).

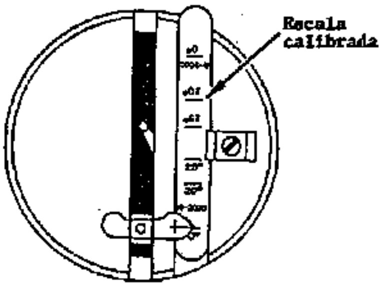


Figura 7-56 Rechecando a marca zero contra a de referência no ponteiro indicador

11. Novamente mover o ponteiro deslizante para a parte superior da fenda, ou até enconstar no braço indicador.
12. Puxar a hélice na direção de rotação. O braço indicador moverá o ponteiro deslizante, que indicará a posição do eixo de manivelas em relação ao ponto morto alto na escala calibrada. (figura 7-57).
13. Ajustar a quantidade de graus do eixo de manivelas do motor para o correto ponto morto (tempo de ignição) como descrito nas instruções do fabricante.

Enquanto se mantém o ressalto de centelhamento na posição para o cilindro número 1, como indicado pelo alinhamento da marca de referência do magneto, instala-se o magneto na engrenagem de acionamento no motor.

A luz de sincronização é conectada ao magneto e aos platinados com o interruptor das luzes ligado e o conjunto do magneto é girado, primeiro na direção de rotação, e então na direção oposta. Utiliza-se esse procedimento para verificar que as luzes apagam, e acendem quando o ressalto para o cilindro número 1, normalmente marcado por um ponto, levanta os platinados do magneto, enquanto este é girado.

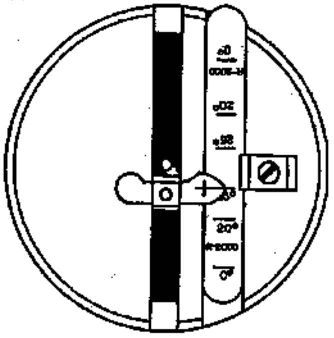


Figura 7-57 Movendo o eixo de manivelas para a posição de cente-lhamento do pistão

Se a fenda no flange de montagem do magneto nãopermitir movimento suficiente para efetuar a abertura dos platinados para o cilindro número 1, move-se o magneto para fora da posição, afastando-o o suficiente para permitir que seu eixo gire um ressalto para a frente ou para trás. Então, instale o magneto novamente nessa posição, e repita a verificação anterior para o pontos abertos.

Depois que o magneto estiver acoplado no encaixe do motor (permitindo a abertura e o fechamento com pequenas viradas), instala-se suas porcas de fixação.

Quando elas forem apertadas não deverá haver movimento no conjunto do magneto em relação ao flange.

Enquanto se mantêm destravadas as engrenagens do magneto e do acoplamento de acionamento, leves batidas são dada no magneto, para avançar ou retardar a unidade até que as marcas de sincronia se alinhem (figura 7-58). Isso o leva à sincronia interna prescrita na quantidade de graus antes do ponto morto alto.

O ajuste se completa quando as porcas são apertadas. Então, a hélice é movida para a direção oposta da rotação, de uma pá, e empurrada lentamente na direção de rotação até o eixo de manivelas, para novamente confirmar o número de graus à frente do ponto morto alto (o propósito desta checagem é eliminar a possibilidade de erros entre a trava da engrenagem de acionamento do motor e as engrenagens do magneto).

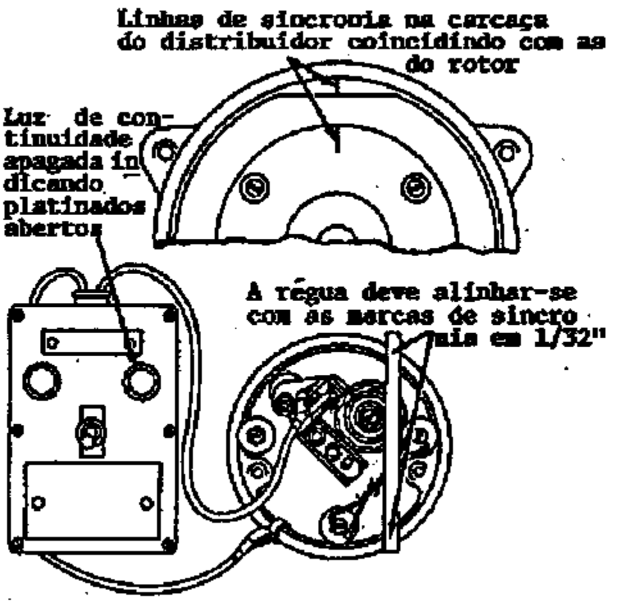

Linhas de sincronia na carcaça do distribuidor coincidindo com as do rotor
Luz de continuidade apagada indicando platinados abertos
A régua deve alinhar-se com as marcas de sincro mais em 1/32"

Figura 7-58 Posição da régua para checar a folga “E” (“E-GAP)

Se a marca de sincronia não estiver alinhada, solta-se as porcas e ajusta-se o magneto até a régua se alinhar com a marca de sincronia, quando a hélice é puxada para um determinado número de graus.

A luz de sincronia é reconectada. Move-se a hélice uma pá na direção oposta à de rotação, e então, enquanto se observa a luz de sincronia, move-se a hélice na direção de rotação até que o número prescrito de graus à frente do ponto morto alto seja atingido. As luzes de ambos os pontos de ajuste devem acender com meio grau de movimento do eixo de manivelas.

Após os pontos estarem ajustados como necessário, verifica-se se os parafusos e a trava dos pontos de ajuste estão firmes. Sempre se verifica a abertura dos contatos após apertar os parafusos de fixação.

Regulagem do magneto usando o dispositivo de catraca

Por causa do projeto da cablagem de ignição em alguns motores, não é possível girar o magneto no seu montante e conseguir pequenas alterações para sua regulagem. Provisões para se conseguir regulagem do magneto instalado são proporcionadas por um arranjo de catracas, na extremidade do seu eixo de acionamento. (figura 7-59).

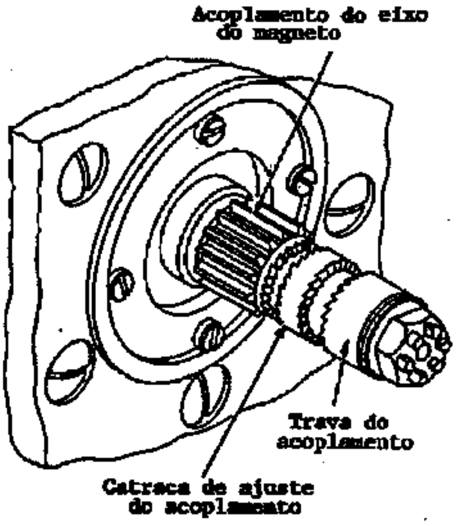

Acoplamento do eixo do magneto
Trava do acoplamento
Catraca de ajuste do acoplamento

Figura 7-59 Dispositivo de catraca do magneto

Quando a porca do eixo de acionamento for desrosqueada, aproximadamente 1/8”, a ação de fixação do mecanismo de catraca é eliminada, e o acoplamento acionador é mantido contra as catracas somente por uma mola. Nessa posição, o acoplamento pode ser girado, produzindo um efeito de “estalos” entre as catracas que são mantidas pelas molas.

Uma típica catraca de regulagem possui 24 dentes em um dos lados e 23 no outro. Girando o acoplamento acionador um “estado”ou dente no sentido horário, move 15º na mesma direção; no sentido anti-horário, o mesmo se movimentará 15,65º. Portanto, alternado o movimento do acoplamento acionador, um “estalo” ou dente, teremos um ganho de 0,65º no sentido anti-horário. Para regular esse tipo de magneto, ferramentas especiais são geralmente determinadas pelas instruções do fabricante.

Por outro lado, as instruções seguem geralmente àquelas discutidas anteriormente, a exceção está nos ajustes finos, que são feitos pela catraca de acoplamento acionadora do magneto.

Ajuste de magneto de montagem fixa sem ferramentas especiais

Alguns tipos de magnetos de alta tensão podem ser ajustados ao motor sem ferramentas especiais, usando o seguinte procedimento:

1) Instalar o equipamento apropriado para estabelecer a posição do eixo de manivelas.
2) Posicionar o eixo de manivelas para o número de graus de avanço predeterminado do ponto morto alto para centelhar, como especificando na instrução aplicável do fabricante.
3) Remover a tampa do magneto, e colocar uma régua ou escala longitudinalmente ao came de ressalto (figura 7-60-A). Alinhar a régua com a maca de ajuste na borda da peça fundida.
4) Enquanto o ressalto é mantido na posição de centelhamento, colocar o magneto em posição do motor, permitindo que o ressalto se movimente o necessário para que o eixo de acionamento com a chaveta do magneto deslize dentro do acionador do motor.

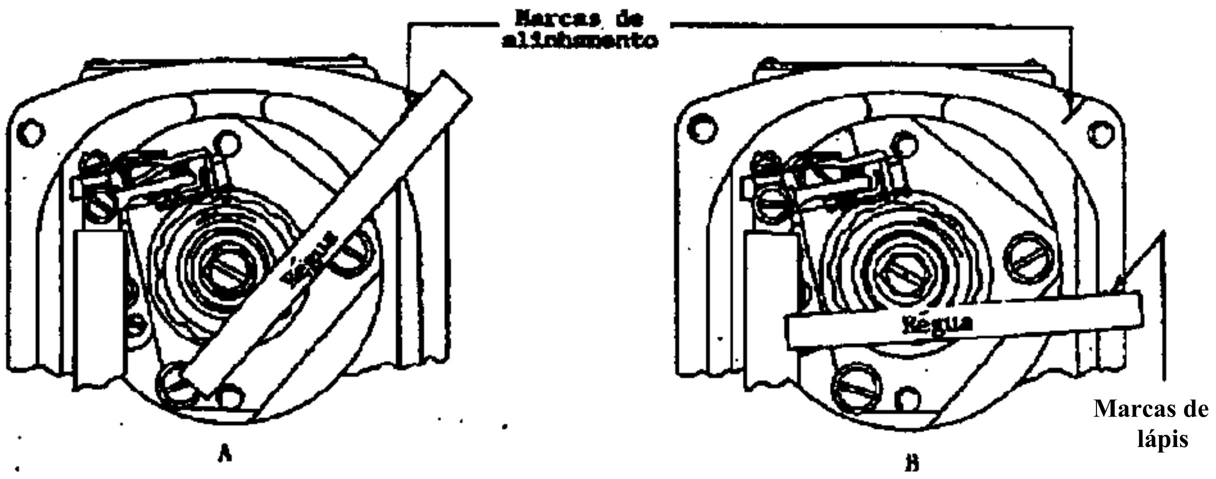


Figura 7-60 Régua de alinhamento

5. -Manter o came na direção oposta de rotação, a fim de remover a folga entre o magneto e o trem da caixa de engrenagens. Então, enquanto a caixa de engrenagens é mantida sem folga, colocar a régua transversalmente no ressalto do came do magneto e fazer uma marca com lápis no alojamento (figura 7-60-B).

6.-Remover o magnero do motor e, usando uma régua no ressalto, alinhá-lo no alojamento. Enquanto o ressalto é mantido nessa posição, aplicar força no acionador do magneto na direção de rotação, para remover a folga das engrenagens. Com a folga removida e o ressalto no came alinhado com a marca a lápis, fazer uma marca na chaveta do eixo de acionamento e outra correspondente na carcaça (figura 7-61-A).

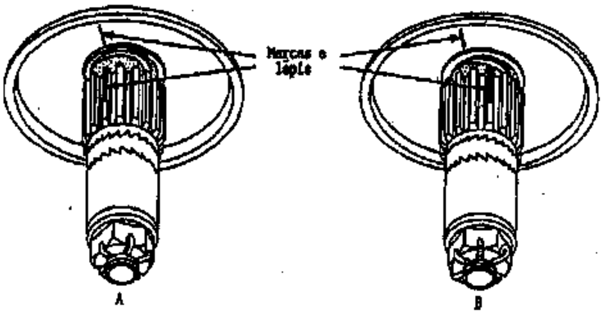


Figura 7-61 Marcação da chaveta do eixo

5) Girar o ressalto do magneto para a posição de centelhamento nº 1, onde a régua alinha com a marca de ajuste (figura 7-60-A). O resultado é um alinhamento do acoplamento acionador similar àquele mostrado na vista B da figura 7-61.

6) Enquanto se mantém o ressalto na posição correta de ajuste, catracar o acoplamento acionador até que o dente marcado da chaveta se alinhe com a marca, que foi feita a lápis, na carcaça (figura 7-61-A).

7) Apertar a porca do eixo acionador do magneto, e travá-la com contrapino. Instalar o magneto equanto o came estiver na posição de centelhamento nº 1.

8) Após o magneto estar instalado, e antes de apertar as porcas de fixação, verificar novamente o alinhamento do ressalto do came com a marca de ajuste. Quando se faz esse “check”, geralmente gira-se o ressalto na direção oposta de rotação, para remover a folga do magneto e da caixa de engrenagens do motor.

9) Mover a hélice, vagarosamente, uma pá na direção oposta de rotação, até que o eixo de manivelas esteja nos designados números de gruas de avanço do ponto morto alto (posição de faiscamento). Verificar novamente o alinhamento da régua com a marca de referência. Se o alinhamento correto não foi obtido, remover o magneto e substituir o mecanismo catracado no eixo acionador, como necessário.

10)Aterrar o fio preto da luz de sincronismo do motor, conectando um dos fios vermelhos ao platinado. Girar a hélice na direção oposta de rotação. Com a luz de ajuste ligada, mover a hélice vagarosamente na direção de rotação até que o platinado abra para o cilindro nº 1. Se o platinado não abrir dentro de mais ou menos meio grau do curso do eixo de manivelas, da posição especificada nas instruções do fabricante, repete-se o procedimento de ajuste.

Ajuste da palheta de contato do distribuidor no sistema de alta tensão

As palhetas do distribuidor são partes básicas para os magnetos esquerdo e direito, na maioria dos modelos de motores.

Quando os distribuidores são separados, um ajuste fino é conseguido através da regulagem apropriada das palhetas.

As palhetas, em alguns motores, são ajustadas pela mudança do flange acionador do distribuidor e pela seleção apropriada do furo de fixação.

Em qualquer motor que incorpore distribuidores separados, a palheta deve estar alinhada com o eletrodo para o cilindro nº 1, quando o eixo de manivelas estiver no número determinado de graus de avanço do ponto morto alto para o magneto centelhar.

Nos motores, o ajuste apropriado da palheta é obtido, primeiramente, estabelecendo a correta posição do ponto morto alto.

Então, o eixo de manivelas é colocado no número prédeterminado de graus de avanço desta mesma posição. Finalmente, a palheta é ajustada para se alinhar com o eletrodo nº 1, quando todas as folgas forem eliminadas entre as engrenagens acionadoras.

Uma vez que há vários tipos diferentes de distribuidores com sistema de alta tensão, as instruções aplicáveis do fabricante devem sempre ser consultadas, antes de ajustar o distribuidor para o motor. Um resumo dos procedimentos usados no ajuste de um determinado tipo de distribuidor está incluido como exemplo.

Para se ajustar o distribuidor ao motor, solta-se o alojamento, removendo-se alguns cabos das velas presos ao distribuidor. O alojamento é solto pela remoção do anel fixador da base, então, o alojamento é empurrado, expondo a palheta do distribuidor.

O passo seguinte no procedimento de ajuste do distribuidor é remover a palheta para expor a porca que fixa o acoplamento acionador. Solta-se a porca e instala-se a ferramenta de ajuste apropriada. Gira-se a unidade de acoplamento contra a linha normal com a linha traçada na superfície divisória.

A porca de acoplamento é presa nesta posição após todas as folgas terem sido eliminadas das engrenagens acionadoras do distribuidor. A ferramenta de ajuste pode, agora ser removida e a palheta instalada.

Agora, o conjunto de alojamento do distribuidor pode ser colocado na posição da base. Prende-se todos os anéis de fixação no distribuidor, instalando os cabos de vela que foram removidos. O distribuidor deve ser protegido como necessário.

Procedimento de ajuste do sistema de magneto de baixa tensão

No ajuste do magneto para o motor, um número de diferentes indicadores pode ser usado para localizar a posição do ponto morto alto do pistão.

No exemplo, a luz indicadora (figrua 7-63) será usada com um disco fixado ao flange do arranque na caixa de acessórios.

Para se usar a luz indicadora a fim de encontrar o ponto morto alto, gira-se a hélice na direção normal de rotação até que o tempo de compressão seja atingido e, então, a luz indicadora é instalada no orifício da vela.

Gira-se a hélice na direção normal de rotação até que a luz acenda, o que indica que o pistão moveu a haste do indicador. No momento em que a luz acender, para e anote a leitura dos graus no disco de ajuste.

A hélice é movida na direção normal de rotação até que a luz apague. Neste momento, anote a leitura dos graus que aparecem no disco de ajuste.

Anote o número de graus do pecurso, entre o acender e apagar da luz.

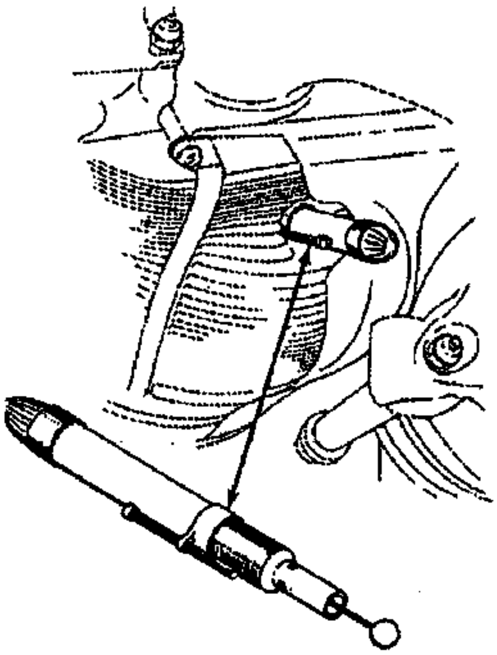


Figura 7-62 Lâmpada indicadora do ponto morto alto

A metade do curso entre luz acesa e luz apagada indica o ponto morto alto.

Antes da instalação de qualquee parte do sistema de ignição, a unidade que está sendo instalada já deve ter sido verificada e inspecionada. quanto a correta operação. Examina-se todos os parafusos externos quanto ao torque correto, observando se os frenos foram confeccionados nos devidos lugares. Usa-se uma nova junta no flange de montagem.

Após ser localizado o ponto morto alto, retorna-se a hélice aproximadamente ¾ de volta em direção oposta a de rotação. Então, gira-se a hélice até que o pistão esteja na posição normal de faiscamento.

O eixo acionador do magneto deve estar apertado, e o contrapino instalado. Remova a presilha de mola do êmbolo de ajuste, a qual o mantém na posição "para fora".

Existem quatro entalhes no eixo do magneto: o êmbolo se encaixa nesses entalhes durante a operação de ajuste, para manter o eixo do magneto na correta posição de folga "E".

Empurre o êmbolo (girando o eixo de acionamento do magneto) até ficar encaixado em um desses entalhes; então, posicione o magneto no flange de montagem do motor (figura 7-63), mantendo o êmbolo na posição, sem que ele deslize.

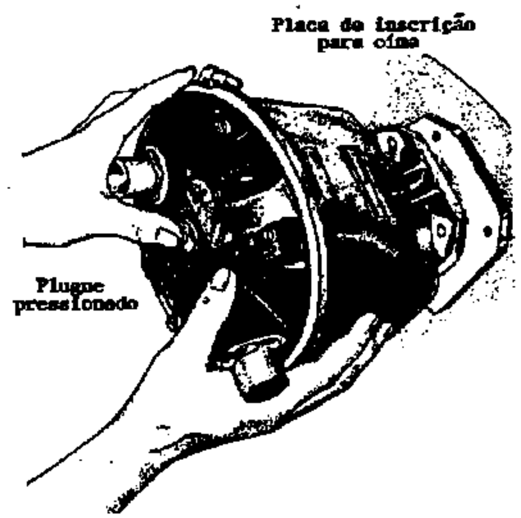


Figura 7-63 Instalação de um magneto

Se a chaveta no membro acionador não encaixar quando o magneto estiver devidamente posicionado no flange de montagem, move-se o magneto para fora do flange, girando o seu eixo em 90º, para que o pino-êmbolo se encaixe na próxima fenda no eixo de magneto.

O magneto é colocado de volta no flange de montagem observando-se se as chavetas e as fendas estão encaixadas. Se não, repete-se este procedimento até que as chavetas se encaixem, e o magneto esteja posicionado no flange de fixação. Após a correta posição ter sido encontrada, mantém-se o magneto nela, apertando as porcas do prisioneiro para fixá-lo ao flange do motor.

Para determinar que o magneto esteja montado na posição de folga "E", gira-se a hélice lentamente, quando estiver próximo da posição normal de faiscamento para o cilindro nº 1, o êmbolo é comprimido, devendo encaixar no entalhe, assim que a posição for alcançado.

Instalação do distribuidor do sistema de baixa tensão

O distribuidor em um sistema de baixa tensão, como aquele discutido anteriormente, é instalado como unidade separada. Ele é uma montagem em flange, com fendas alongadas usadas para ajuste.

Antes da instalação do distribuidor, verifica-se a designação da haste "master" na placa de identificação do distribuidor em relação à placa dos dados do motor para ver se o distribuidor possui o platinado correto, correspondendo com a localização da haste "master"no motor.

Deixa-se o pistão no número especificado de graus antes do ponto morto alto usado para ajuste do magneto. Para impedir que partículas estranhas entrem na unidade, a tampa protetora não é removida até o momento exato da instalação do distribuidor.

Nesta hora, remove-se o anel de fixação e, também, a tampa de proteção do distribuidor.

O eixo de acionamento é girado até que a linha marcada com "1" na palheta esteja alinhada com a linha marcada "time-open" no prato coletor, como mostrado na figura 7-64.

Mantém-se o distribuidor na posição, instalando-se no flange de montagem, a fim de que os prisioneiros fiquem alinhados no centro das fendas alongadas desse flange, como mostrado na figura 7-64. Se os prisioneiros não estiverem alinhados na parte intermediária nas fendas do flange, remove-se o distribuidor e desloca-se a engrenagem acionadora um dente na chaveta. Então, resinstala-se o magneto para que a palheta seja mantida alinhada com a posição "1". Quando a posição correta for encontrada na engrenagem acionadora, tira-se o distribuidor do flange de montagem, aperta-se porca, e instala-se um novo contrapino na porca-castelo.

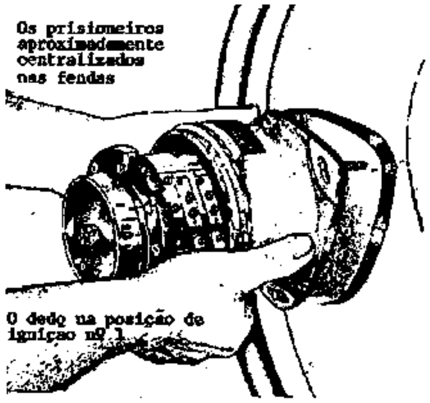

Os prisioneiros aproximadamente centralizados nas fendas
O dedo na posição de ignição nº 1

Figura 7-64 Instalação do distribuidor

O fio vermelho da luz de ajuste é conectado no lado isolado do platinado principal “nº 1”, e o fio preto no alojamento (figura 7-65). Gira-se o distribuidor no sentido horário no seu flange de montagem até que a luz acenda, indicando que os contatos estão começando a abrir. Aperta-se a porca de fixação com o distribuidor nesta posição; instala-se o outro distribuidor do motor, usando o mesmo procedimento.

Após estarem ambos os distribuidores instalados, sua operação deve ser sincronizada. O fio vermelho da luz de ajuste é conectado em cada platinado principal e o fio preto na massa. Retorna-se a hélice pelo menos um quarto de volta, e depois gira-se lentamente na direção normal de rotação até a posição de faiscamento nº 1, - para ver se ambos os platinados principais abrem ao mesmo tempo.

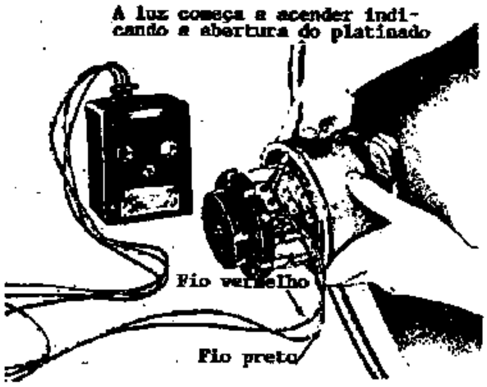


Figura 7-65 Ajustando o distribuidor de baixa tensão do motor

Se ambas as luzes de ajuste acenderem simultaneamente, significa que os distribuidores estão sincronizados. Se elas não acenderem ao mesmo tempo, os distribuidores devem ser resincronizados. Para isto, basta girar o segundo distribuidor lentamente no flange de montagem até que ambos os pares de contatos (um em cada distribuidor) abram no mesmo instante (que deve ser também no mesmo instante em que o cilindro nº 1 atinge o ponto de faiscamento).

As cabeças do distribuidor são substituídas e os anéis de fixação presos. O sistema de ignição está agora pronto para um teste operacional.

Efetuando um teste no sistema de ignição

Existem, normalmente, três testes de ignição efetuados na aeronave durante a verificação operacional do motor. O primeiro é efetuado durante o aquecimento, o segundo, pela pressão baromética do campo e o terceiro, antes do corte do motor. O primeiro teste de ignição é feito durante o aquecimento por recomendação do fabricante. Realmente, ele é uma combinação do teste do sistema e do interruptor de ignição, e é usado para verificar o sistema quanto ao correto funcionamento antes que outros testes sejam realizados.

O segundo teste é efetuado como no teste do sistema de ignição, e é usado para verificar individualmente os magnetos, as cablagens e as velas. O terceiro é efetuado como o teste do interruptor de ignição, é é usado para testar o interruptor quanto ao devido aterramento para a segurança no solo.

O teste do sistema de ignição é normalmente efetuado como o teste de potência, e é, algumas vezes, referido como barométrico do campo, porque nos motores de grande porte ele é efetuado a uma pressão no distribuidor igual à pressão barométrica do campo. O teste de potência é também efetuado nessa mesma pressão (o de ignição não deverá ser confundido com o teste de alta potência). A exata R.P.M e a pressão no distribuidor,.para fazer esse teste, pode ser encontrada nas instruções do fabricante.

A pressão barométrica usada como referência será a leitura obtida do manômetro da tubulação de admissão para o motor envolvido, antes da partida e após o corte. Após atingida a R.

P.M. do motor especificado para o teste do sistema de ignição, aguarda-se a estabilização da mesma.

Coloca-se o interruptor da ignição na posição "*right*", notando se a R.P.M. cai no tacômetro. O interruptor é retornado para a posição "*both*"; permanecendo nela por alguns segundos até que a R.P.M. se estabilize novamente.

Coloca-se o interruptor para a posição "*left*" e, novamente, anota-se a queda da R.P.M. Em seguida retorna-se o interruptor de ignição para "*both*".

Efetuando este teste, basta bater levemente na borda do tacômetro, para garantir que o ponteiro indicador se mova livremente. Um ponteiro paralisado pode ocultar mau funcionamento da ignição.

Existe uma tendência desse teste ser efetuado rapidamente, o que resulta em erros de indicações. A operação de ignição simples por mais de um minuto não é considerada excessiva, mas esse intervalo de tempo, geralmente, não deve ser excedido.

A quantidade total da queda de R.P.M., que ocorre, imediatamente, é anotada e, também, a quantidade que ocorre lentamente para cada seleção do interruptor. A análise na queda de R.P.M. fornece informações úteis.

Esse teste do sistema de ignição é normalmente efetuado no início da virada do motor, porque se a queda da R.P.M. não estiver dentro dos limites, ele pode afetar todos os outros testes posteriores.

Verificação da chave seletora de ignição

A verificação da chave seletora de ignição é normalmente realizada em 700 R. P.M.

Nos motores em que a marcha lenta está acima desta valor, a mínima R.P.M. possível é selecionada.

Quando a velocidade para efetuar esse teste é obtida, momentaneamente gira-se a chave de ignição para a posição "off".

A ignição do motor deve ser perdida completamente. Após uma queda entre 200 a 300 R. P.M. ser observada, retorna-se a chave para a posição "both" o mais rápido possível. Isso é feito rapidamente, para eliminar a possibilidade de pós-explosão, e retorno de chama quando a chave é retornada para "both".

Se a chave não for retornada rapidamente, a rotação do motor cairá a ponto dele parar. Nesse caso, a chave seletora fica na posição "off", e o controle de mistura é colocado na posição "idle-cut-off", para evitar sobrecarga nos cilindros, e a emissão de combustível não queimado pela descarga do motor.

Quando o motor estiver completamente parado, deve ficar desligado por um curto período antes de ser acionado novamente.

O teste de chave seletora é efetuado para observar se todos os cabos massa do magneto se encontram eletricamente aterrados.

Se o motor não cessar a explosão com a chave na posição "*off*", indica que o cabo massa do magneto, mais comumente referido como cabo "P", está aberto, e o problema deve ser corrigido.

Substituição dos cabos de ignição

Quando um cabo defeituoso é descoberto pelo teste na cablagem de ignição, é preciso saber se são apenas os cabos, ou o bloco distribuidor que está com o defeito.

Se o problema se encontra em apenas um cabo, a fuga elétrica pode estar no cotovelo da vela ou em uma outra parte.

Remove-se o cotovelo, puxando uma parte do cabo para fora do conduite, e repete-se o teste de cablagem no cabo. Se parar de ocorrer a fuga, corta-se o pedaço defeituoso, instalando o cotovelo, o selo integral, e o "*cigarette*" (figura 7-66).

Se o cabo estiver muito curto, dificultando o reparo descrito ou se a fuga elétrica for internamente na cablagem, substitui-se o cabo defeituoso.

Se a cablagem não for o tipo reparável, a mesma deve ser substituída integralmente. Os procedimentos para substituir os cabos de ignição são os seguintes:

1) Desmontar o magneto ou o distribuidor de maneira que o bloco distribuidor fique acessível.
2) Soltar o parafuso correspondente ao fio a ser substituído no bloco distribuidor e removê-lo.

3) Desencapar as extremidades do fio defeituoso que vem do bloco distribuidor e do fio substituto, aproximadamente 1 polegada. Unir e soldar as extremidades.

4) Remover o cotovelo do terminal do cabo ignitor defeituoso, puxar o cabo velho e empurrar o novo na cablagem. Enquanto se puxa os cabos através da cablagem, é importante empurrar o cabo substituto por dentro do conduíte, pela extremidade junto ao terminal distribuidor, para reduzir a força requerida a retirar o cabo completa-mente.

5) Quando o cabo substituto estiver completamente introduzido no conduíte, o cabo de ignição é forçado para dentro do conduíte, de maneira a proporcionar um comprimento extra para futuros reparos, que poderão ser necessários devido ao roçamento com o cotovelo.

6) Desencapar aproximadamente 3/8 de polegada do terminal do bloco distribuidor. Dobrar os terminais do fio para trás, e preparar os terminais do cabo para instalação no bloco distribuidor, como mostrado na figura 7-66. Introduzir o cabo no distribuidor e apertar os parafusos.

7) Desencapar aproximadamente ¼" do cabo na extremidade junto à vela, e instalar o cotovelo, o selo integral e o "cigarette", como ilustrado na figura 7-66.

8) Instalar um marcador no terminal do cabo no distribuidor, para identificar o número do cilindro. Se um novo marcador não estiver disponível, usar o marcador removido do cabo usado.

Substituição da cablagem

Substitui-se uma cablagem reparável de ignição completa somente quando a blindagem do conduíte estiver danificada, ou quando o número de cabos danificados tornar mais prático a substituição da cablagem do que dos fios individualmente

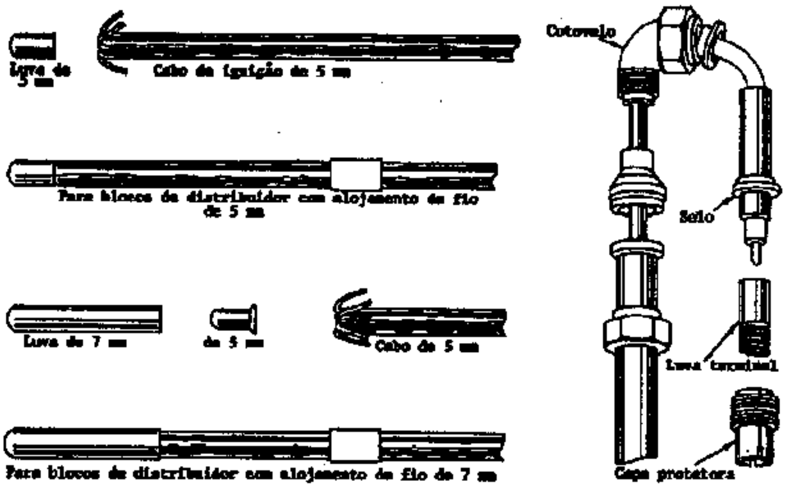

Luva de 5 mm
Cabo de ignição de 5 mm
Para blocos de distribuidor com alojamento de fio de 5 mm
Luva de 7 mm
de 5 mm
Cabo de 5 mm
Para blocos de distribuidor com alojamento de fio de 7 mm
Cotovelo
Selo
Luva terminal
Capa protetora

Figura 7-66 Procedimentos para substituição dos terminais do cabo de ignição

Substitui-se uma cablagem blindada somente quando ocorre indicação de fuga na porção blindada.

Antes de se substituir qualquer cablagem para corrigir um mau funcionamento no motor, efetua-se um teste completo.

Os procedimentos típicos para se instalar uma cablagem de ignição são:

1. Instalar a cablagem no motor. Apertar e frenar as porcas e os parafusos, instalando e apertando os suportes individuais dos cabos, de acordo com as instruções. A cablagem está, então, pronta para a conexão do cabo individual com o bloco distribuidor. Um colar é preso em cada cabo no terminal junto ao

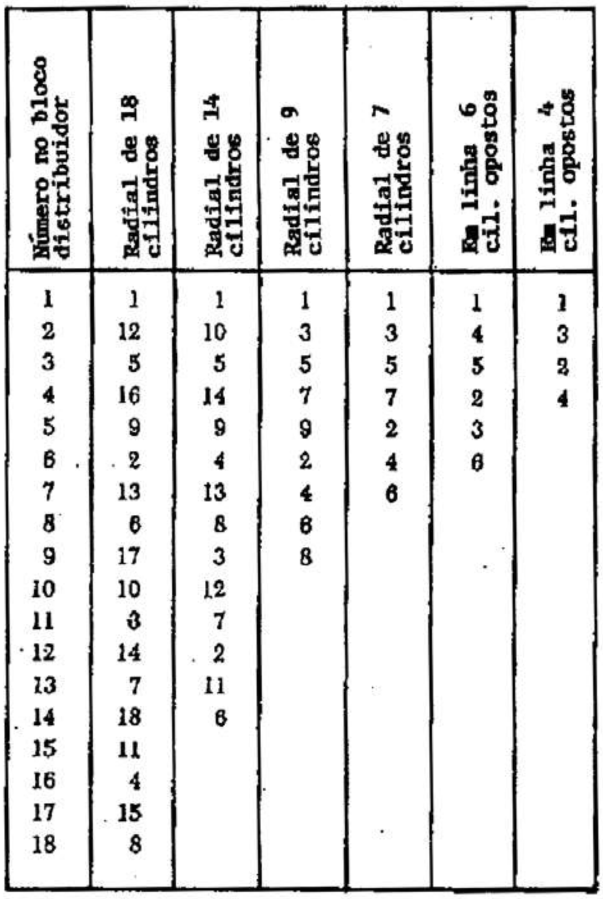
distribuidor para identificação do cilindro. Contudo, cada cabo deve ser verificado individualmente quanto a continuidade, ou através da luz de ajuste antes de conectá-lo.

2. Verificar quanto a continuidade, aterrando o cabo ao cilindro e testando o terminal junto ao bloco distribuidor, para confirmar que o aterramento está de acordo com o colar de identificação.
3. Após verificar todos os cabos quanto a correta identificação, cortá-los com o comprimento apropriado para a instalação no bloco distribuidor. Entretanto, antes de cortar os cabos, introduzi-los, o quanto possível, no conduíte, proporcionando uma extensão extra de cabo. Esta reserva poderá ser útil mais tarde, no caso do roçamento do cabo com o cotovelo tornar necessário o seccionamento da extremidade para reparos.

   Após cortar cada cabo no comprimento adequado, desencapá-lo aproximadamente 3/8", e prepará-lo para a iserção no bloco distribuidor. Antes de instalar o cabo, retirar o parafuso do bloco para permitir a introdução do cabo no furo sem forçar. Após introduzido, apertar o parafuso. Conectar os cabos na ordem de fogo, isto é, o primeiro cilindro explode na posição nº 1 no bloco, o segundo na ordem de fogo para a posição nº 2, etc. As conexões do bloco distribuidor com o cilindro para vários motores são mostradas na tabela da figura 7-67.

Após conectar cada cabo, verifica-se a continuidade entre o mesmo e o eletrodo do bloco distribuidor, com uma luz de continuidade ou uma luz de regulagem. Para efetuar este teste, aterra-se o cabo de ignição (para o motor) no terminal da vela, assim como um dos cabos de teste enconta-se o outro eletrodo do bloco distribuidor correspondente. Se a luz não indicar que o circuito está completo, é sinal de que o parafuso não está fazendo contato com o cabo de ignição, ou o mesmo está conectado em local incorreto no bloco.

Qualquer falha de conexão deve ser corrigida antes de se instalar o bloco distribuidor.



Número no bloco distribuidor	Radial de 18 cilindros	Radial de 14 cilindros	Radial de 9 cilindros	Radial de 7 cilindros	Em linha 6 cil. opostos	Em linha 4 cil. opostos
1	1	1	1	1	1	1
2	12	10	3	3	4	3
3	5	5	5	5	5	2
4	16	14	7	7	2	4
5	9	9	9	2	3	
6	2	4	2	4	6	
7	13	13	4	6		
8	6	8	6			
9	17	3	8			
10	10	12				
11	3	7				
12	14	2				
13	7	11				
14	18	6				
15	11					
16	4					
17	15					
18	8					

Figura 7-67 Tabela para cabos conectores do bloco distribuidor de vários motores

Teste do sistema de bobina de alta tensão de ignição

Para se verificar o enrolamento da bobina de alta tensão quanto a correta operação, remove-se o cabo de alta tensão do mesmo.

Uma das extremidades do cabo de teste de ignição de 7mm de comprimento é instalada no enrolamento da bobina de alta tensão, mantendo o outro terminal com 3/8" com uma massa apropriada.

Um ajudante deve verificar se o controle manual de mistura está na posição "idle-cutoff", se a válvula de corte a a bomba de combustível daquele motor estão desligados, e se o interruptor da bateria está ligado.

Se o motor estiver equipado com um arranque combinado, ou de inércia, o ajudante deve fechar o interruptor de engate. Não se deve energizar o arranque antes de engatá-lo.

Se o motor estiver equipado com um arranque de acionamento direto, a hélice deverá estar livre ao interruptor de partida fechado.

Quando o interruptor de engate, ou o de partida (dependendo do sistema de partida do motor) estiver fechado, deve ocorrer o centelhamento contínuo através do terminal do cabo de teste.

Estas centelhas devem ser abudantes, além de saltarem rapidamente com um luminoso arco azul para serem consideradas satisfatórias. Se a bobina de alta tensão estiver operando satisfatoriamente, é preciso avisar o ajudante que ele deve soltar o interruptor de partida. Então, remove-se o cabo de teste e reinstala-se o cabo de alta tensão de bobina.

Para se testar o vibrador de indução, o controle manual de mistura deve estar em “idle-cutoff”, a válvula de corte de combustível fechada, a bomba de combustível desligada, e o interruptor da bateria ligado.

Uma vez que o vibrador de indução emite um característico “buzz” se o interruptor de ignição for ligado ou desligado, deixa-se o interruptor desligado durante o teste.

Se o motor estiver equipado com um arranque combinado ou de inércia, o teste é realizado pelo fechamento do interruptor de engate. Se o motor está equipado com um arranque de acionamento direto, verifique se a hélice está livre, e acione o interruptor de partida.

Um ajudante, situado próximo ao vibrador, deve ouvir o som característico produzido. Se isso ocorrer quando o arranque for engatado ou acionado, indica que o vibrador está operando corretamente.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DA VELA

A operação da vela pode freqüentemente ser a maior responsável por um mau funcionamento do motor, devido ao acúmulo de chumbo, grafite, ou carbono, e à erosão do vão entre os eletrodos da vela.

Muitas dessas falhas, que geralmente acompanham uma operação normal da vela, podem ser minimizadas através de boas práticas de manutenção e operação.

Carbonização das Velas

A carbonização (figrua 7-68) proveniente do combustível é associada com misturas que são muito ricas para queimar ou misturas que são pobres e causam uma queima intermitente.

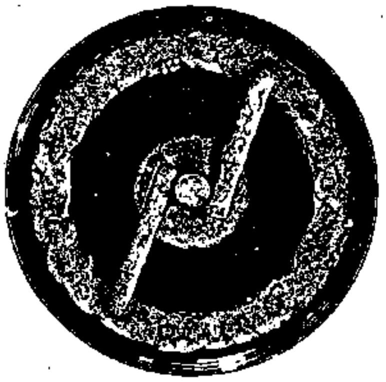


Figura 7-68 Vela carbonizada

Cada vez que uma vela não centelha, o combustível não queimado e o óleo se acumulam nos eletrodos e na borda dessa vela. Essas dificuldades estão quase invariavelmente associadas com o ajuste incorreto da marcha lenta, um vazamento da injeção (*primer*), ou um mau funcionamento do carburador, que provoca o enriquecimento da mistura no tempo de marcha lenta. Uma mistura combustível/ar muito rica é detectada pelo aparecimento de fuligem ou fumaça preta na descarga, e pelo aumento de R.P.M. quando a mistura combustível/ar é empobrecida para “*best power*”

A fuligem que se forma é o resultado do excessivo enriquecimento da mistura em marcha lenta que se acumula dentro da câmara de combustão devido ao calor do motor e a baixa turbulência da câmara. Em altas velocidades e regimes de potência do motor, a fuligem é facilmente eliminada, e não se condensa na câmara de combustão.

Mesmo que a mistura em marcha lenta esteja correta, existe a tendência do óleo ser puxado para dentro do cilindro pelos anéis do pistão, guias de válvulas e anéis retentores de óleo do eixo acionador. Em baixas rotações, o óleo se combina com a fuligem no cilindro para formar um sólido, que é capaz de curto circuitar os eletrodos da vela. As velas quando molhadas ou cobertas com óleo lubrificante, geralmente, geralmente estão elétricamente isoladas na partida do motor. Em alguns casos essas velas podem se tornar limpas e operarem adequadamente após um curto período de operação do motor.

O óleo de motor que foi utilizado durante /algum tempo manterá em suspensão pequenas partículas de carbono, as quais são capazes de conduzir corrente elétrica.

Deste modo, não ocorrerá o arco no vão desta vela entre os eletrodos, quando a mesma estiver encharcada.

Em vez disso, o impulso de alta tensão fluirá através do óleo de um eletrodo para o outro sem centelhar, como se fosse colocado um fio condutor entre os dois eletrodos.

A combustão no cilindro afetado não ocorrerá, até que a R.P.M. se tome elevada, aumentando o fluxo de ar que expelirá o excesso de óleo.

Então, durante as partidas intermitentes, a combustão auxilia na emissão do óleo remanescente. Em poucos segundos o motor está operando livre, com emissão de fumaça branca da evaporação e da queima de óleo pela descarga.

Depósito de chumbo nas velas

Depósito de chumbo nas velas de aviação é uma condição provável em qualquer motor que use combustível com chumbo.

O chumbo é adicionado ao combustível de aviação para melhorar suas qualidades antidetonantes. Contudo, ele tem o efeito indesejável de formação de óxido durante a combustão.

Esse óxido de chumbo forma um sólido com vários graus de dureza e consistência.

Depósitos de chumbo nas superfícies da câmara de combustão são bons condutores elétricos em elevadas temperaturas e causam falhas na detonação. Em baixas temperaturas os mesmos depósitos podem se tornar bons isoladores.

Em qualquer dos casos, formações de chumbo nas velas das aeronaves, impedem sua operação normal, como mostrado na figura 7-70. Para minimizar a formação de depósitos de chumbo, dibromido de etileno é adicionado ao combustível como agente limpante (que combina com o chumbo durante a combustão).

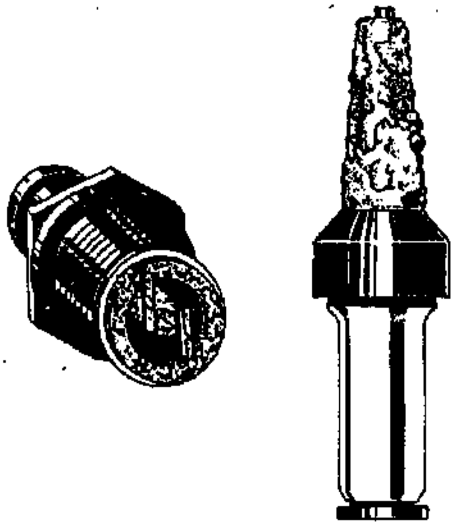


Figura 7-69 Vela com depósito de chumbo

Incrustações de chumbo podem ocorrer em qualquer regime de potênica, mas provavelmente o mais propício para a formação de chumbo é o de cruzeiro com mistura pobre. Nesse regime, a temperatura na cabeça do cilindro é relativamente baixa, e há um excesso de oxigênio em relação ao necessário para consumir todo combustível da mistura ar/combustível.

O oxigênio, quando aquecido, é muito ativo e agressivo; e quando todo o combustível é consumido, parte do excesso de oxigênio combina com parte de chumbo e parte do agente limpante para formar oxigênio composto de chumbo ou bromo, ou de ambos. Alguns desses compostos de chumbo indesejáveis solidificam e formam camadas, que aderem nas paredes do cilindro e nas velas, que estão relativamente frias.

Apesar de carbonização ocorrer em qualquer regime de potência, a experiência indica que a formação do chumbo é geralmente confinada a uma específica faixa de temperatura de combustão, e que as temperaturas, maiores ou menores que aquelas da faixa especificada, minimizam, a tendência de formação de chumbo. Se a incrustação for detectada antes das velas estarem completamente obstruídas, o chumbo pode normalmente ser eliminado ou reduzido por um aumento ou decréscimo brusco na temperatura de combustão. Isto impõe um choque térmico nas partes do cilindro, causando sua expansão ou contração.

Havendo um grau diferente de expansão entre depósitos e partes de metal onde eles se formaram, os depósitos descansam ou soltam, e então se liberados da câmara de combustão pela exaustão, ou são queimados no processo de combustão.

Diversos métodos de produção de choque térmico para partes do cilindro são usados. O método usado, naturalmente, depende do equipamento e acessório instalado no motor. Um aumento brusco na temperatura de combustão pode ser obtido em todos os motores, operando-os em potência máxima por aproximadamente 1 minuto.

Quando usado esse método para eliminação, o controle da hélice deve ser colocado em passo mínimo (alta r.p.m.) e a manete avançada vagarosamente para obter a rotação de decolagem e pressão de admissão. Um vagaroso movimento de manete de controle evita retorno de chama nos cilindros afetados durante a aplicação de potência.

Outra forma de produção de choque térmico é o uso de misturas ar/combustível excessivamente ricas.

Essa forma refrigera repentinamente a câmara de combustão por causa do combustível em excesso que não contribui para a combustão; ao contrário, ele absorve calor da área de combustão.

Alguns carburadores usam controle de mistura manual de 2 posições, que dosa uma mistura pobre em cruzeiro econômico e uma mais rica para todas as potências acima de cruzeiro.

Nenhum controle manual nesse tipo de configuração é capaz de produzir uma mistura excessivamente rica. Mesmo quando o motor é operado em mistura rica automática as potências onde um regime de mistura mais pobre poderia ser completamente satisfatório, ela não é rica o suficiente.

Conseqüentemente, para obter uma mistura mais rica que o carburador é capaz de dosar, um sistema de injeção é usado para suplementar o fluxo de combustível normal.

Enriquecimento da mistura e choque térmico podem ser alcançados pelo sistema de injeção em todas as velocidades do motor, mas esta eficiência na remoção de chumbo diminui à medida que o combustível dosado, através dos canais normais, aumenta.

A razão para isto é que toda injeção elétrica envia um fluxo constante a todas as velocidades e potências dos motores em um mesmo período de tempo.

Portanto, comparativamente, a injeção enriquecerá as misturas pobres às baixas velocidades, mais do que ela enriqueceria para altas velocidades.

Independente da potência em que a injeção ocorra, ela deverá ser usada continuamente com 2 minutos de intervalo. Se a operação normal do motor não for restabelecida após um intervalo de 2 minutos, deve ser necessário repetir o processo diversas vezes. Alguns sistemas de injeção injetam somente nos cilindros acima da linha central horizontal do motor; no caso, somente aqueles cilindros que recebem a carga de injeção podem ser limpos.

Em motores equipados com injeção de água, a temperatura pode ser bruscamente diminuída pela operação manual desse sistema.

A injeção de água é normalmente reservada para operações de altas potências; mas quando ela é usada somente para limpeza, o sistema é mais eficaz quando ativado no limite de cruzeiro, sendo ele acompanhado por uma monentânea perda de potência.

Essa perda pode ser traçada pelos seguintes fatores: primeiramente, o jato de empobrecimento não é medido no regime de cruzeiro. Por essa razão, quando a válvula de empobrecimento é fechada pelo sistema de injeção de água, não existe decréscimo no fluxo de combustível do carburador.

O segundo fator é que, quando o regulador de água primeiro começa a dosar, ele dosa o combustível que retornou para dentro da linha de transferência de água durante a operação normal seca. Esse combustível proveniente do carburador, produz uma mistura extremamente rica, que, temporariamente, encharca o motor. Tão logo esse combustível seja consumido pelo motor, a potência se normaliza, mas para um valor menor do que foi obtido antes da injeção de água.

Quando a injeção é usada para baixas temperaturas de combustão, ela é limitada a um curto intervalo (aproximadamente 1 minuto), mesmo se diversos intervalos forem necessários para livrarem os cilindros dos depósitos de chumbo.

Alguns sistemas de injeção de água são considerados automáticos, isto porque o operador não tem nenhum controle da potência na qual o sistema interromperá o processo.

Esses sistemas iniciam injeção de água automaticamente a uma pressão prédeterminada, se a bomba de água tiver sido ligada.

Quando eles são usados para eliminação de chumbo, o benefício total da injeção de água não pode ser obtido por causa das altas potências selecionadas, onde o sistema automático começa a operar, mais calor é gerado pelo motor, a proporção ar/combustível é empobrecida e a temperatura de combustão não pode ser diminuída o suficiente.

Independentemente de como o chumbo é removido das partes do cilindro, se é através de operação de alta potência, pelo uso da injeção, ou pelo uso do sistema de injeção de água, a ação corretiva deve ser iniciada antes que as velas estejam completamente danificadas.

Formação de grafite nas velas

Como resultado do descuido e da excessiva aplicação de uma camada de lubrificante nas roscas das velas, o lubrificante fluirá sobre os eletrodos, causando um curto-circuito. Isso ocorre porque o grafite é um bom condutor elétrico. A eliminação das dificuldades causadas pelo grafite depende dos mecânicos de aviação.

Devemos tomar cuidado quando aplicarmos o lubrificante, assegurando que dedos sujos, farrapos ou fios não entrem em contato com os eletodos ou parte do sistema de ignição, exceto na rosca das velas.

Praticamente, nenhum sucesso tem sido experimentado na tentativa de queimar ou expelir a camada de lubrificante da rosca.

Folga por erosão das velas

A erosão dos eletrodos acontece em todas as velas de aeronaves quando a faísca salta entre os eletrodos (veja figura 7-70). A faísca carrega consigo uma porção do eletrodo, parte do qual é depositada no outro eletrodo, já o remanescente é soprado na câmara de combustão.

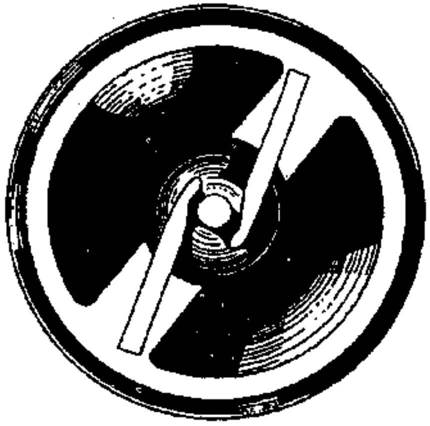


Figura 7-70 Folga da vela causada pela erosão

Como a folga é alargada pela erosão, a resistência que a faísca deve superar para saltá-la também aumenta.

Isso significa que o magneto deve produzir uma voltagem mais elevada para superar aquela resistência.

Devido a grande voltagem no sistema de ignição existe uma grande tendência para descarga da vela em algum ponto de isolamento.

Desde que a resistência de uma folga também aumente, quando a pressão nos cilindros do motor aumentar, um duplo perigo existe na decolagem, e durante uma aceleração súbita com alargamento das folgas das velas.

A quebra do isolamento, faísca prematura e sobras de carbono, resultam em falhas das velas.

Os fabricantes das velas têm parcialmente sobrepujado o problema de folgas de erosão, usando um resistor selado hermeticamente no eletrodo central de algumas velas.

Essa resistência adicionada ao circuito de alta tensão reduz o pico de corrente no instante da ignição.

O fluxo de corrente reduzida ajuda na prevenção da desintegração metálica nos eletrodos.

Também, devido a razão de alta erosão do aço, ou algumas ligas conhecidas, os fabricantes de velas estão usando tungstênio ou uma liga de níquel para as tomadas dos eletrodos e galvanização de platina para fios finos de tomadas de eletrodo.

Remoção de velas

As velas devem ser removidas para inspeção ou serviço em intervalos recomendados pelo fabricante.

Uma vez que a razão de falhas de erosão varia com diferentes condições de operação, modelos de motores e tipos de velas, uma provável falha de velas, causando mau funcionamento do motor, pode ocorrer antes que o intervalo de serviço regular seja alcançado. Normalmente, nestes casos, somente as velas que falharam são substituídas.

Cuidadoso manuseio dos cabos usados e substituídos durante a instalação e remoção de velas em um motor não pode ser enfatizado, uma vez que velas podem ser facilmente danificadas. Para prevenir danos, elas deverão sempre ser individualmente manuseadas e as novas e recondicionadas, deverão ser armazenados em caixas de papelão separadas.

Um método comum de armazenamento é ilustrado na figura 7-71. Isto é, uma bandeja furada que previne as tomadas contra choques de umas com as outras, que danificam os frágeis isoladores e roscas.

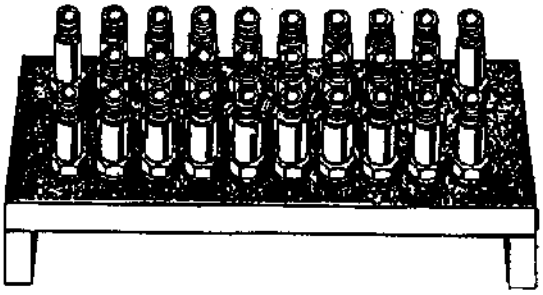


Figura 7-71 Tabuleiro de velas

Se uma vela cair no chão ou em outra superfície, ela não deverá ser instalada no motor, uma vez, que impactos usualmente causam pequenas e invisíveis rachaduras nos isoladores. As velas deverão ser testadas sob condições de pressão antes de uso.

Antes dela ser removida, a cablagem de ignição deve ser desconectada, Usando uma chave especial para o acoplamento tipo cotovelo, remove-se da vela a porca do mesmo.

Toma-se cuidado ao puxar o fio dos cabos, alinhando-o com a linha de centro do corpo da tomada. Se uma carga lateral é aplicada, como mostrado na figura 7-72, danos ao corpo isolador e ao terminal de cerâmica podem ocorrer.

Se o cabo não puder ser removido facilmente desta maneira, o colar de neoprene deve ser colocado no corpo blindado. Quebra-se o colar de neoprene pela torção do mesmo, como se estivesse desenroscando uma porca de parafuso.

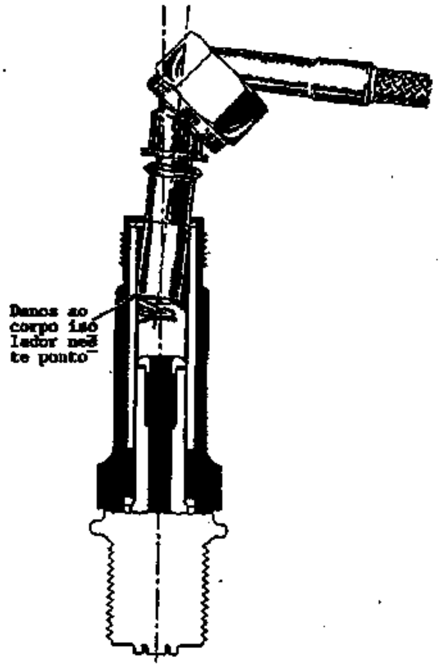


Figura 7-72 Técnica inadequada para remoção do cabo de vela

Após o cabo ter sido desconectado, seleciona-se a ferramenta apropriada para remoção das velas. Aplica-se uma pressão com uma das mãos no cabo de ferramenta, mantendo a soquete em alinhamento com a outra mão. Falha nesse alinhamento de ferramenta, como mostrado na figura 7-73, causará um levantamento na ferramenta para um lado, e danificará a vela.

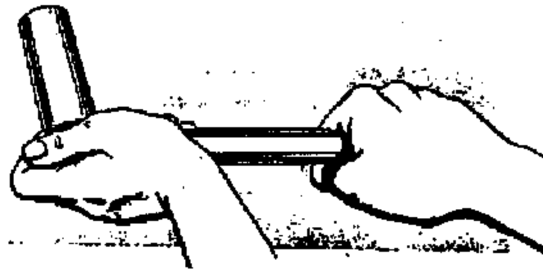


Figura 7-73 Técnica apropriada para remoção

No curso de operação do motor, carbono e outros produtos de combustão serão depositados através do ignitores e cilindros , e algum carbono pode penetrar nas extremidades inferiores da rosca.

Como resultado, um alto torque é geralmente requerido para soltar a vela. Este fator impõe uma carga de cisalhamento na seção do revestimento do plug, e, se a carga for mais do que o suficiente, a vela poderá se partir, fazendo com que uma parte dela permaneça no orifício do cilindro.

Inspeção e manutenção antes da instalação

Antes de instalar uma vela nova ou recondicionada no cilindro, limpe a rosca cuidadosamente.

Buchas de velas de latão ou aço inoxidável são usualmente limpas com uma ferramenta de limpar roscas (macho).

Antes de se inserir a ferramenta de limpeza no orifício do ignitor, as ranhuras (canais entre as superfícies roscadas) são enchidas com graxa limpa para prevenir que o carbono ou outro material removido pela escova caia dentro do cilindro.

Alinha-se a ferramenta com as extremidades da bucha com um sinal qualquer, e incicia-se a escovação com a mão até que não haja possibilidade dela atravessar a bucha.

Para iniciar a escovação em algumas instalações, onde os orifícios dos ingnitores estão localizados mais profundamente do que se pode direcionar pelo aperto com a mão, deve-se usar uma extensão curta.

Quando se rosqueia a ferramenta no embuchamento, as extremidades dessa devem encontrar o fundo rosqueado do embuchamento. Isto renoverá depósitos de carbono proveniente das roscas das buchas sem remoção de metal, a menos que o passo das roscas tenha sido contraído.

Se durante o processo de limpeza das roscas, o embuchamento for encontrado solto no cilindro, ou ainda com elas cruzadas, ou, por, outro lado, seriamente danificadas, troca-se o cilindro.

Roscas de velas do tipo postiças (Heli-Coil) são limpos com escova de fios de arame, preferencialmente tendo o diâmetro ligeiramente mais largo que o diâmetro do orifício do ignitor. Uma escova mais larga que o orifício pode causar remoção de material proveniente da rosca helicoidal ou da cabeça do cilindro. Também, a mesma não haverá desintegrar-se com o uso, permitindo a queda dos fios das cerdas para dentro do cilindro.

Limpa-se a rosca postiça girando-se cuidadosamente o fio da escova com uma ferramenta adequada.

Ao usar a escova, nenhum material deve ser removido da superfície da junta da vela, pois, caso contrário, causará uma mudança no limite de aquecimento, vazamento de combustão, e eventual dano ao cilindro.

Nunca se limpa a rosca helicoidal com um macho, pois esse poderá causar danos permanentes.

Se uma rosca helicoidal de inserção estiver danificada como resultado de uma operação normal ou enquanto estiver sendo limpa, ela deve ser trocada de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante.

Usando um pano e solvente para limpeza, na superfície da junta da vela do cilindro, elimina-se a possibilidade de sujeira ou graxa depositadas acidentalmente nos eletrodos da vela durante a instalação. Antes de instalar velas novas ou recondicionadas, elas devem ser inspecionadas para cada uma das seguintes condições:

1. Ter certeza de que a vela é do tipo certo, como indicado pelas instruções de aplicação do fabricante.
2. Verificar quanto a evidência de composto preventivo da ferrugem no exterior da vela, do isolante e no lado interno da carcaça. Acumulações de composto preventivo da ferrugem são removidos lavando-se a vela com uma escova e solvente para limpeza. Ela deve, então ser seca com um sopro de ar seco.
3. Verificar ambas as extremidades da vela quanto a entalhes ou rachaduras, assim como alguma indicação de rachadura no isolante.
4. Inspecioanr o lado interno da carcaça quanto a rachaduras no isolante e o contato central do eletrodo quanto à

corrosão e materiais estranhos, os quais podem causar emprobrecimento no contato elétrico.

5. Inspecionar a junta da vela. Uma junta que tenha sido excessivamente comprimida, vincada, ou distorcida, não deve ser usada. Quando a junta do termocouple for aplicada, não devem ser usadas juntas adicionais.

A folga dos eletrodos da vela deve ser checada com um calibre de folga redondo, como mostrado na figura 7-74. Um calibre tipo “chato” dará uma indicação incorreta de folga, porque os eletrodos massa acompanham o formato circular do eletrodo central.

Quando se usa o calibre, ele é inserido em cada folga paralela à linha central do eletrodo. Se o mesmo estiver ligeiramente inclinado, a indicação estará incorreta. Não se instala uma vela que não tenha a folga especificada.

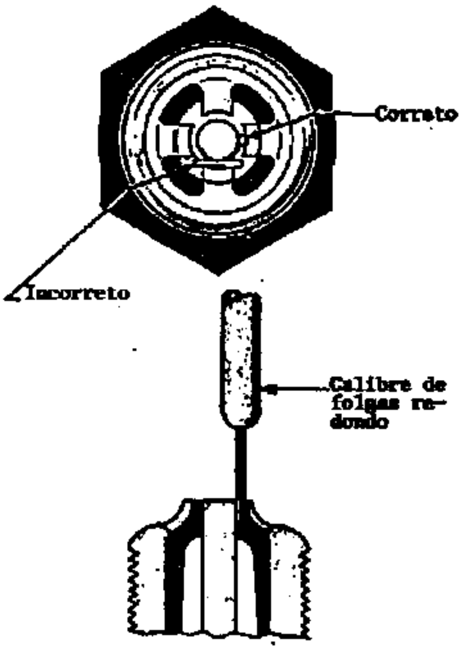


Figura 7-74 Uso de um calibre de folgas

Instalação de vela

Antes de se instalar a vela, as primeiras duas ou três roscas do final do eletrodo são cobertas cuidadosamente com um composto à base de grafite. Antes da aplicação, agita-se o composto para assegurar perfeita mistura.

Quando se aplica o composto nas roscas, ele não deve se alojar entre os eletrodos externos e o central, ou na ponta da vela, onde ele possa escorrer para a massa ou eletrodo central durante a instalação. Esta precaução é necessária porque o grafite no composto é um excelente condutor elétrico, e poderia causar uma fuga de corrente.

Para se instalar uma vela, basta enroscá-la sem usar nenhum tipo de ferramenta até que ela assente na junta.

Se a vela puder ser enroscada com facilidade, usando os dedos, isto é uma boa indicação de roscas limpas. Nesse caso, somente será necessário um pequeno aperto para comprimir a junta, que irá formar um selo vedante. Se por outro lado, um alto torque for necessário para sua instalação, isso indica que pode haver sujeira ou dano na rosca. O uso de torque excessivo pode comprimir a junta, e distorcê-la.

A dilatação da carcaça da vela ocorrerá enquanto continuar um torque excessivo para rosquear sua extremidade inferior no cilindro, após a parte superior ter sido parada pela junta.

Enquanto a carcaça se dilata (figura 7-75), o selo entre essa e o isolador é aberto, criando uma perda de pressão de gás ou dano ao isolador. Após a vela ter sido apertada com os dedos, usa-se um torquímetro, e aperta-se conforme a especificação.

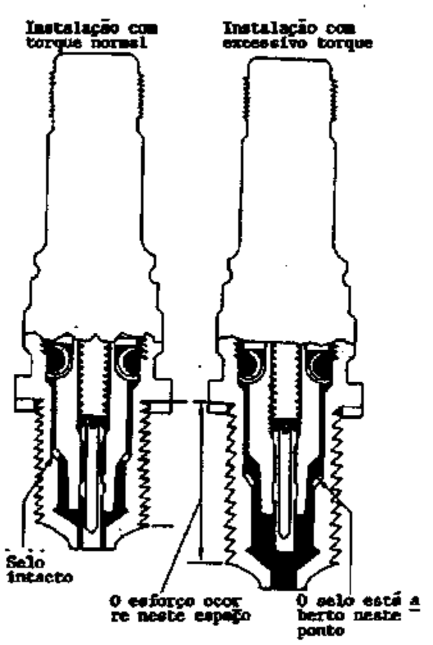

Instalação com torque normal
Instalação com excessivo torque
Selo intacto
O esforço ocorre neste espaço
O selo está aberto neste ponto

Figura 7-75 Efeitos de um torque excessivo na instalação de uma vela

Instalação do cabo de vela

Antes da instalação do cabo de vela, esfrega-se a bucha terminal (algumas vezes chamada de *cigarete*) e o selo integral com um pano embebido com acetona, MEK, ou um solvente apropriado.

Após a limpeza do cabo da vela, o mesmo deve ser inspecionado quanto a rachaduras e riscos. Se a bucha terminal estiver danificada ou fortemente manchada, deve ser substituída.

A aplicação de uma camada leve de um material isolante na superfície externa da bucha terminal, e o preenchimento do espaço ocupado pela mola de contato, são muitas vezes recomendados.

Esses materiais isolantes, através da ocupação do espaço na área de contato elétrico da carcaça, evitam que a umidade entre na área de contato causando um curto-circuito na vela.

Alguns fabricantes recomendam o uso desses compostos isolantes somente quando a umidade no sistema venha a causar problema, enquanto outros desaconselham totalmente o uso desses materiais.

Após a inspeção do cabo de ignição, ele é colocado dentro da carcaça do plugue. Então, aperta-se a porca de acoplamento do ignitor com a ferramenta apropriada. Muitas instruções de fabricantes especificam o uso de uma ferramenta projetada para evitar o torque excessivo. Após a porca estar apertada, deve ser evitado um teste de aperto, torcendo o conjunto.

Após todas as velas terem sido instaladas e torqueadas e os cabos instalados corretamente, aciona-se o motor para efetuar uma verificação completa do sistema de ignição.

INSPEÇÃO DO PLATINADO

A inspeção do magneto consiste essencialmente em uma inspeção periódica do platinado e dielétrico.

Após o magneto ter sido inspecionado quanto à segurança de montagem, remove-se sua tampa, ou a tampa do platinado, e verifica-se o came quanto à lubrificação apropriada. Sob condições normais, existe uma quantidade suficiente de óleo no feltro de encosto do came acionador para mantê-lo lubrificado entre os períodos de revisão.

Entretanto, durante inspeção de rotina, o feltro de encosto no came acionador deve ser examinado para assegurar que o óleo contido seja suficiente para lubrificação.

Esse teste é feito pressionando-se a unha do polegar contra o feltro de encosto.

Se ficar retido óleo na unha, o feltro contém óleo suficiente para lubrificação do came.

Se não existir evidência de óleo na unha, aplica-se uma gota de óleo de motor embaixo e acima do conjunto, como mostra a figura 7-76.

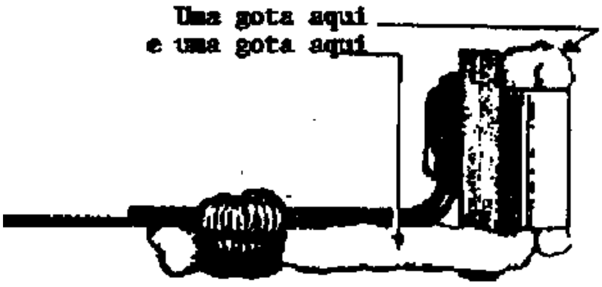


Figura 7-76 Lubrificação do came seguidor

Após a aplicação, aguarda-se pelo menos 15 minutos para que o feltro absorva o óleo. Depois desse tempo, o excesso de óleo deve ser removido com um pano limpo.

Durante esta operação, ou a qualquer hora em que a tampa esteja fora, é preciso extremo cuidado para manter o compartimento livre de óleo, graxa ou solventes de limpeza do motor, uma vez que eles têm uma adesividade que retém poeira e fuligem, o que prejudicaria um bom desempenho do platinado.

Após o feltro de encosto ter sido inspecionado, abastecido e encontrado satisfatoriamente, inspeciona-se visualmente o platinado quanto a qualquer condição que possa interferir na correta operação do magneto.

Se a inspeção revelar uma substância oleosa ou pastosa nas laterais dos contatos, basta esfregá-lo com um pano em um tubo flexível, embebido em acetona ou outro solvente apropriado. Formando um gancho na extremidade do limpador, ganha-se acesso à parte traseira dos contatos.

Para limpar as superfícies de contato, o platinado deve ser forçado para abrir o suficiente para admitir um pequeno esfregão.

Se a abertura dos pontos for feita com o propósito de limpeza ou teste das superfícies de contato, quando às suas condições, aplica-se sempre a força de abertura na extremidade externa da mola principal, e nunca se abre os contatos mais que 1/16" (0,0625 pol.).

Se os contatos forem abertos mais que o recomendado, a mola principal (a mola pressiona o contato móvel) provavelmente assumirá uma outra tensão. Consequentemente, os contatos perderão parte da tensão de fechamento; então eles saltarão, evitando indução normal do magneto.

Um esfregão pode ser feito enrolando uma tira de linho ou um pequeno pedaço de pano livre de fiapos sobre uma das superfícies de abertura, e embebendo o esfregão em um solvente apropriado.

Então, passa-se cuidadosamente o esfregão nas superfícies de contato separadas. Durante toda esta operação, gotas de solvente não devem cair nas partes lubrificadas como o came e o feltro de encosto.

Para se inspecionar as superfícies de contato do platinado, é preciso conhecer o aspecto dos contatos, qual condição de superfície é considerada com desgaste permissível, e quando é necessário sua substituição. A provável causa de uma superfície anormal pode ser determinada pela aparência dos contatos.

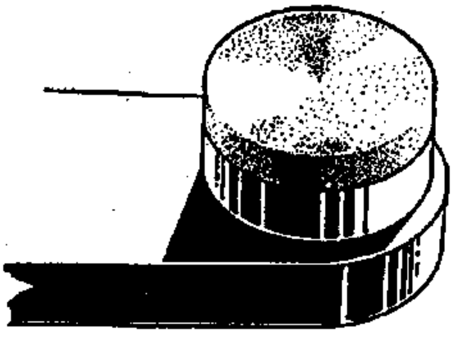


Figura 7-77 Superfície normal de contato

A superfície de contato normal (figura 7-77) tem aparência áspera e de cor cinza opaca sobre a área onde o contato elétrico é feito. Isso indica que os pontos de contato se acamaram, estão alinhados um com o outro, e estão proporcionando o melhor contato possível.

Esta não é a única condição aceitável. Irregularidades pequenas, sem fendas profundas ou picos elevados, como mostrado na figura 7-78, são consideradas desgastes normais, e não há motivo para serem desbastadas ou substituídas.

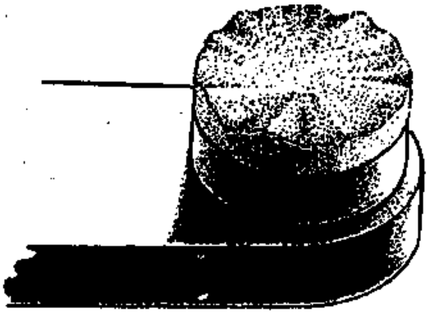


Figura 7-78 Platinado com irregularidade

Entretanto, quando tiver ressaltos na superfície, como ilustrado na figura 7-79, eles devem ser desbastados ou substituídos. Infelizmente, quando picos se formam em um contato, a junção terá fenda ou orifícios.

Essa fenda é mais problemática que o pico, pois ela penetra na camada de platina da superfície. Isso, algumas vezes, dificulta o julgamento para saber se uma superfície de contato está com uma fenda o suficientemente funda para requerer desbaste, porque, na análise final, isso depende do quanto de platina foi retirado da superfície. O risco surge da possibilidade da camada de platina já estar fina como resultado de um longo tempo de uso e prévios desbastes.

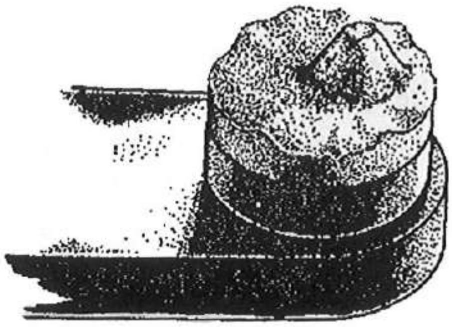


Figura 7-79 Platinados com "picos" bem definidos

Nas revisões, em oficina, um instrumento é usado para medir a espessura remanescente do contato, e não existe nenhuma dificuldade em determinar sua condição. Mas na manutenção de linha, esse instrumento geralmente não está disponível. Portanto, se o pico é muito alto ou a fenda é muito profunda, não se desbasta esses contatos, em vez disso, eles são removidos e substituídos por uma unidade nova ou recondicionada.

Uma comparação entre as figuras 7-78 e 7-79 ajudará a reconhecer as "menores irregularidades" e os "picos bem definidos".

Alguns exemplos de condições de superfícies de contatos são ilustrados na figura 7-80. O item "A" ilustra um exemplo de erosão ou desgaste chamado "*frosting*". Essa condição é resultante de um condensador com circuito aberto; é facilmente reconhecida pela superfície cristalina e áspera e o aparecimento de uma fuligem preta nas laterais dos pontos.

A falta da ação efetiva do condensador resulta em um arco de intenso calor, que se forma cada vez que os contatos abrem.

Isto, junto com o oxigênio no ar, rapidamente oxida e desgasta a superfície de platina dos pontos, deixando, então, a superfície com a aparência áspera, cristalina ou de fuligem.

Durante a operação normal é comum o aparecimento de uma fuligem granulada fina ou prateada, que não deverá ser confundida com a grossa, e os pontos de fuligem causados pela falha do condensador.

Os itens "B" e "C" da figura 7-80 ilustram pontos com fendas prejudiciais.

Esses pontos são identificados claramente pelas bordas dos contatos (no estágio inicial) e pequenas fendas, ou cavidades, no centro dos contatos ou próximo deles, com uma aparência enfumaçada.

Em estágios mais avançados, a fenda pode se desenvolver na largura e na profundidade e eventualmente, o conjunto da superfície de contato tomará a aparência de queimado, escuro e amassado.

Pontos fendidos ou rachados, como regra geral, são causados por poeira e impurezas nas superfícies de contato. Se os pontos estiverem excessivamente fendidos,, um conjunto novo ou recondicionado deve ser instalado.

O item "D" da figura 7-80 ilustra um ponto em forma de "coroa", e pode ser rapidamente identificado pelo centro côncavo e a borda convexa na superfície de contato.

Essa condição é resultante de um desbaste inadequado, como também pode ser o caso de uma tentativa de desbaste, com o platinado instalado no magneto.

Em adição a uma superfície desigual e irregular, as partículas minúsculas de material estranho e metálico, que permanecem entre os pontos após a operação de desbaste, se fundem e causam uma queima irregular da superfície interna dos contatos.

Essa queima difere do congelamento, uma vez que um arco menor produz menos calor e menos oxidação. Nesse caso, a razão de queima é mais gradual.

Pontos coroados, desde que ainda estejam em condições podem ser limpos e retomados para serviço. Se tiver sido formado um excessivo coroamento, o platinado deve ser removido e substituído por um conjunto novo ou recondicionado.

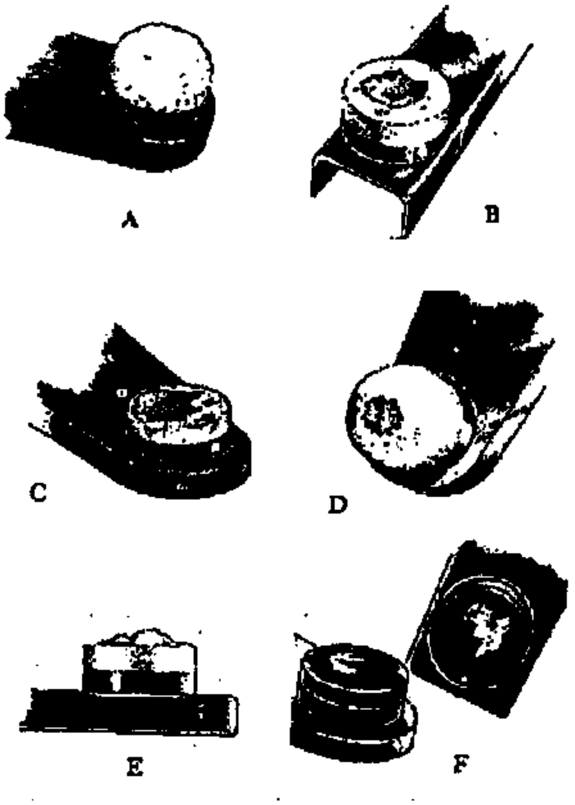


Figura 7-80 Exemplos de condições de superfícies de contato

O item "E:" da figura 7-80 ilustra um ponto formado que pode ser reconhecido pela quantidade de metal que foi transferida de um ponto para outro.

"Formações"(*Built-up*), tais como outras condições mencionadas, resultam primariamente da transferência do material de contato por meio de arcos de pontos separados. Mas, diferente dos outros, não há queimadura ou oxidação no processo por causa da proximidade entre a depressão de um ponto e a formação de outro.

Esta condição pode resultar de tensão de mola excessiva nos pontos do platinado, que retarda a abertura dos contatos ou causa uma lenta ruptura. Isto também pode ser causado por um condensador primário muito usado e precário, ou por uma conexão frouxa na bobina primária. Se uma formação excessiva tiver ocorrido, um conjunto de platinado novo ou recondicionado deve ser instalado.

O item "F" da figura 7-80 ilustra pontos oleosos, os quais podem ser reconhecidos por sua aparência manchada e pela falta de qualquer das irregularidades acima mencionadas. Essa condição pode ser resultante do excesso de lubrificação do came ou de vapores de óleo, os quais podem ser provenientes de dentro ou de fora do magneto.

Um motor expelindo fumaça, por exemplo, poderia produzir vapores de óleo. Esses vapores então entram no magneto através de sua ventilação e passam entre e em torno dos contatos do platinado. Estes vapores condutivos produzem queimaduras nas superfícies dos contatos.

Os vapores também aderem às superfícies do conjunto do platinado, e formam um depósito de fuligem. Pontos oleosos podem ser corrigidos através de um procedimento de limpeza. Entretanto, a remoção das manchas de fumaça podem revelar uma necessidade de desbaste dos pontos. Se preciso, desbasta-se os pontos, ou instala-se um conjunto de platinado novo ou recondicionado.

Recondicionamento (retífica) dos contatos do platinado

Genericamente falando, a desmontagem e a retificação dos contatos do platinado não deveriam ser uma rotina regular da manutenção do magneto. Com a execução de uma manutenção cara e desnecessária, muitos conjuntos de contatos atingem um estado de refugo prematuramente, talvez com dois terços ou três quartos do material das superfícies de contato de platina gastos pelas repetidas operações de retifica.

Na maioria dos casos, os contatos do platinado permanecerão em condições satisfatórias entre os períodos de revisão apenas com inspeção de rotina, limpeza e lubrificação.

Se os contatos do platinado tiverem marcas profundas, elevações ou superfícies queimadas, devem ser retificados, ou substituídos, de acordo com as práticas de manutenção recomendadas pelo fabricante.

Se a retifica for aprovada, um conjunto especial de retifica de pontos de contatos estará normalmente disponível.

O conjunto inclui: um bloco de retificação; adaptadores para segurar os contatos durante a operação de retífica; uma lima especial para remover picos e elevações e uma lixa muito fina para ser usada no final da operação, para remover qualquer rebarba deixada pela lima.

Por ocasião da retífica de um conjunto de contatos que tenham marcas e elevações, não se deve tentar remover os sulcos completamente. Lima-se somente o material o suficiente para tornar plana a superfície em torno de tais irregularidades.

Isto deixará usualmente uma grande área de contato em torno do orifício (figura 7-81) e o conjunto terá desempenho idêntico ao de um novo conjunto de platinados.

É óbvio que se o sulco for profundo, um pouco da camada de platina será removida, se houver uma tentativa de remoção de todo o sulco.

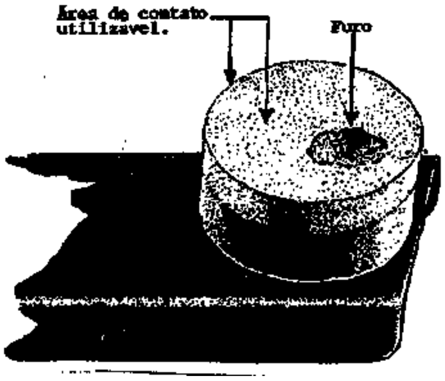


Figura 7-81Platinado "furado" após retífica

Na retificação do lado elevado do conjunto de contatos, os picos devem ser limados e removidos. A superfície dos contatos deve estar perfeitamente plana para promover a maior área possível contra o outro contato, o qual será agora uma área levemente diminuída devido as marcas remanescentes.

Em complemento à operação de retífica não é necessário obter um acabamento espelhado na área de contato. Apenas algumas passadas de lixa ou pedra são requeridas para remover qualquer rebarba deixadas pela lima (Fig7-82).

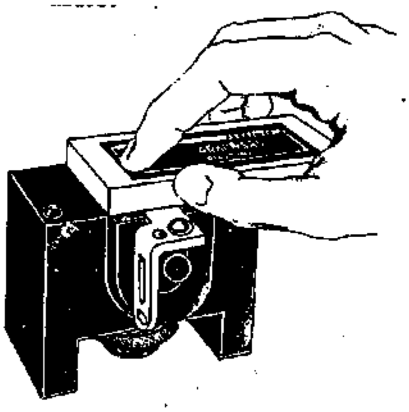


Figura 7-82 Utilização da pedra de retífica dos contatos dos platinados

O objetivo primário é ter uma superfície de contato plana para promover uma área de contato satisfatória quando montado. Uma área de contato total para duas superfícies recondicionadas é difícil de ser obtida, pois isso requer um perfeito acabamento das superfícies.

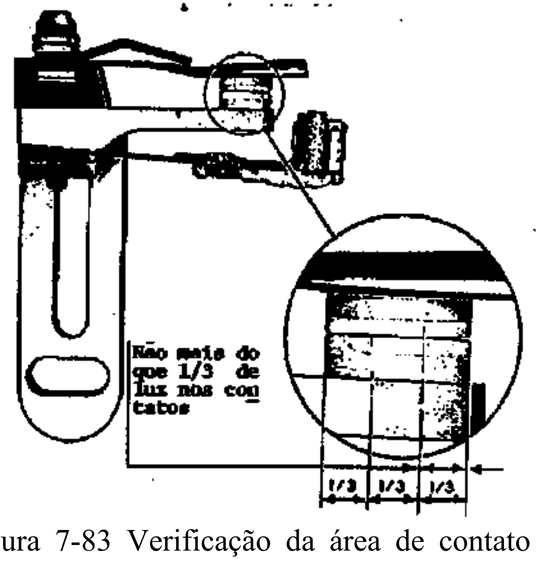


Figura 7-83 Verificação da área de contato dos platinados

Esta dificuldade é um tanto comprometida por uma aproximação, que permite cerca de dois terços do total da área de contato (figura 7-83).

A superfície de contato real pode ser checada mantendo-se o conjunto montado em frente de uma luz e observando o quanto de luz pode ser vista entre as superfícies de contato.Se os pontos de contato tiverem sido removidos por alguma razão, os pontos substituídos ou recondicionados devem ser instalados e precisamente regulados para abrir quando o magneto girar e se movimentar dentro da posição de folga "E" para o cilindro número 1.

Inspeção dielétrica

Outra fase de inspeção do magneto é a inspeção dielétrica. Essa inspeção é uma checagem visual quanto a rachaduras e limpeza. Se ela revelar que a carcaça da bobina, os condensadores, o rotor distribuidor ou blocos estão oleosos, sujos ou tenham qualquer sinal de carbono em evidência, tais unidades necessitarão de limpeza e, possivelmente, um polimento para restabelecer suas qualidades dielétricas.

Limpa-se todos os condensadores acessíveis e as carcaças de bobina que contenham condensadores, esfregando-os com um tecido sem fiapo embebido com acetona.

Muitas peças desse tipo possuem uma camada protetora. Essa camada não é afetada pela acetona, mas pode ser danificada pela fragmentaç ão ou pelo uso de outros fluidos de limpeza.

Nunca se usam solventes inadequados, ou métodos impróprios de limpeza.

Também, quando na limpeza de condensadores ou peças que contenham condensadores, elas não devem ser mergulhadas em qualquer tipo de solução, porque essa pode penetrar no condensador e provocar um curto.

Carcaças de bobinas, blocos distribuidores, rotores distribuidores e outras partes dielétricas do sistema de ignição são tratados com uma camada de cera quando novos e nas revisões gerais. O polimento dos dielétricos ajuda na sua resistência à absorção de umidade, carbono e depósitos de ácido.

Quando essas peças encontram-se sujas ou oleosas, uma parte da proteção original é perdida, o que pode resultar em resistência de carbono.

Se qualquer sinal de carbono ou depósito de ácido estiver presente na superfície do dielétrico, coloca-se a peça mergulhada em solvente de limpeza apropriado, friccionando fortemente com uma escova de cerdas firmes.

Quando os sinais de carbono ou depósitos de ácido tiverem sido removidos, usa-se um pano seco para remover todo o solvente. Então, cobre-se a peça com uma camada de cera especial. Após o tratamento com cera, remove-se o excesso, e reinstala-se a peça no magneto.

Manutenção dos cabos de ignição

Embora os cabos de ignição sejam simples, eles são a ligação vital entre o magneto e a vela de ignição. Devido ao fato deles serem montados no motor, e expostos à atmosfera, eles são vulneráveis ao calor, umidade e aos efeitos das mudanças de altitude.

Esse fatores, somados ao desgaste do isolamento e a erosão, trabalham contra uma operação eficiente do motor. O isolamento pode ser avariado dentro da cablagem e permitir uma fuga de alta voltagem, ao invés de fluir para a vela de ignição.

Circuitos abertos podem ser resultantes de fios partidos ou conexões fracas. Um fio descoberto pode estar em contato com a blindagem, ou dois fios podem estar em curto.

Qualquer defeito sério evitará que a alta tensão atinja a vela de ignição, a qual está conectado o cabo. Como resultado, essa vela não funcionará.

Quando somente uma vela de ignição estiver funcionando no cilindro, a mistura não será consumida tão rapidamente quanto poderia ser se ambas as velas de ignição estivessem funcionando.

Este fator faz com que o pico da pressão de combustão ocorra atrasado.

Se esse pico ocorrer mais tarde que o normal, resultará em perda de potência no cilindro. Entretanto, a perda de potência para um cilindro simples torna-se um fato menor quando o efeito de um tempo longo de queima é considerado.

Um longo tempo de queima superaquece o cilindro afetado, causando detonação, possível pré-ignição e, talvez, uma danificação permanente.

O fio isolado que transporta o impulso elétrico é um tipo especial de cabo projetado, para prevenir excessivas perdas de energia elétrica. Esse fio é conhecido como cabo de ignição de alta tensão, sendo confeccionado em três diâmetros. Os diâmetros externos dos cabos em uso corrente são de 5, 7 ou 9 mm.

A razão para diferentes diâmetros de cabos é que a quantidade e o tipo de isolamento em torno do fio determina a perda elétrica durante a transmissão de alta voltagem.

Uma vez que o núcleo condutor transporta apenas baixas correntes, esse condutor é de menor diâmetro.

O cabo de 9 mm tem uma aplicação limitada, porque é de projeto antigo e tem uma camada relativamente grossa de isolamento..

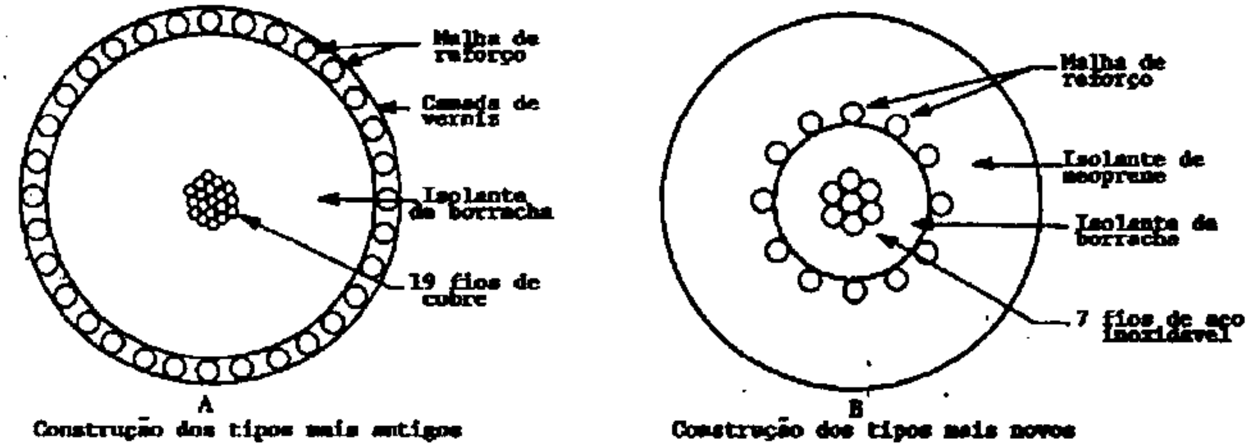


Figura 7-84 Vista em corte de um típico cabo de ignição de alta tensão

Falhas das cablagens de ignição de alta tensão

Para muitas partes dos motores de hoje, são usados cabos de 7mm, mas há poucos sistemas que são projetados para usar cabos de 5 mm. O uso crescente de cabos de menor tamanho é largamente utilizado devidos as melhorias no material de isolamento, o qual permite um revestimento mais superficial.

O adaptador de conexões tem sido projetado para as pontas de cabos mais finos, podendo assim ser usado em armadura (cablagem) trançada; onde o distribuidor foi originalmente projetado para cabos mais grossos

Um tipo de construção de cabo utiliza um núcleo consistindo em 19 fios finos de cobre, cobertos por um revestimento de borracha. Isso é coberto por uma fita entrelaçada e uma camada na parte externa (A da figura 7-84).

Um novo tipo de construção (B da figura 7-84) tem um núcleo de 7 fios de aço inox coberto com um revestimento de borracha.

Além disso, são usadas uma trança de reforço e uma camada de neopreme para completar o conjunto.

Esse tipo de construção é superior aos tipos mais antigos, principalmente porque o neopreme melhorou a resistência ao calor, ao óleo e erosão.

Talvez, a mais comum e mais difícil falha de sistemas de ignição de alta tensão a ser detectada, seja o vazamento de alta voltagem. Isto é uma fuga do condutor através do isolamento para a massa do distribuidor blindado. Uma pequena fuga de corrente existe até em cabos de ignição novos, durante a operação normal.

Vários fatores se combinam para produzir primeiro uma alta razão de perda e, então, a completa interrupção.

Desses fatores, umidade em qualquer forma é provavelmente o pior. Sob alta voltagem, um arco se forma e queima a trilha através do isolador onde existe a umidade. Se houver gasolina, óleo ou graxa presente, irá interromper o circuito e formar carbono.

A trilha queimada é chamada de marca de carbono, já que realmente é uma trilha de partículas de carbono.

Com alguns tipos de isolamento, pode ser possível remover a trilha de carbono e restabelecer o isolador para sua condição total de uso. Isto é conseguido com a porcelana, cerâmica e alguns plásticos, pois esses materiais não são hidrocarbonos, e qualquer trilha de carbono formada nos mesmos é resultado de sujeira, podendo ser limpo.

Diferenças na localização e quantidade de perda produzirão diferentes indicações de mau funcionamento durante a operação do motor. As indicações são geralmente falta de centelha ou centelha cruzada. A indicação pode ser intermitente, mudando com a pressão do duto ou com condições climáticas.

Um aumento na pressão do duto aumenta a pressão de compressão e a resistência do ar através da folga da vela de ignição.

Um aumento na resistência da folga de ar (na vela de ignição) opõe à descarga da centelha, e produz uma tendência ao disparo desta num dado ponto fraco do isolamento.

Um ponto fraco na cablagem pode ser agravado pela coletagem de umidade no distribuidor da cablagem.

Com a presença de umidade, a operação contínua do motor causará falhas intermitentes e tornará permanentes as trilhas de carbono.

Desta maneira, a primeira indicação de cablagem de ignição sem condições de serviço pode ser a falta de centelha para o motor, causada pela perda parcial da voltagem de ignição.

A figura 7-85 mostra uma seção em corte de uma cablagem, e demonstra 4 falhas que podem ocorrer.

A falha (A) mostra um curto de um cabo condutor para outro. Essa falha usualmente causa falta de centelha, visto que a vela está curto-circuitada no cilindro, onde a pressão no mesmo é baixa.

A falha (B) mostra um cabo com uma parte do isolamento desgastado.

Embora o isolamento não esteja completamente rompido, existe uma perda de força maior que a normal, e a vela de ignição, que está conectada a este cabo pode ser perdida durante a decolagem, quando a pressão do distribuidor de admissão é muito elevada.

A falha (C) é o resultado da condensação coletada no ponto mais baixo do distribuidor de ignição.

Essa condensação pode evaporar completamente durante a operação do motor, mas a trilha de carbono, que é formada pelo centelhamento inicial, permanece para permitir um centelhamento contínuo toda vez que existir uma alta pressão do distribuidor.

A falha (D) pode ser causada por um alto fluxo de ar ou pelo resultado de um ponto fraco no isolamento, o qual é agravado pela presença de umidade.

Entretanto, visto que a trilha de carbono é um contato direto com a childragem de metal, provavelmente resultará no centelhamento sob todas as condições de operação.

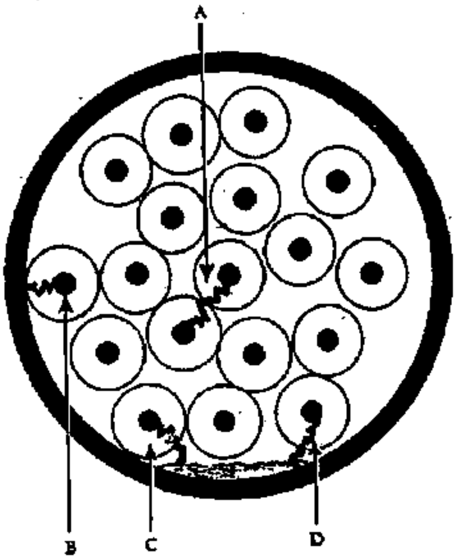


Figura 7-85 Seção reta de uma cablagem

Teste de cablagem

O teste elétrico das cablagens de ignição checa a condição do isolamento em torno de cada cabo de cablagem. O princípio desde teste envolve a aplicação de uma de uma voltagem definida para cada cabo e, então, a medida muito sensível da quantidade de corrente de fuga entre o cabo e o distribuidor da cablagem aterrado.

Essa leitura, quando comparada com especificações conhecidas, torna-se um guia para análise das condições de serviço do cabo.

Como mencionado anteriormente, há uma deteriorização gradual do material de isolamento flexível.

Quando novo, o material terá uma baixa razão de condutividade, tão baixa de fato, que sob uma voltagem de alguns milhares de volts de pressão elétrica, a fuga de corrente será de apenas alguns milésimos de ampère. O envelhecimento natural causará uma mudança na resistência do material de isolamento, permitindo um aumento da corrente de fuga.

Teste de cablagem de ignição de alta voltagem

Muitos tipos diferentes de dispositivos de testes são usados para determinar o estado de uma cablagem de ignição de alta tensão. Um tipo comum de teste, ilustrado na figura 7-86, é capaz de aplicar uma corrente contínua em qualquer tensão, de 0 até 15.000 volts, com uma entrada de 110 volts, 60 Hz.

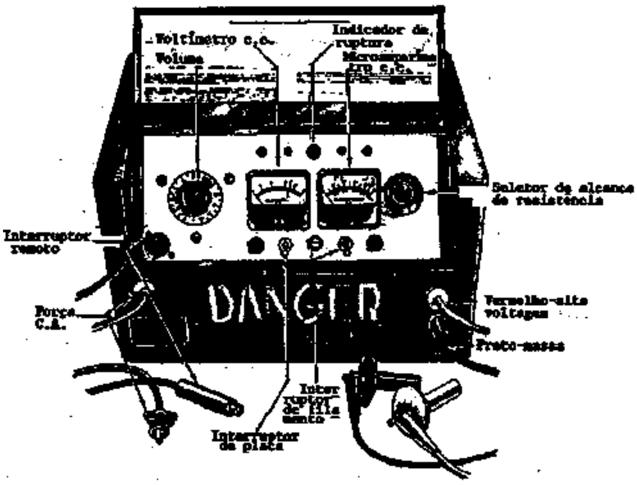


Figura 7-86Teste de cablagem de ignição de alta tensão

A fuga de corrente entre o cabo de ignição e o tubo de distribuição é medida em duas escalas de um microamperímetro, graduadas para leituras de 0 a 100 µA (microampères) e de 0 a 1.000 µA.

Desde que 1000 µA seja igual a 1 mA (miliampère), o zero para a escala de 1000 é chamada "escala de miliampère"(mA), e a outra, "escala de microampère"(µA).

Leituras podem ser obtidas em qualquer escala através do uso da chave de ajuste de alta ou baixa resistência, localizada à direita do amperímetro.

Resistores limitadores de corrente são usados em ambas as escalas para evitar danos aos circuitos de teste, através de aplicação acidental de tensões excessivas.

A tensão aplicada ao cabo testado é indicada em um voltímetro calibrado para ler de 0 a 15.000 volts. Um botão de controle à esquerda do voltímetro permite um ajuste de voltagem para a tensão recomendada.

Em adição ao amperímetro e voltímetro, uma luz neon indica centelhamento que pode ser tão rápido a ponto de causar significativa deflexão da agulha do microamperímetro.

Os botões de controle para o teste (figura 7-86) incluem um interruptor de filamento, interruptor de placa e interruptor remoto. O interruptor de filamento completa um circuito entre a entrada do circuito CA e o elemento do filamento da válvula retificadora. O fluxo de corrente pelo filamento o aquece e prepara a válvula para operação. A função da válvula, entretanto, não estará completa até que a placa da mesma esteja energizada.

A tensão da placa do retificador depende de dois interruptores: o da chave de controle de placa e do botão remoto. A chave de controle de placa arma ou prepara o circuito da mesma para operar. Com as chaves da placa e do filamento ligadas, pressionando-se o botão, a válvula estará em operação e, soltando-o verifica-se a tensão dos cabos de ignição se os cabos de testes estiverem conectados.

O botão remoto de calcar deve ser ligado a um soquete no canto inferior esquerdo do painel de instrumentos. Esta configuração permite uma operação de teste a distâncias de até 5 pés. Os parágrafos seguintes ilustram o uso desse tipo de unidade de teste. Estas instruções são apresentadas somente como um guia geral. Consultam-se as instruções aplicáveis do manual do fabricante antes de efetuar um teste de cablagem de ignição.

A cablagem não necessita ser removida do motor para o teste. Se o mesmo for efetuado com a cablagem no motor, todos os cabos de vela devem ser desconectados das mesmas, visto que a tensão aplicada durante o teste é alta o suficiente para provocar o centelhamento entre os eletrodos.

Após cada cabo ser desconectado, o seu terminal, exceto o que vai ser testado, deve estar encostado contra o cilindro, de modo a garantir o seu perfeito aterramento. A razão do aterramento de todos os cabos de vela durante o teste é a necessidade de se verificar e detectar excessiva fuga ou ruptura, resultante de um curto-circuito entre dois cabos de ignição.

Se os cabos estiverem sem massa durante o teste, o curto-circuito não poderá ser detectado, devido a todos os cabos se encontrarem como um circuito aberto e somente a fuga, através do isolamento para a massa de conduíte da cablagem, poderá ser indicada. Entretanto, quando todos os cabos estão aterrados, exceto o que receberá o teste de tensão, é formado um circuito completo através dos cabos curto-circuitados e qualquer fuga ou sobrecorrente para a massa é indicada pelo microamperímetro ou pelo acendimento da luz néon do indicador de ruptura.

Quando todos os cabos de vela estiverem desconectados das mesmas e aterrados ao motor, prepara-se o equipamento para teste da cablagem. Inicia-se pela conexão do cabo de aterramento na parte traseira do equipamento a algum objeto bem aterrado. Conecta-se o cabo vermelho de alta tensão (figura 7-86) para o terminal de alta tensão do equipamento. Conecta-se a outra extremidade desse cabo para a cablagem de ignição a ser testada.

Prende-se uma das extremidades do cabo massa (preto) no receptáculo de aterramento na parte da frente do equipamento de teste e a outra extremidade ao motor ou qualquer outro ponto comum de massa. Fixa-se o cabo do botão remoto no painel de teste de ignição. Todas as chaves devem estar desligadas, e o botão de controle de alta tensão em zero; então conecta-se o cabo de alimentação para uma fonte de 110 volts, 60 Hz de CA.

Liga-se a chave de controle do filamento, aguardando pelo menos 10 segundos para que o filamento da válvula se aqueça. Após este intervalo, liga-se a chave da placa. Com as chaves da placa e do filamento ligados, ajusta-se a tensão que será aplicada para cada cabo de ignição durante o teste.

O ajuste é efetuado pressionando-se o botão remoto e girando-se o botão de controle de alta tensão no sentido horário, até que o voltímetro registre 10.000 volts. Assim que a tensão recomendada for atingida, solta-se o botão e automaticamente o suprimento de alta tensão é interrompido.

Uma vez que a tensão seja ajustada para o valor recomendado, não será necessário o ajuste da mesma durante o teste. O passo final é o posicionamento do seletor de alcance de resistência para "*high*", de maneira que qualquer fuga de corrente poderá facilmente ser detectada no microamperímetro.

Este teste é normalmente iniciado pelo cilindro nº 1. Visto que todos os cabos de vela já se encontram aterrados e o cabo vermelho de alta tensão está conectado ao cabo do cilindro nº 1, testa-se esse cabo simplesmente pressionando o botão remoto e observando o microamperímetro. Após obter a indicação, solta-se o botão, remove-se o cabo de teste de alta tensão, aterrando o cabo seguinte a ser testado, e procedendo da mesma maneira na ordem numérica dos cilindros. É importante que cada cabo, bom ou ruim, seja novamente aterrado antes de se testar o seguinte. Conforme o teste progride em torno do motor, anota-se somente aqueles cabos pelo número que deram uma indicação de fuga excessiva (mais que 50 ma) ou de ruptura indicada pelo acendimento da lâmpada.

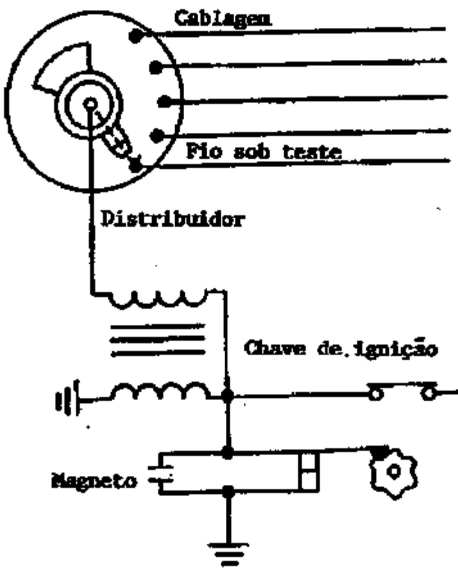


Figura 7-87 Ruptura não atribuída à falha do isolamento

Na conclusão do teste, pelo menos dois cabos em qualquer cablagem provavelmente apresentam falhas. Isto pode ser explicado pela referência da figura 7-87, e notando-se a posição do rotor do distribuidor. Quando a tensão de teste é aplicada para o cabo inferior da ilustração, um centelhamento pode ocorrer através do pequeno vão do distribuidor e pela bobina primária do magneto ou da chave de ignição para a massa.

Esta aparente falha será mostrada em ambos os cabos de vela de ignição, dianteira e traseira, para um cilindro em particular. Para se determinar se existe realmente uma interrupção nesses cabos, gira-se a hélice de um quarto a meia volta, repetindo neles o teste. Isto afastará o rotor do distribuidor do terminal de cabo testado, dando uma indicação precisa de suas condições.

A hélice não deve ser girada imediatamente após a localização de um cabo aparentemente em mau estado, pois o rotor do distribuidor pode parar em posição oposta à de outro cabo que não tenha sido testado, sendo necessário girar a hélice novamente.

Sempre que a maioria deles apresentar fuga excessiva, a falha pode ser por sujeira ou tratamento inadequado dos contatos do distribuidor.

Se esse for o caso, limpa-se os contatos do distribuidor com os procedimentos descritos no manual do fabricante.

Teste de isolamento de corrente contínua

Existem vários testes pequenos, leves e portáteis, que podem operar com alimentação de 115 volts, 60 Hz C.A., ou 28 v C.C. da fonte de alimentação da aeronave.

Esses testes usam essencialmente os mesmos medidores e interruptores que os testes de cabos de ignição de alta tensão já discutidos. Além disso, as indicações de fuga e interrupção são praticamente as mesmas. Esse tipo de teste é um instrumento geralmente portátil.

ANALISADOR DE MOTORES

O analisador de motores é uma adaptação do osciloscópio. É um instrumento portátil ou permanentemente instalado, cuja função é detectar, localizar e identificar anomalias na operação de motores, como as que são causadas por falha do sistema de ignição, detonação, válvulas, mistura pobre, etc.

A necessidade de meios de detecção e localização de problemas operacionais mais eficazes se tornou evidente com a introdução de maiores e mais complexos motores de aeronaves.

A maioria dos problemas operacionais de aeronaves são devidos à falha no sistema de ignição, e normalmente se manifestam em baixas altitudes, ou durante a operação no solo. Entretanto, muitos problemas de motores, principalmente aqueles relacionados ao sistema de ignição, ocorrem em elevadas altitudes de vôo.

Já que as condições de elevadas altitudes não podem ser simuladas no solo, é desejável uma unidade que, a qualquer momento, possa indicar uma anormalidade na operação dos motores.

Analisadores de motores são classificados em 2 tipos: um produz somente evidência da condição do sistema de ignição; o outro revela vibrações anormais durante a operação, como as causadas pela explosão, válvulas, ou mistura pobre de combustível, como também o mau funcionamento na ignição.

Os analisadores são projetados para serem usados como portáteis, ou permanentemente instalados na aeronave.

A maioria dos modelos comuns contém o controle de voltagem de ignição e seletoras que permitem o uso de captadores de indução, conjunto de retardo ou gerador de 3 fases para sincronização.

Os pesos do portátil e do instalado na aeronave variam com a forma de instalação envolvida.

Em uma aeronave típica de 2 motores equipada com sistema de ignição de baixa tensão, a instalação portátil pesa aproximadamente 22 Lbs (incluindo fios, conectores e equipamento).

A instalação a bordo pesa aproximadamente 45,5 Lbs.

Uma instalação a bordo é aquela em que a unidade analisadora de ignição e seus associados estão permanentemente instalados na aeronave. Nenhum fixador de cabos é usado, neste caso.

Uma instalação portátil é aquela na qual o equipamento associado é permanentemente instalado no avião, porém o analisador é eliminado. Neste caso. Um fixador de cabos é utilizado.

Mais tarde, o analisador é levado de avião para avião para fazer testes de ignição, ou vai nele para fazer testes de ignição, ou vai nele para fazer testes de ignição em altitudes.

O analisador instalado a bordo tem uma grande vantagem – está sempre com o avião. Fazer tal instalação envolve custos adicionais do analisador.

Obviamente isto requer que se tenha pessoal a bordo capaz de operar o instrumento em vôo, permitindo que esse pessoal teste o sistema de ignição antes do pouso, e, assim, torne possível resolver prontamente as dificuldades após o pouso.

O diagrama na figura 7-88 ilustra uma instalação do analisador de ignição a bordo em um avião típico.

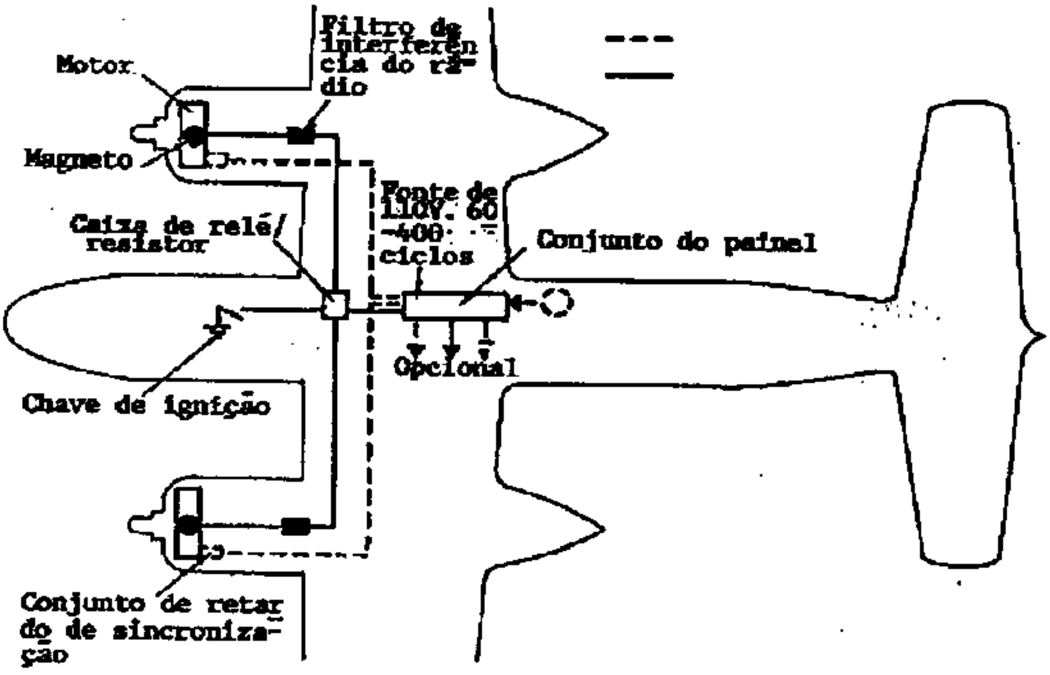

Filtro de interferência do rádio
Motor
Magneto
Fonte de 110V. 60 -400 ciclos
Caixa de relé/ resistor
Conjunto do painel
Opcional
Chave de ignição
Conjunto de retardo de sincronização

Figura 7-88 Instalação do analisador em bimotores

A figura mostra que um conjunto de retardo e filtro é requerido pelo motor. Somente uma caixa relé/resistor é requerida por avião. Uma exceção à regra são os aviões que têm certos tipos de instalação de ignição de alta tensão. Essas instalações requerem uma caixa relé/resistor por motor. O conjunto de retardo de sincronização “dispara” o circuito de varredura horizontal do tubo de raios catódicos. Ele opera à metade da velocidade do eixo de manivelas do motor e é temporizado de 3º a 4º antes da explosão do cilindro nº 1.

O filtro de interferência do rádio é montado na parede de fogo e no circuito primário de ignição. O número de unidades por filtro depende do número de fios massa em cada circuito primário de ignição.

Uma unidade normalmente consiste em uma bobina de reatância e um ou dois condensadores ligados em paralelo com o condensador primário do magneto.

O filtro é requerido porque o equipamento analisador não é blindado. Ele também permite que a fiação do circuito analisador primário não seja blindado.

A caixa de relé/ resistor contém um resistor isolante para cada motor.

Ela também contém relés selados hermeticamente, que permitem a derivação seletiva e individual dos resistores para qualquer motor.

Os resistores de isolamento são para prevenir qualquer curto no circuito analisador.

Os relés de derivação permitem o uso do controle de voltagem de ignição.

O conjunto do painel contém um motor e um interruptor seletor de condição, um relé individual de operação por interruptores para cada motor (proteções são instaladas para prevenir acidentes na operação do interruptor), e um conjunto interruptor de força com fusível e luz de indicação. Isso constitui o centro de controle para o analisador.

Um diagrama de bloco de um analisador de ignição está mostrado na figura 7-89. Figura 7-90 Imagens típicas de um analisador de motor

Sinais podem ser tracejados através de três tipos possíveis de dispositivos sensores, os quais serão apresentados na face do tubo de raios catódicos.

A figura 7-90 ilustra seis imagens típicas de um analisador de motores. Apesar de ser requerido treinamento adicional para que se possa interpretar com exatidão o significado de cada sinal, a configuração dos sinais na figura 7-90 mostra que todo mau funcionamento é apresentado através de figuras distintas e reconhecíveis.

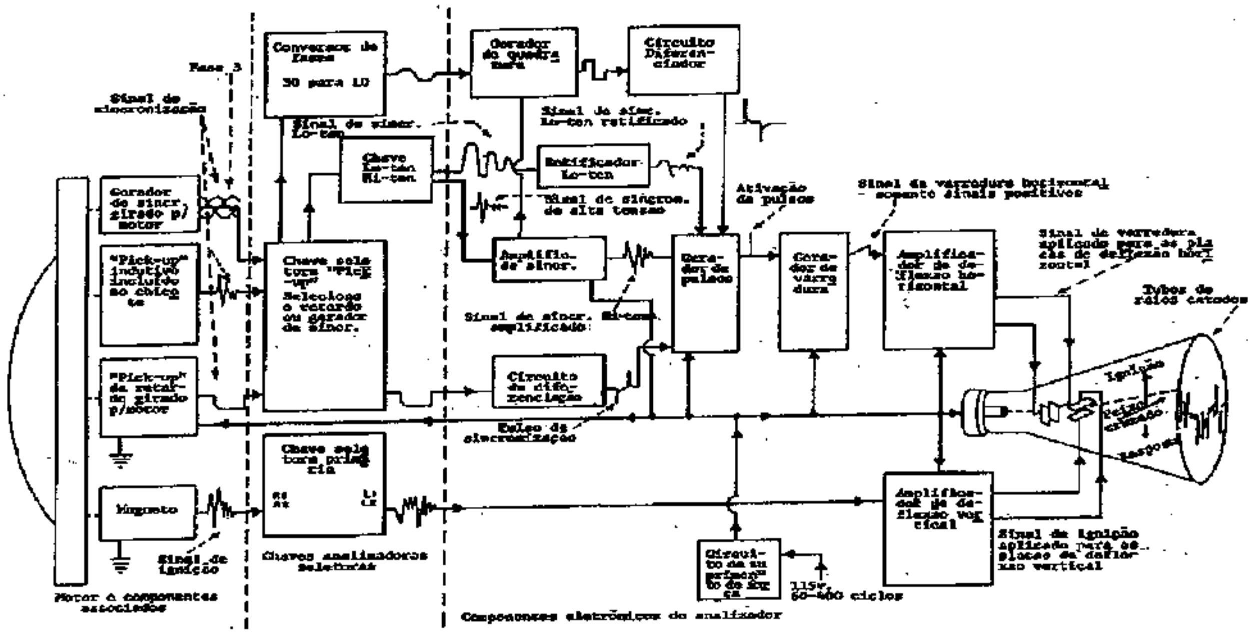

Fase 3
Sinal de sincronização
Gerador de sincr. girado p/ motor
"Pick-up" indutivo incluído no chicote
"Pick-up" de retardo girado p/motor
Magneto
Sinal de ignição
Motor e componentes associados
Conversor de fases 30 para 10
Sinal de sincr. Lo-ten
Chave Lo-ten Hi-ten
Chave seletora "Pick-up" Seleciona o retardo ou gerador de sincr.
Chave seletora primária
Chaves analisadoras seletoras
Gerador de quadrado
Circuito Diferenciador
Sinal de sincr. Lo-ten retificado
Retificador Lo-ten
Sinal de sincros. de alta tensão
Amplific. de sincr.
Sinal de sincr. Hi-ten amplificado
Circuito de diferenciação
Pulso de sincronização
Ativação de pulsos
Gerador de pulsos
Gerador de varredura
Sinal de varredura horizontal - somente sinais positivos
Amplificador de deflexão horizontal
Sinal de varredura aplicado para as placas de deflexão horizontal
Tubos de raios catodos
Ignição
Feixe eletrônico
Resposta
Amplificador de deflexão vertical
Sinal de ignição aplicado para as placas de deflexão vertical
Circuito de suprimento de força
115v, 60-400 ciclos
Componentes eletrônicos do analisador

Figura 7-89 Diagrama do analisador de ignição

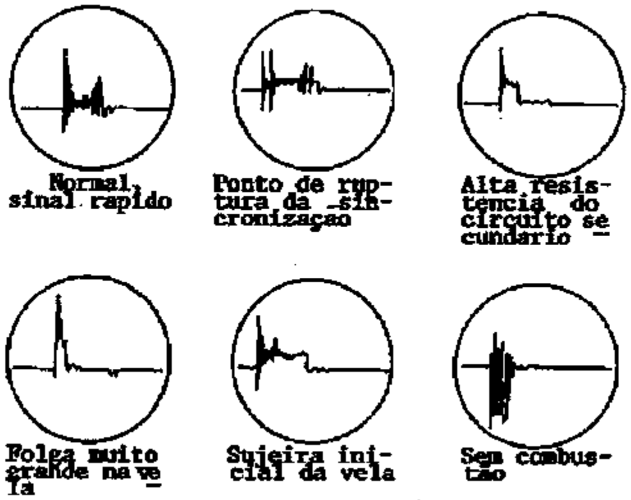

Normal, sinal rapido
Ponto de ruptura da sincronizaçao
Alta resistencia do circuito secundario
Folga muito grande na vela
Sujeira inicial da vela
Sem combustao

Figura 7-90 Imagens típicas de um analisador

SISTEMA DE IGNIÇÃO EM MOTORES A TURBINA

Como os sistemas de ignição de motores à turbinas são operados por um curto período durante o ciclo de partida do motor, eles são, via de regra, menos passíveis de problemas em relação aos sistemas de ignição em motores convencionais. A maioria dos motores turbojato é equipado com um sistema de ignição do tipo capacitivo de alta energia.

Ambos os motores do tipo turboélice podem ser equipados com um sistema de ignição tipo eletrônico, o qual é uma variação do sistema tipo capacitivo simplificado.

Sistema de ignição de motores turbojato

O motor turbojato típico é equipado com um sistema de ignição do tipo capacitivo (descarga capacitiva), consistindo em duas unidades idênticas e independentes de ignição, operando a partir de uma fonte elétrica de corrente contínua de baixa tensão comum, que é a bateria de bordo da aeronave.

Os sistemas de ignição dos motores turbojato podem ser rapidamente operados em condições atmosféricas ideais, mas uma vez que freqüentemente eles operam em condições de grandes altitudes e baixas temperaturas, é imperativo que o sistema seja capaz de fornecer centelhas de alta intensidade de calor.

Com isso, uma alta tensão é fornecida ao terminal da vela de ignição, fornecendo ao sistema um alto grau de confiabilidade em condições variáveis de altitude, pressão atmosférica, temperatura, vaporização de combustível e tensão de entrada.

Um sistema de ignição típico inclui duas unidades excitadoras, dois transformadores, dois cabos de ignição intermediários e dois cabos de ignição de alta tensão. A figura 7-91 apresenta parte de um sistema típico de ignição.

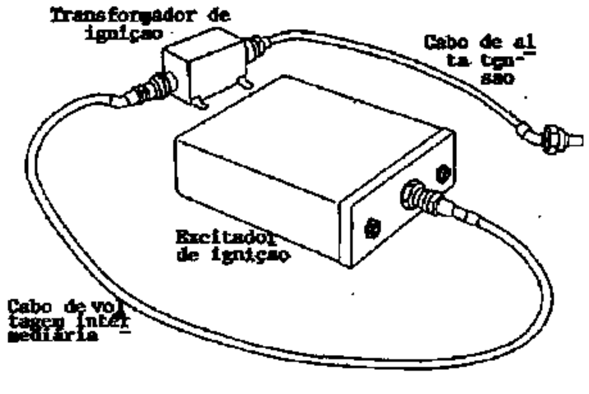

Transformador de igniçao
Cabo de alta tensao
Excitador de igniçao
Cabo de voltagem intermediaria

Figura 7-91 Parte de um sistema típico de ignição

Com isso, como um fator de segurança, o sistema de ignição é realmente um sistema duplo, projetado para ativar duas velas de ignição. A figura 7-92 apresenta um diagrama esquemático de um sistema de ignição do tipo capacitor utilizado em motores turbojato.

Uma tensão de entrada de 24 V CC é fornecida ao conector da unidade excitadora. Esta alimentação inicialmente passa através de um filtro de energizar a unidade excitadora, tal filtro tem a função de evitar que sinais de ruído sejam induzidos no sistema elétrico da aeronave.

A baixa tensão de entrada opera um motor CC, o qual aciona um sistema excêntrico singelo e um sistema excêntrico múltiplo. Ao mesmo tempo, a tensão de entrada é fornecida a um conjunto interruptor, que é acionado pelo sistema excêntrico múltiplo.

No conjunto de interruptores, uma corrente que é rapidamente interrompida, é enviada a um autotransformador.

Quando o interruptor é fechado, o fluxo de corrente através da bobina primária do transformador gera um campo magnético. Quando o interruptor abre, o fluxo de corrente cessa e a queda do campo induz uma tensão no secundário do transformador. Essa tensão causa um pulso de corrente que fui para o capacitor de carga através do retificador que limita o fluxo em uma única direção.

Com pulsos repetitivos no capacitor de carga, este se carrega com uma carga máxima aproximada de 4 joules (1 joule por segundo equivale a 1 watt). O capacitor de carga é conectado a vela de ignição através de um transformador de disparo e de um contactor, normalmente abertos.

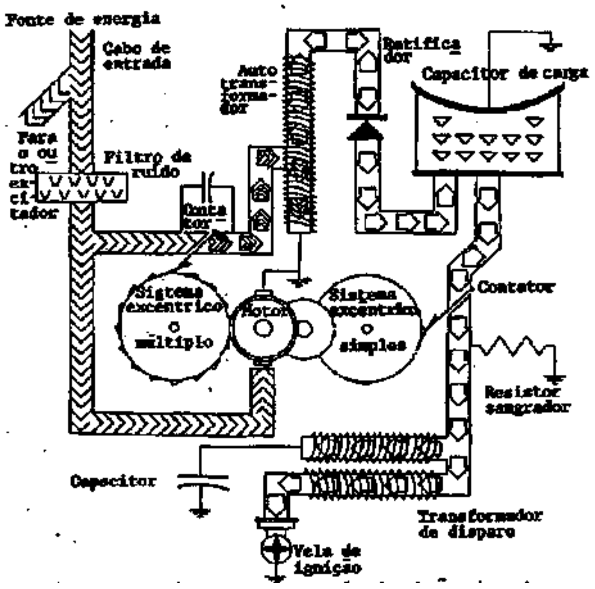


Figura 7-92 Esquema de um sistema de ignição do tipo capacitor

Quando a carga do capacitor é elevada, o contator é fechado pela ação mecânica do sistema excêntrico singelo.

Uma parte da carga flui através do primário do transformador de disparo, e o capacitor é conectado em série com esses. Esta corrente induz uma alta tensão no secundário do transformador, o qual ioniza a vela de ignição.

Quando a vela se torna condutiva, o capacitor de carga descarrega o restante de sua energia acumulada juntamente com a carga do capacitor, que está em série com o primário do transformador de disparo.

A razão de centelhamento na vela de ignição terá uma variação que será proporcional à tensão da fonte de alimentação C.C., a qual afeta a rotação do motor.

Uma vez que ambos os sistemas excêntricos são atuados pelo mesmo eixo, o capacitor de carga acumulará sempre a sua energia com o mesmo número de pulsos antes do ciclo de descarga.

A aplicação do transformador de disparo de alta freqüência, com um secundário de baixa reatância, mantém o tempo de disparo em um valor mínimo. Esta concentração de máxima energia em um mínimo de tempo fornece uma ótima centelha para o propósito de ignição, capaz de eliminar a carbonização e vaporizar os glóbulos de combustível.

Toda a alta tensão nos circuitos de disparo é completamente isolada dos circuitos primários. O excitador é completamente selado, protegendo com isto todos os componentes de condições adversas de operação, eliminando a possibilidade de perda de centelha em altitudes devido à mudança de pressão. Isto também assegura uma blindagem que evita a fuga de tensão de alta freqüência, a qual interfere na recepção de rádio da aeronave.

Sistema eletrônico de ignição

Este sistema tipo capacitivo modificado fornece ignição para os motores turboélice e turbojato.

Como os outros sistemas de ignição, este é requerido apenas durante o ciclo de partida do motor. Uma vez iniciada a combustão, a chama é contínua.

A figura 7-93 mostra os componentes de um sistema eletrônico de ignição típico.

O sistema consiste em uma unidade dinamotora/reguladora/filtro, um excitador, dois transformadores de alta tensão, dois cabos de alta tensão e duas velas de ignição. Além desses componentes são também usados cabos de interconexão, terminais, chaves de controle e o equipamento necessário para sua operação na aeronave.

O dinamotor é utilizado para elevar a corrente contínua que é extraída da bateria de bordo ou da fonte externa, para a tensão de operação do excitador. Essa tensão é utilizada para carregar dois capacitores, os quais armazenam a energia que será utilizada durante a ignição.

Nesse sistema, a energia requerida para ativar a vela de ignição na câmara de combustão não é armazenada em uma bobina de indução, como acontece nos sistemas convencionais de ignição.

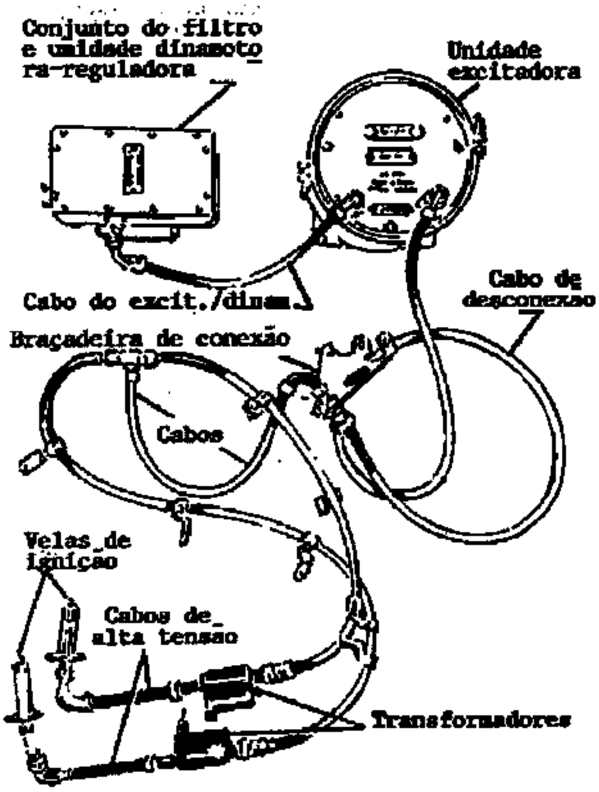

Conjunto do filtro e unidade dinamotora-reguladora
Unidade excitadora
Cabo do excit./dinam.
Cabo de desconexao
Braçadeira de conexão
Cabos
Velas de ignição
Cabos de alta tensao
Transformadores

Figura 7-93 Sistema de ignição eletrônico

No sistema eletrônico, a energia é armazenada em capacitores. Cada circuito de descarga inclui dois capacitores, ambos localizados na unidade excitadora. A tensão através desses capacitores é elevada por meio de transformadores. No instante de ativação da vela de ignição, a resistência do eletrodo é reduzida o suficiente para permitir que o capacitor maior descarregue sua energia através do eletrodo.

A descarga de segundo capacitor é de baixa tensão, porém com alta energia.

O resultado, é uma centelha de alta intensidade de calor, capaz não somente de causar a ignição de misturas anormais de combustível, mas também de eliminar quaisquer depósitos de material estranho nos eletrodos da vela.

O excitador é uma unidade dupla, e esse produz centelhas em cada uma das duas velas de ignição. Uma série contínua de centelhas é produzida até que o motor acenda. A corrente da bateria é então interrompida, e as velas de ignição não mais emitem centelha enquanto o motor estiver operando.

Velas de ignição de turbina

A vela de um sistema de ignição de turbina é consideravelmente diferente daquelas utilizadas nos sistemas de ignição dos motores convencionais. O seu eletrodo deve ser capaz de resistir a uma corrente de muito maior energia, em relação ao eletrodo de velas para motores convencionais.

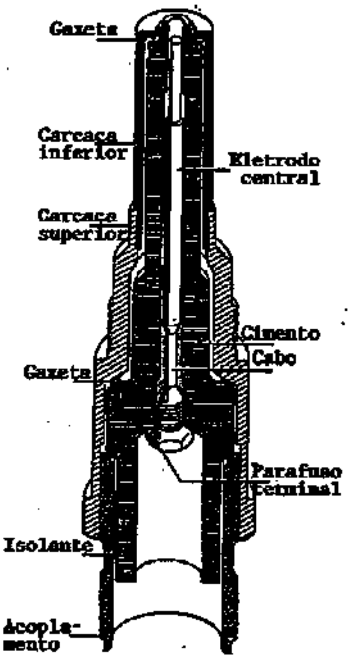

Gazeta
Carcaça inferior
Eletrodo central
Carcaça superior
Cimento
Cabo
Gazeta
Parafuso terminal
Isolante
Acoplamento

Figura 7-94 Vela de ignição do tipo angular

Essa corrente de alta energia pode rapidamente causar a erosão do eletrodo, mas os pequenos períodos de operação minimizam a manutenção da vela.

O espaço do eletrodo de uma vela de ignição típica é muito maior do que aquela das velas de centelha, uma vez que as pressões de operação são muito menores, e as centelhas podem ser mais facilmente conseguidas do que nas velas comuns.

Finalmente, a sujeira nos eletrodos, tão comum nas velas de motores convencionais, é minimizada pelo calor das velas de alta intensidade.

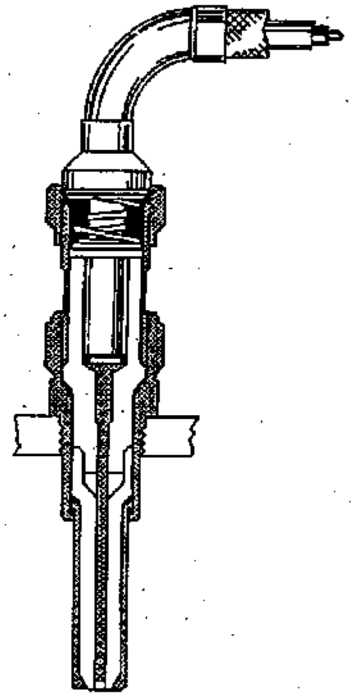


Figura 7-95 Vela de ignição do tipo confinado

A figura 7-94 mostra uma ilustração em corte de uma vela de ignição típica com espaçamento anular do eletrodo, por vezes conhecida como de "longo alcance", em função de projetar-se na câmara de combustão, produzindo uma centelha mais efetiva.

Outro tipo de vela de ignição, a vela confinada (figura 7-95), é usada em alguns tipos de turbinas.

Essa opera em condições de temperaturas muito mais frias e é por esta razão, que não se projetam diretamente na câmara de combustão. Isto é possível porque a centelha não permanece muito próxima da vela, mas produz um arco além da face da câmara de combustão.

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE IGNIÇÃO DE MOTORES A TURBINA

A manutenção de um sistema típico de ignição de turbinas consiste primariamente em inspeção, teste, pesquisa de problemas, remoção e instalação.

Inspeção

A inspeção de um sistema de ignição normalmente inclui o seguinte:

Inspeção/Cheque	Reparo
Fixação dos componentes, parafusos e braçadeiras	Reaperto e fixação como requerido
Curtos e arcos de alta tensão	Substituição dos componentes em falha e fiação
Conexões soltas	Fixação e aperto como requerido

Remoção, Manutenção e Instalação dos Componentes do Sistema de Ignição

As instruções seguintes constituem em procedimentos típicos sugeridos pela maioria dos fabricantes de turbinas. Essas instruções são aplicáveis aos componentes do sistema de ignição do motor (ilustrado na figura 7-93).

As instruções fornecidas pelo fabricante devem sempre ser consultadas antes de se executar manutenção em qualquer sistema de ignição.

Cabos do Sistema de Ignição

1. Remover as braçadeiras que fixam os cabos de ignição ao motor.
2. Remover os frenos e soltar os conectores elétricos da unidade excitadora (caixa de ignição).
3. Remover freno e desconectar o cabo da vela de ignição.
4. Descarregar qualquer carga elétrica armazenada no sistema através da massa, e remover os cabos do motor.

5. Limpar os cabos com solvente seco aprovado.
6. Inspecionar os conectores quanto as roscas danificadas, corrosão, isoladores quebrados e pinos do conector amassados ou quebrados.
7. Inspecionar os cabos quanto as áreas queimadas ou gastas, cortes, desgaste e deterioração de modo geral.
8. Executar o teste de continuidade dos cabos.
9. Reinstalar os cabos, obedecendo o procedimento inverso ao da remoção.

Velas de Ignição

1. Desconectar os cabos de ignição das velas.
2. Remover as velas de seus suportes
3. Inspecionar a superfície do eletrodo da vela.
4. Inspecionar a haste da vela quanto ao desgaste.
5. Substituir velas de ignição cuja superfície esteja granulada, lascada, ou danificada de forma generalizada.
6. Substituir velas sujas ou carbonizadas.
7. Instalar as velas de ignição nos suportes.
8. Verificar a distância adequada entre a câmara de combustão e a vela de ignição.
9. Apertar as velas de ignição de acordo com o torque especificado pelo fabricante.
10. Frenar as velas de ignição.

CAPÍTULO 8

SISTEMAS ELÉTRICOS DE PROTEÇÃO CONTRA OS EFEITOS DA CHUVA E DO GELO E CONTRA FOGO

PROTEÇÃO CONTRA OS EFEITOS DA CHUVA

Sistemas elétricos limpadores de pára-brisas

Em um sistema elétrico, limpador de pára-brisas, as palhetas limpadoras são giradas por um ou mais motores, que recebem energia do sistema elétrico da aeronave.

Em algumas aeronaves, os limpadores de pára-brisas do piloto e o do co-piloto são operados por sistemas separados, para assegurar que será mantida uma boa visão em uma das partes do pára-brisas se um dos sistemas falhar.

A figura 8-1 mostra uma típica instalação elétrica de limpador de pára-brisas.

Um limpador operado eletricamente está instalado em cada painel do pára-brisas. Cada limpador é girado por um conjunto motor-conversor.

Os conversores mudam o movimento rotativo do motor para um movimento alternado, para operar os braços de comando. Um eixo do conjunto fornece os meios de fixação do braço de comando.

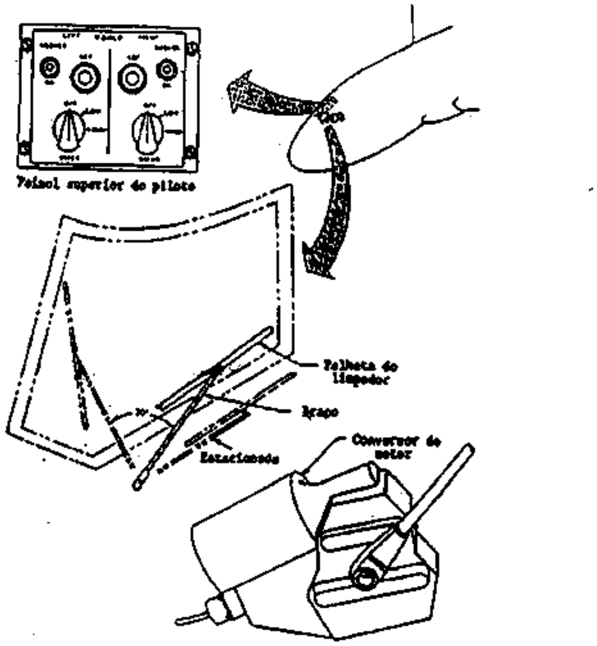

Painel superior do piloto
Palheta do limpador
Braço
Conversor de motor
Estacionado

Figura 8-1 Sistema elétrico de limpador de pára-brisas

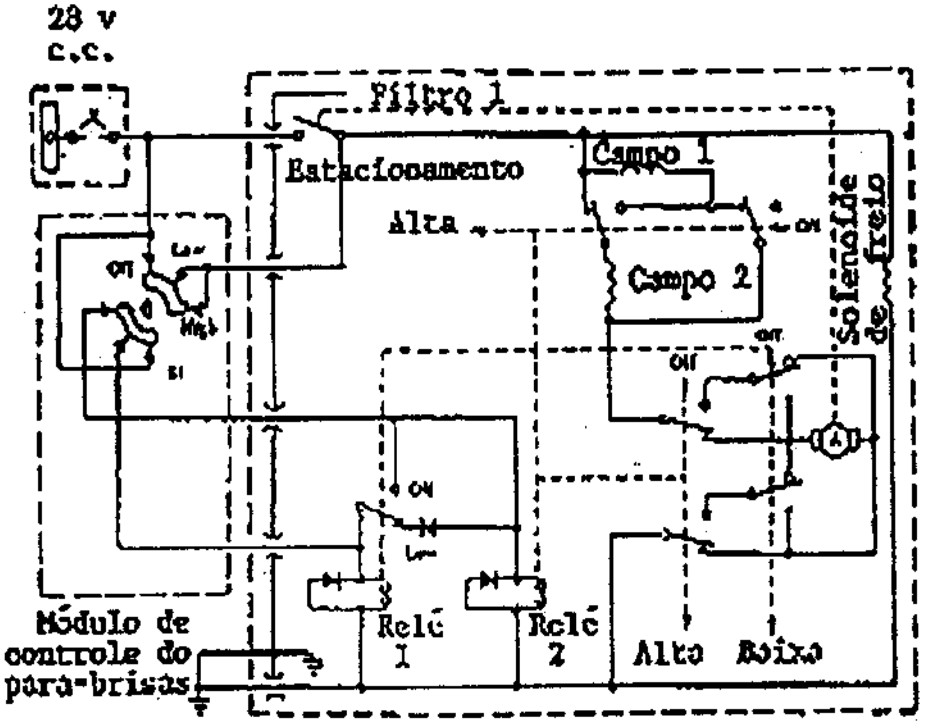

28 V c.c.
Filtro 1
Estacionamento
Campo 1
Alta
ON
Campo 2
Solenóide de freio
OFF
ON
Low
High
S1
ON
Low
Relé 1
Relé 2
Alto
Baixo
Módulo de controle do pára-brisas

Figura 8-2 Circuito elétrico do limpador de pára-brisas

O limpador de pára-brisas é controlado pela seleção do interruptor de controle, para a velocidade desejada. Quando a posição "*HIGH*" é selecionada (figura 8-2), os relés 1 e 2 são energizados. Com ambos os relés energizados, o campo 1 e o campo 2 são energizados em paralelo.

O circuito é completado e o motor opera a uma velocidade aproximada de 250 golpes por minuto. Quando a posição "*LOW*" é selecionada, o relé 1 é energizado. Isto faz com que o campo 1 e o 2 sejam energizados em série.

O motor então, opera a aproximadamente 160 golpes por minuto. Selecionando o interruptor para a posição "OFF", ele permite aos contatos do relé retornarem às suas posições normais. No entanto, o motor do limpador continua a girar até que o braço de comando atinja a posição "*PARK*".

Quando ambos os relés estiverem abertos e o interruptor "*PARK*" estiver fechado, a excitação do motor será revertida. Isto causa o movimento do limpador fora da borda inferior do pára-brisas, abrindo o interruptor de parqueamento, operado por ressalto. Isto desenergiza o motor e solta o solenóide do freio e assegura de que o motor não deslizará, tornando a fechar o interruptor de parqueamento.

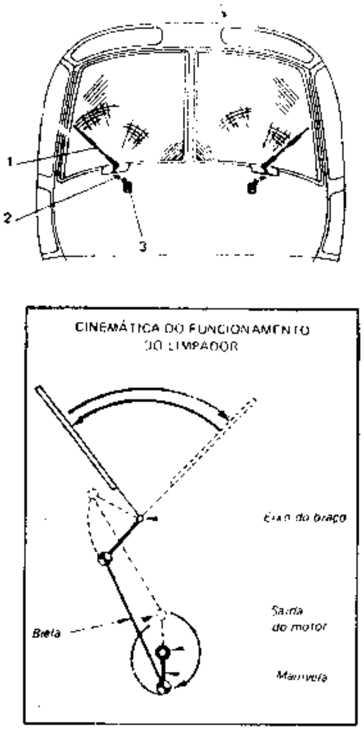


Figura 8-3 Componentes do limpador de pára-brisas de helicóptero

Um sistema limpador de pára-brisas instalado em helicóptero consiste de um braço (1) impulsionado por um motor elétrico (3) cujo movimento de rotação é transformado em batimento por um sistema "biela-manivela" (2).

1) Características

Condição de utilização: o limpador de pára-brisa é eficaz até 185 km/h (100kt).

- Velocidade de batimento: 60 movimentos de ida-e-volta por minuto.
- Consumo do motor: 3 A.
- Potência máxima: 220W
- O motor é equipado com um redutor e supressor de ruído.

2) Funcionamento

Com o botão (1) pressionado o motor, é alimentado e aciona o braço do limpador por meio do sistema "biela-manivela".

Quando o botão é acionado para a posição "desligado", o motor continua a ser alimentado pelo circuito paralelo (4) até o momento em que a escova de alimentação (3) perde contato com o came (2) acionado pelo motor. O motor pára em posição "estacionamento".

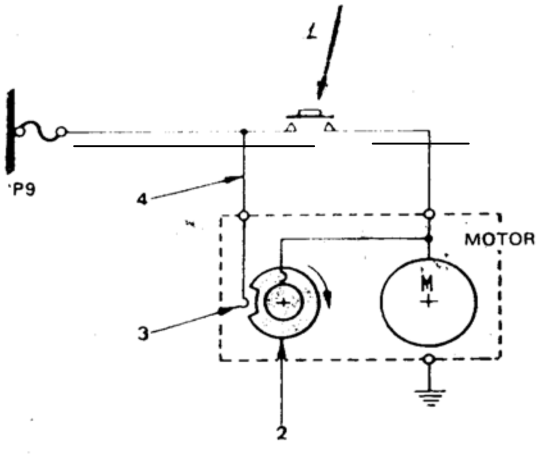


Figura 8-4 Esquema do circuito elétrico

O came de parada está montado em relação ao sistema "biela-manivela" de tal maneira que o corte de alimentação que ele provoca corresponde à posição "estacionamento" parando o braço do limpador à direita do pára-brisa.

Nota: o limpador de pára-brisas nunca deve funcionar num pára-brisas seco.

PROTEÇÃO CONTRA OS EFEITOS DO GELO

Chuva, neve e gelo são velhos inimigos dos transportes. Em vôo, é adicionada uma nova dimensão, particularmente com respeito ao gelo. Sob certas condições atmosféricas, o gelo pode formar-se rapidamente nos aerófólios e entradas de ar.

Os dois tipos de gelo encontrados durante o vôo são: o gelo opaco e o vítreo. O gelo opaco forma uma superfície áspera nos bordos de ataque da aeronave, porque a temperatura do ar é muito baixa e congela a água antes que ela tenha tempo de espalhar-se. O gelo vítreo forma uma camada lisa e epessa sobre os bordos de ataque da aeronave.

Quando a temperatura está ligeiramente abaixo do ponto de congelamento, a água tem mais tempo para fluir antes de congelar-se.

Deve ser esperada a formação de gelo, sempre que houver umidade visível no ar, e a temperatura estiver próxima ou abaixo do ponto de congelamento.

Uma exceção é o congelamento no carburador que pode ocorrer durante o tempo quente sem a presença visível de umidade. Se for permitido o acúmulo de gelo no bordo de ataque das asas e da empenagem, ele irá destruir as características de sustentação do aerofólio. O acúmulo de gelo ou chuva no pára-brisas, interfere na visibilidade.

Efeitos do gelo

Gelo acumulado em uma aeronave afeta a sua performance e a sua eficiência de várias maneiras.

A formação de gelo aumenta a resistência ao avanço (arrasto) e reduz a sustentação. Ele causa vibrações destrutivas e dificulta a leitura verdadeira dos instrumentos. As superfícies de controle ficam desbalanceadas ou congeladas. As fendas (slots) fixas são preenchidas e as móveis emperradas. A recepção de rádio é prejudicada e o desempenho do motor é afetado (Figura 8-5)

Os métodos usados para a evitar a formação de gelo (antigelo) ou para eleminar o gelo que foi formado (degelo) varia com o tipo de aeronave e com o modelo.

Neste capítulo, serão discutidas a prevenção contra o gelo e a eliminação do gelo formado, usando pressão pneumática, aplicação de calor e a aplicação de fluido.

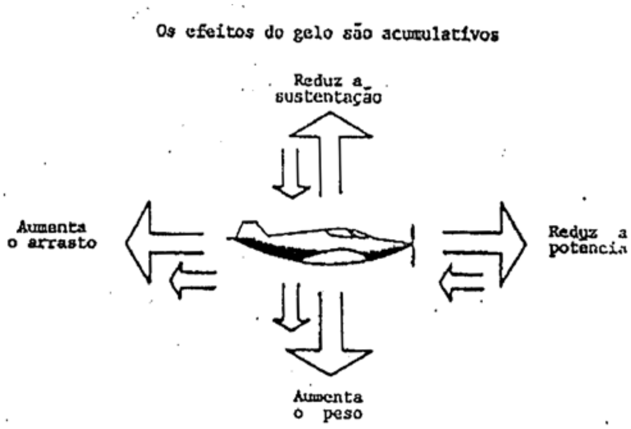


Figura 8-5 Efeitos da formação de gelo

Prevenção contra a formação de gelo

Vários meios de evitar ou controlar a formação de gelo são usados hoje em dia em aeronaves: (1) aquecimento das superfícies usando ar quente, (2) aquecimento por elementos elétricos, (3) remoção da formação de gelo, feito normalmente por câmaras infláveis (boots), e (4) álcool pulverizado.

Uma superfície pode ser protegida contra a formação de gelo mantendo a superfície seca pela aquecimentom, para uma temperaturq que evapore a água próxima à colisão com a superfície; ou pelo aquecimento da superfície, o suficiente para evitar o congelamento, mantendo-a constantemente seca; ou ainda sendo a superfície degelada, após permitir a formação do gelo e removê-lo em seguida.

Sistemas de eliminação ou prevenção contra o gelo, asseguram a segurança do vôo quando existir uma condição de congelamento. O gelo pode ser controlado na estrutura da aeronave pelos métodos apresentados na tabela 1.

LOCALIZAÇÃO DO GELO	MÉTODO DE CONTROLE
1. Bordos de ataque das asas	Penumático e térmico
2. Bordos de ataque dos estabilizadores vertical e horizontal.	Pneumático e térmico

3. Pára-brisas, janelas e cúpulas de radar.	Elétrico e álcool
4. Aquecedores e entradas de ar do motor.	Elétrico
5. Transmissor de aviso de stol	Elétrico
6. Tubos de pitot	Elétrico
7. Controles de vôo	Pneumático
8. Bordo de ataque das pás da hélice	Elétrico e ácool
9. Carburadores	Térmico e álcool
10. Drenos dos lavatórios	Elétrico

Tabela 1 – Sistemas de eliminação ou prevenção de gelo

Sistemas de cotrole do gelo do para-brisas

Com a finalidade de manter as áreas das janelas livres de gelo, geada, etc, são usados sistemas de antigelo. O sistema varia de acordo com o tipo de aeronave e do fabricante.

Alguns pára-brisas são fabricados com painéis duplos, havendo um espaço entre eles que permite a circulação de ar aquecido entre as superfícies, para controlar a formação de gelo e de névoa.

Outros utilizam limpadores mecânicos e fluido antigelo borrifado no pára-brisas.

Um dos mais comuns métodos para controlar a formação de gelo e névoa nas janelas das modernas aeronaves, é o uso de um elemento de aquecimento elétrico entre as lâminas do material da janela.

Quando esse método é usado em aeronaves pressurizadas, uma camada de vidro temperado dá resistência para suportar a pressurização. Uma camada de material condutor transparente (óxide stannic) é o elemento de aquecimento, e uma camada de plástico vinil transparente adiciona uma qualidade de não estilhaçamento à janela.

As placas de vinil e de vidro (Figura 8-6) estão coladas pela aplicação de pressão e calor. A união é obtida sem o uso de cimento devido a afinidade natural do vinil e do vidro. A camada condutiva dissipa a eletricidade estática do pára-brisas, além de fornecer o elemento de aquecimeno.

Em algumas aeronaves, interruptores termoelétricos, automaticamente ligam o sistema quando a temperatura do ar está baixa o suficiente para ocorrer formação de geada ou gelo. O sistema pode manter-se ligado durante todo o tempo em que se mantiver essa temperatura; ou em algumas aeronaves, ela pode operar com um dispositivo pulsativo de liga-desliga.

Interruptores térmicos de superaquecimento, automaticamente desligam o sistema no caso de uma condição de superaquecimento, a qual danificaria a transparência da área.

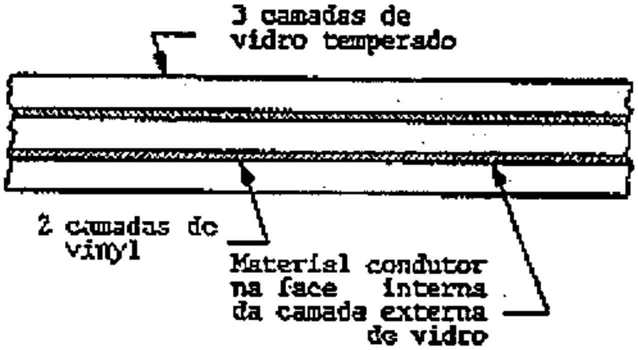

3 camadas de vidro temperado
2 camadas do vinyl
Material condutor na face interna da camada externa de vidro

Figura 8-6 Secção de um pára-brisas

Um sistema de aquecimento elétrico do pára-brisas inclui o seguinte:

1. Pará-brisas autotransformadores e relés de controle de aquecimento.
2. Interruptor de mola de controle de aquecimento.
3. Luzes de indicação.
4. Unidades de controle do pára-brisas.
5. Elementos sensores de temperatura (termistores) laminados no painel.

Um sistema típico é mostrado na Figura 8-7. O sistema recebe energia elétrica das barras de 115 volts C.A. através dos disjuntores (“*circuit breakers*”) de controle do aquecimento do pára-brisas, e quando o interruptor de controle for selecionado para “*Hihg*”, 115V. 400HZ C.A., são supridos para os amplificadores da esquerda e da direita na unidade de controle do pára-brisas. O relé de controle de aquecimento do pára-brisas é energizado, aplicando por este meio 200V. 400Hz C.A. para os autotransformadores de aquecimento do pára-brisas.

Esses autotransformadores fornecem 218V., C.A. para a barra coletora da corrente de aquecimento do pára-brisa através dos relés da unidade de controle.

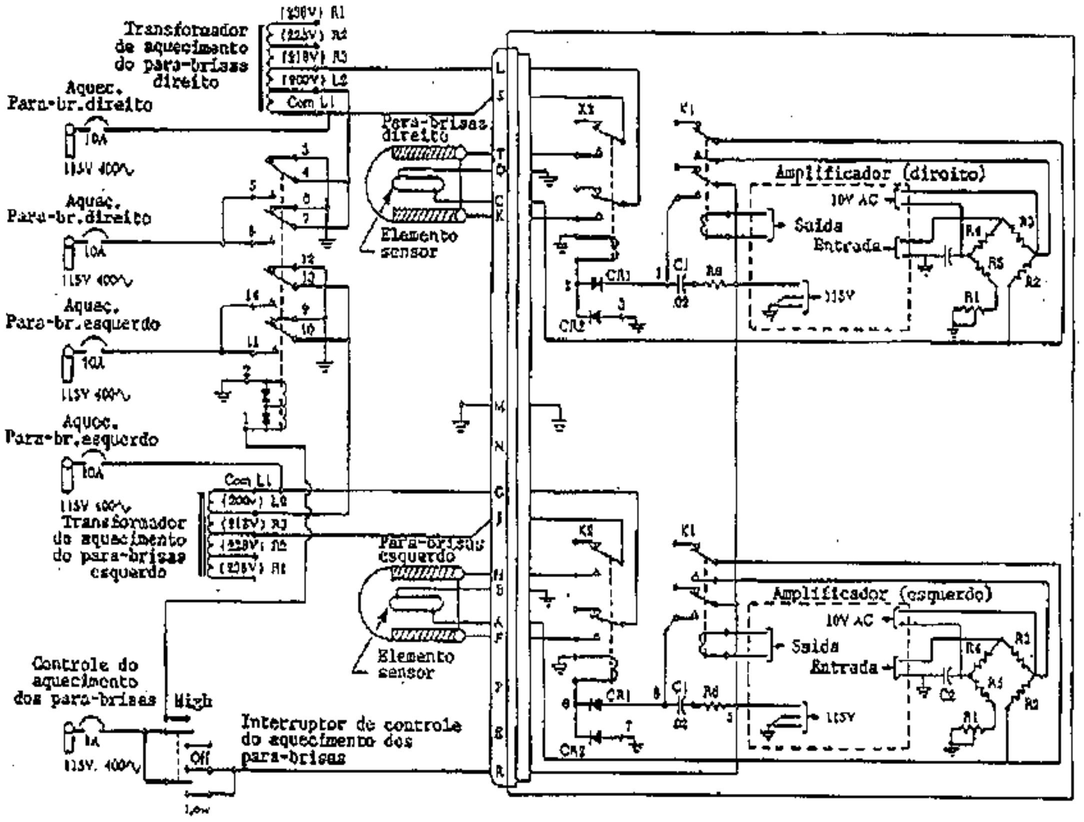

Transformador de aquecimento do para-brisas direito
Aquec. Para-br.direito
10A
115V 400∿
Aquec. Para-br.direito
Aquec. Para-br.esquerdo
Aquec. Para-br.esquerdo
Com L1
Transformador do aquecimento do para-brisas esquerdo
Para-brisas direito
Elemento sensor
Para-brisas esquerdo
Elemento sensor
Controle do aquecimento dos para-brisas
High
Off
Low
1A
Interruptor de controle do aquecimento dos para-brisas
Amplificador (direito)
Amplificador (esquerdo)
10V AC
Saída
Entrada
115V
K1
K2
CR1
CR2
C1
C2
R1
R2
R3
R4
R5

Figura 8-7 Circuito de controle da temperatura do pára-brisas

O elemento sensor em cada pára-brisas possui um resistor com o coeficiente térmico positivo, e forma uma das pernas de um circuito de ponte.

Quando a temperatura do pára-brisas estiver acima do valor calibrado, o elemento sensor terá um valor de resistência maior do que o necessário para equilibrar a ponte. Isto diminui o fluxo de corrente através dos amplificadores, e os relés da unidade de controle são desenergizados.

Quando a temperatura do pára-brisas diminui, o valor da resistência dos elementos sensores também diminui e a corrente, através dos amplificadores, atingirá novamente suficiente magnitude para operar os relés na unidade de controle, energizando então, os aquecedores do pára-brisas.

Quando o interruptor de controle do aquecimento do pára-brisas estiver selecionado para "Low", 115 volts, 400 Hz C.A. são supridos para os amplificadores esquerdo e direito na unidade de controle e para os auto-transformadores de aquecimento do pára-brisas. Nestas condições, os transformadores fornecem 121 V.C.A. para a barra coletora de corrente de aquecimento do pára-brisas através dos relés da unidade de controle. Os elementos sensores no pára-brisas operam da mesma maneira como foi descrito para a operação de grande aquecimento ("*High-heat*"), para manter um adequado controle de temperatura no pára-brisas.

A unidade de controle de temperatura contém dois relés hermeticamente selados, e dois amplificadores eletrônicos de três estágios, A unidade está calibrada para manter uma temperatura no pára-brisas de 40º a 49º C. (105º a 120º F. O elemento sensor em cada painel do pára-brisa possui um resistor com o coeficiente térmico positivo e forma uma das pernas de uma ponte que controla o fluxo da corrente nos amplificadores associados. O estágio final do amplificador controla o relé selado, o qual fornece corrente alternada para a barra coletora da corrente de aquecimento do pára-brisas.

Quando a temperatura do pára-brisas estiver acima do valor calibrado, o elemento sensor terá um valor de resistência maior do que o necessário para equilibrar a ponte. Isto diminui o fluxo de corrente através dos amplificadores, e os relés da unidade de controle são desenergizados. Quando a temperatura do pára-brisas diminui, o valor da resistência dos elementos sensores também diminui, e a corrente, através dos amplificadores, atinge suficiente magnitude para operar os relés na unidade de controle, energizando então o circuito.

Existem vários problemas associados com os aquecedores elétricos de pára-brisas. Eles incluem a delaminação, rachaduras centelhamento e descoloração.

A delaminação (separação dos painéis), embora indesejável, não é estruturalmente prejudicial, desde que esteja dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante da aeronave, e não esteja em uma área que afete as qualidades óticas do painel.

O centelhamento em um painel de pára-brisas, usualmente indica que houve uma quebra da película condutora.

Onde lascas ou diminutas rachaduras são formadas, na superfície dos painéis de vidro, simultâneas folgas na compressão da superfície e esforço de tensão no vidro altamente temperado, podem resultar em rachaduras nas bordas e ligeiras separações na película condutora. O centelhamento é produzido onde a corrente salta esta falha, particularmente onde essas rachaduras estão paralelas às barras da janela.

Onde há centelhamentos, eles estão invariavelmente a certa distância de um local superaquecido, o qual, dependendo da sua severidade e localização, pode causar posterior dano ao painel.

Centelhamento nas proximidades, de um elemento sensor de temperatura é um particular problema, pois ele pode prejudicar o sistema de controle do aquecimento.

Pára-brisas eletricamente aquecidos são transparentes para a transmissão direta da luz, mas eles têm uma cor distinta quando vistos pela luz refletida.

A cor varia do azul-claro ao amarelo, ou rosa claro, dependendo do fabricante do painel da janela.

Normalmente, a descoloração não é um problema, a menos que afete as qualidades óticas.

Rachaduras no pára-brisas são mais constantes no vidro externo onde os limpadores são indiretamente a causa desses problemas. Alguma areia presa na palheta do limpador, pode converter-se em um eficiente cortador de vidro quando em movimento.

A melhor solução contra arranhões no pára-brisas é a prevenção; limpar as palhetas do limpador de pára-brisas tão freqüentemente quanto possível. Incidentalmente os limpadores nunca deverão ser operados com o painel seco, porque isso aumenta as chances de danificar a superfície.

Se a visibilidade não estiver sendo afetada, arranhões ou cortes nos painéis de vidro são permitidos, dentro das limitações previstas nos apropriados manuais de serviço ou de manutenção. A tentativa de aumentar a visibilidade por meio de polimento nos cortes e arranhões não é recomendável. Isto é por causa da imprevisível natureza das concentrações de esforço residual, que o vidro temperado adquiriu durante a fabricação.

O vidro temperado é mais forte do que o vidro comum, devido ao esforço de compressão na superfície do vidro, o qual tem que ser superado antes que a falha possa ocorrer do esforço de tensão no seu interior. O polimento que remove uma apreciável camada da superfície pode destruir este equilíbrio do esforço interno, e pode até resultar em uma imediata falha do vidro.

A determinação da profundidade dos arranhões sempre tem causado algumas dificuldades. Um micrômetro ótico pode ser usado para esta finalidade. Ele é essencialmente um microscópio suportado por pequenas pernas, ao contrário do tipo familiar montado em uma base sólida. Quando focalizado em algum ponto, a distância focal da lente (distância da lente ao objeto) pode ser lida em uma escala micrométrica do instrumento.

A profundidade de um arranhão ou fissura no painel do pára-brisas, por exemplo, pode então ser determinada pela obtenção da distância focal para a superfície do vidro e para o fundo do arranhão ou fissura. A diferença entre essas duas leituras dará a profundidade do arranhão. O micrômetro ótico pode ser usado na superfície de painéis planos, convexos ou côncavos, estando eles instalados ou não na aeronave.

Sistemas de degelo do carburador e do pára-brisas

Um sistema de degelo a álcool é previsto em algumas aeronaves para remover o gelo do pára-brisas e do carburador.

A figura 8-8 ilustra um sistema típico de um bimotor, no qual três bombas de degelo (uma para cada carburador e uma para o pára-brisas) são usadas. O fluido, vindo do tanque de álcool, é controlado por uma válvula solenóide a qual é energizada quando alguma das bombas de álcool está ligada.

O fluxo de álcool da válvula solenóide é filtrado e dirigido para as bombas e daí distribuído através de um sistema de tubulações para os carburadores e pára-brisas.

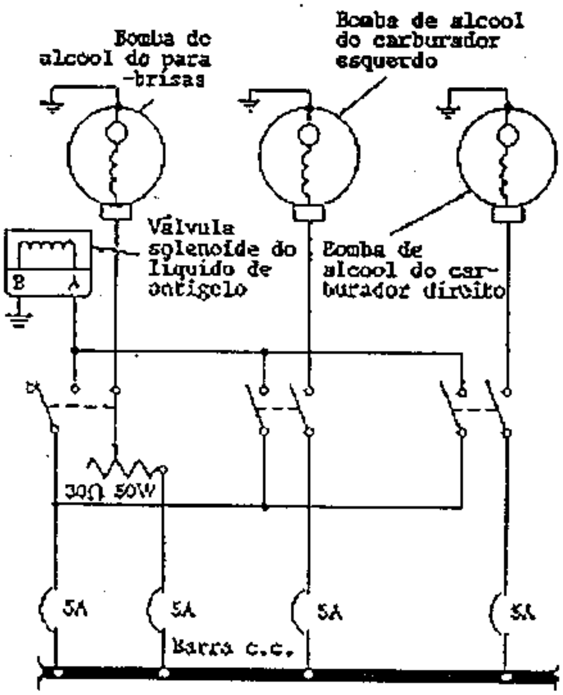

Bomba de alcool do para -brisas
Bomba de alcool do carburador esquerdo
Válvula solenoide do liquido de antigelo
Bomba de alcool do carburador direito
B
A
30Ω 50W
5A
5A
5A
5A
Barra c.c.

Figura 8-8 Sistema de degelo do carburados e do pára-brisas

Interruptores de mola controlam a operação das bombas de álcool para o carburador. Quando os interruptores são colocados na posição "*ON*", as bombas de álcool são ligadas e a válvula de corte, operada a solenóide, é aberta.

A operação da bomba de degelo do pára-brisas e da válvula de corte do álcool, operada a solenóide, são controladas por um interruptor tipo reostato, localizado na estação do piloto.

Quando o reostato, localizado na estação do piloto. Quando o reostato é movido para fora da posição "*OFF*", a válvula de corte é aberta, fazendo com que a bomba de álcool leve o fluido para o pára-brisas na razão selecionada pelo reostato. Quando o reostato é retornado para a posição "*OFF*", a válvula de corte fecha e a bomba interrompe a operação.

Antigelo do tubo pitot

Para evitar a formação de gelo sobre a abertura do tubo de pitot, está previsto um elemento de aquecimento elétrico embutido.

Um interruptor localizado na cabine, controla a energia para o aquecimento.

Precisamos de cautela para checar o tubo de pitot no solo, porque o aquecedor não deve ser operado por longos períodos, a menos que a aeronave esteja em vôo.

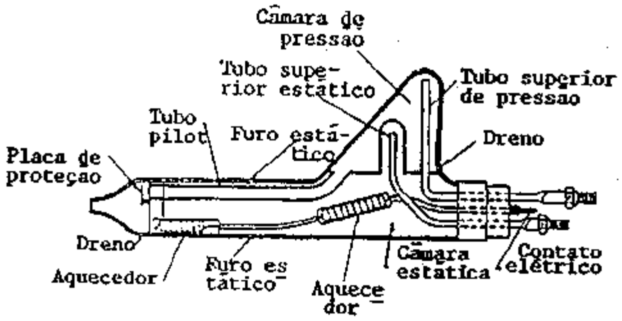

Câmara de pressao
Tubo superior estático
Tubo superior de pressao
Tubo pilot
Furo estático
Dreno
Placa de proteçao
Dreno
Aquecedor
Furo estático
Aquecedor
Câmara estatica
Contato elétrico

Figura 8-9 Cabeça do tubo de pitot

Os elementos de aquecimento deverão ser checados quanto ao funcionamento, para assegurar que a cabeça do pitot começa a aquecer, quando a energia elétrica é aplicada.

Se um ohmímetro (medidor de carga) for instalado no circuito, a operação do aquecedor pode ser verificada pela indicação de consumo de corrente quando o aquecedor for ligado.

AQUECEDORES DE DRENOS

Aquecedores estão previstos para as linhas de dreno do lavatório, linhas de água, mastros de dreno e drenos de água servida, quando estão localizados em uma área que está sujeita a temperaturas de congelamento em vôo.

Os tipos de aquecedores usados são: tubos aquecidos integralmente, tiras, forro, remendos aquecedores que envolvem as linhas e gaxetas aquecedores (ver na figura 8-10). Nos circuitos aquecedores estão previstos termostatos onde for indesejável excessivo aquecido ou para reduzir o consumo. Os aquecedores têm uma baixa voltagem de saída e uma operação contínua não causará superaquecimento.

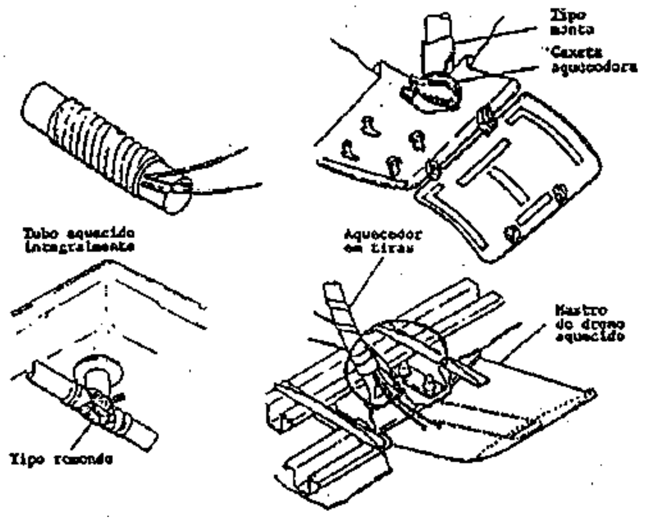


Figura 8-10 Aquecedores típicos de linhas de água e de drenos

PROTEÇÃO CONTRA FOGO

Em virtude do fogo ser uma das mais perigosas ameaças para uma aeronave, as zonas de fogo em potencial de todas as aeronaves multimotoras, atualmente produzidas, são garantidas por um sistema fixo de proteção de fogo. Uma "zona de fogo" é uma área ou região da aeronave, designada pelo fabricante, que requer detecção e/ou equipamento de extinção e um alto grau de essencial resistência ao fogo.

O termo "fixo" significa um sistema permanentemente instalado, em contraste com qualquer equipamento portátil de extintor de fogo como o de CO_2.

Um sistema completo de proteção contra fogo das modernas aeronaves, ou em muitos modelos antigos de aeronaves, inclui tanto um sistema de detecção como um de extinção de fogo.

Para detectar o fogo ou as condições de superaquecimento, equipamentos, são colocados nas várias zonas a serem monitoradas. O fogo é detectado nas aeronaves com motores convencionais, usando um ou mais dos seguintes itens:

(1) Detectores de superaquecimento
(2) Detectores de aumento da razão de temperatura
(3) Detectores de chama
(4) Observação pela tripulação

Somando-se a esses métodos, outros tipos de detectores são usados nos sistemas de proteção contra fogo em aeronaves, mas raras vezes são usados para detectar fogo nos motores.

Por exemplo, detectores de fumaça são mais apropriados para monitorar área como compartimentos de bagagens, onde os materiais queimam vagarosamente ou sem chama.

Outros tipos de detectores, nesta categoria incluem os detectores de monóxido de carbono e do equipamento de coleta química, capaz de detectar vapores de combustível que podem levar ao acúmulo de gases explosivos.

MÉTODOS DE DETECÇÃO

A lista a seguir apresenta métodos de detecção, incluindo aqueles mais usados em sistemas de proteção contra fogo de aeronaves com motores à turbina.

Um sistema completo de proteção contra fogo, da maioria das grandes aeronaves cm motor à turbina, incorporam vários destes métodos de detecção:

1. Detectores de aumento da razão de temperatura.
2. Detectores sensores de radiação.
3. Detectores de fumaça.
4. Detectores de superaquecimento
5. Detectores de monóxido de carbono
6. Detectores de vapores de combustível
7. Detectores de fibra ótica
8. Observação pela tripulação e/ou passageiros

Os três tipos de detectores mais usados para rápida detecção de fogo são os de razão de aumento de temperatura, sensores de radiação e detectores de superaquecimento.

Exigências de um sistema de detecção

Os sistemas de proteção contra fogo, das aeronaves produzidas atualmente, não confiam na observação pela tripulação como um método primário de detecção de fogo. Um sistema ideal de detecção de fogo deve incluir, tanto quanto possível, as seguintes características:

(1) Um sistema que não cause falsos alarmes sob qualquer condição de vôo.
(2) Rápida indicação de fogo e sua exata localização.
(3) Acurada indicação de que o fogo está extinto.
(4) Indicação de que o fogo foi reativado.
(5) Indicação contínua da duração do fogo.
(6) Possibilidade de testar eletricamente o sistema detector desde a cabine da aeronave.
(7) Detectores resistentes a danos causados por exposição ao óleo, água, vibração, temperaturas extremas e ao manuseio.
(8) Detectores que tenham pouco peso e sejam facilmente adaptáveis em qualquer posição de montagem.
(9) Detectores instalados em circuitos operados diretamente do sistema de força da aeronave sem inversores.
(10) Exigências mínimas de corrente elétrica quando não houver indicação de fogo.
(11) Cada sistema detector deverá acender uma lâmpada na cabine, indicando a localização do fogo e deverá ter um sistema de alarme sonoro.
(12) Um sistema detector separado para cada motor.

Existem diversos tipos de detectores ou dispositivos sensores disponíveis. Vários modelos antigos de aeronaves, ainda em operação, estão equipadas com algum tipo de interruptor térmico ou sistema de par térmico.

SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO

Um sistema de detecção deverá sinalizar a presença de fogo. As unidades do sistema são instaladas em locais onde são maiores as possibilidades de um incêndio. Três sistemas detectores de uso mais comum são o sistema de interruptor térmico, sistema de par térmico e o sistema detector de circuito contínuo.

Sistema de interruptor térmico

Um sistema de interruptor térmico consiste de uma ou mais lâmpadas energizadas pelo sistema de força da aeronave, e interruptores térmicos que controlam a operação da lâmpada (ou lâmpadas).

Esses interruptores térmicos são unidades sensíveis ao calor que completam os circuitos elétricos a uma determinada temperatura. Eles são conectados em paralelo um com outro, mas em série com as luzes indicadoras (figura 8-11).

Se um aumento de temperatura ultrapassar um determinado valor em qualquer seção do circuito, o interruptor térmico fechará completando o circuito da lâmpada indicadora de fogo ou da condição de superaquecimento.

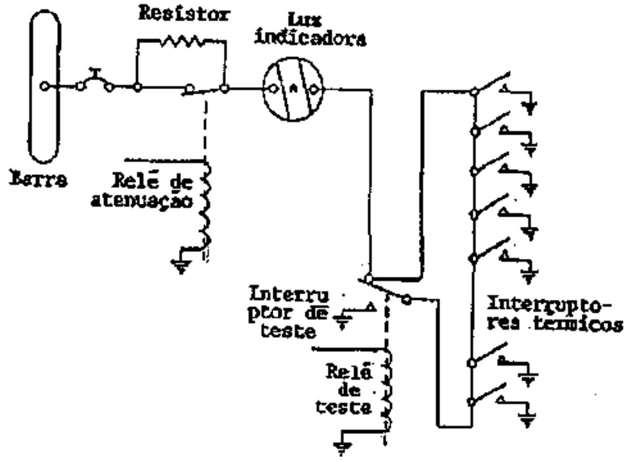


Figura 8-11 Circuito de interruptores térmicos

Não existe um número certo de interruptores térmicos em cada circuito. O número exato será determinado pelo fabricante. Em algumas instalações todos os detectores térmicos são conectados a uma única lâmpada; em outras podem ser encontrados um interruptor térmico para cada lâmpada indicadora.

Algumas luzes de alarme são do tipo “pressione para testar”. A lâmpada será testada quando for apertada, através de um circuito auxiliar de teste.

O circuito na figura 8-11 inclui um relé de teste e um de controle de brilho.

Com o contato do relé na posição mostrada, dois caminhos são possíveis para o fluxo da corrente dos interruptores para a lâmpada.

Este é um dispositivo adicional de segurança. Energizando o relé de teste, um circuito em série é completado checando toda a fiação e o filamento de todas as lâmpadas.

O circuito é alterado para incluir uma resistência em série com a lâmpada. Em algumas instalações vários circuitos são ligados através de relés de controle de brilho, e todas as luzes de emergência podem ser ofuscadas ao mesmo tempo.

O sistema de interruptor térmico usa um interruptor termostato bimetálico ou detector tipo "spot", do tipo mostrado na figura 8-12.

Cada unidade detectora consiste de um interruptor térmico bimetálico. A maioria dos detectores spot são interruptores térmicos de terminal duplo.

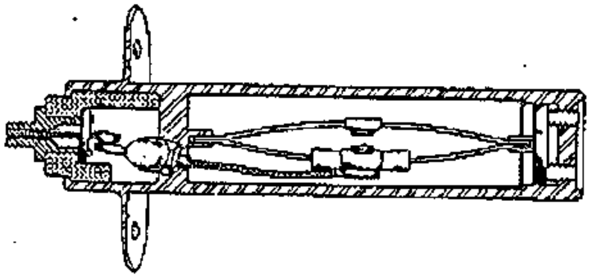


Figura 8-12 Detector "Fenwal" tipo "Spot"

Detectores *Fenwal spot*

Os detectores Fenwal Spot são ligados em paralelo entre dois circuitos completos da fiação, como é mostrado na figura 8-13. Assim, o sistema pode resistir a uma falha, que pode ser uma abertura no circuito elétrico ou um curto para a massa, sem indicar um falso alarme de fogo. Uma dupla falha pode existir antes que um falso alarme de fogo possa ocorrer.

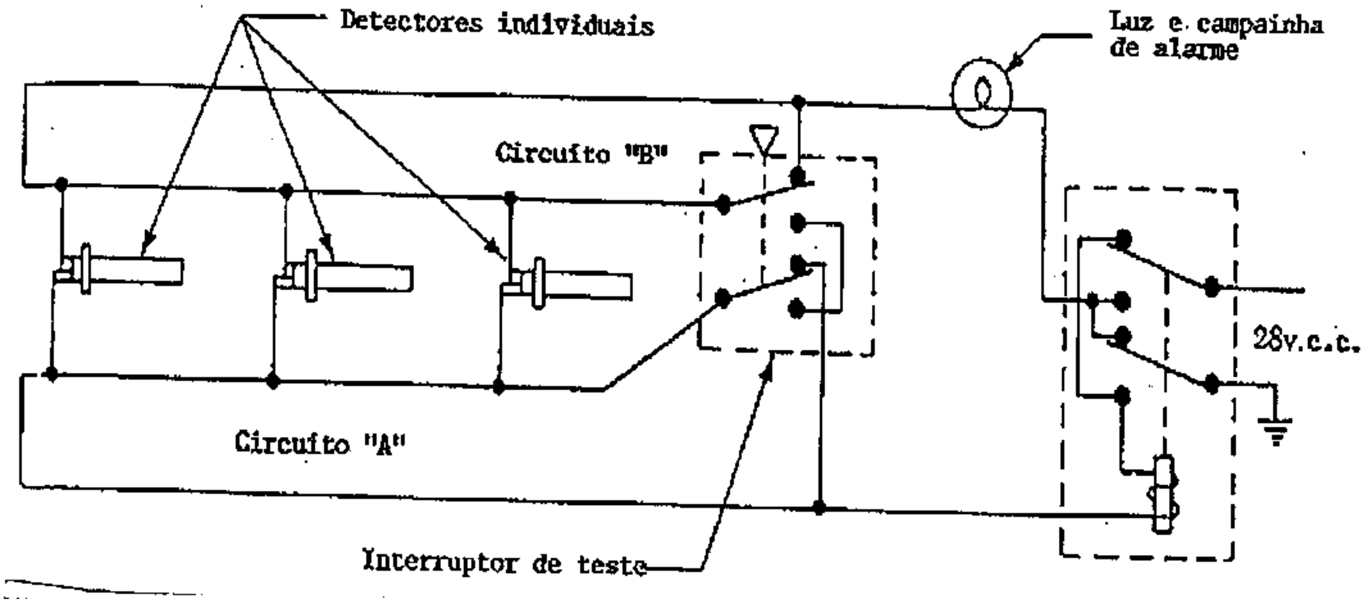


Figura 8-13 Circuito do sistema de detectores Fenwal Spot

No caso de uma condição de fogo ou de superaquecimento, o interruptor do detector Spot fecha, completando o circuito para soar um alarme. O sistema detector Fenwal Spot opera sem uma unidade de controle.

Quando uma condição de superaquecimetno ou de fogo causar o fechamento de um interruptor do detector, o alarme soará e uma lâmpada de aviso indicando a área afetada será acesa.

Sistema de par térmico

O Sistema de aviso de fogo, por par térmico, opera por um princípio completamente diferente do sistema de interruptores térmicos.

Um par térmico depende da razão de aumento da temperatura e não dará o alarme quando um motor superaquecer lentamente, ou quando ocorrer um curto-circuito.

O sistema consiste de uma caixa de relés, luzes de aviso e pares térmicos.

A fiação do sistema dessas unidades pode ser dividida entre os seguintes circuitos (figura 8-14: (1) circuito detector, (2) circuito de alarme e (3) circuito de teste.

A caixa de relés contém dois relés, o relé sensível e o relé escravo, e ainda a unidade de teste térmico.

Essa caixa pode conter de um a oito circuitos idênticos, dependendo do número de zonas potenciais e fogo. Os relés controlam as luzes de alarme, e os pares térmicos controlam a operação dos relés. O circuito consiste de vários pares térmicos em série uns com os outros e com o relé sensível. O par térmico é construído com dois metais diferentes que são o cromel e o constantam. O ponto de junção dos dois metais, que será exposto ao calor, é chamado de junção quente. Há também uma junção de referência incluída no espaço entre os dois blocos isolantes. Um invólucro de metal protege mecânicamente o par térmico, sem interferir no movimento livre do ar na junção quente.

Se a temperatura subir rapidamente, o par térmico produzirá uma voltagem por causa da diferença de temperatura entre a junção de referência e a junção quente.

Se ambas as junções forem aquecidas ao mesmo tempo, nenhuma voltagem será produzida.

Porém, se houver fogo, a junção quente aquecerá mais rapidamente do que a junção de referência. A voltagem resultante causará um fluxo de corrente no circuito detector.

Quando a corrente for maior do que quatro miliampères (0,004 ampères) o relé sensível fechará. Isto completará o circuito do sistema de força da aeronave para a bobina do relé escravo, o qual fechando, completará o circuito para a lâmpada de alarme de fogo.

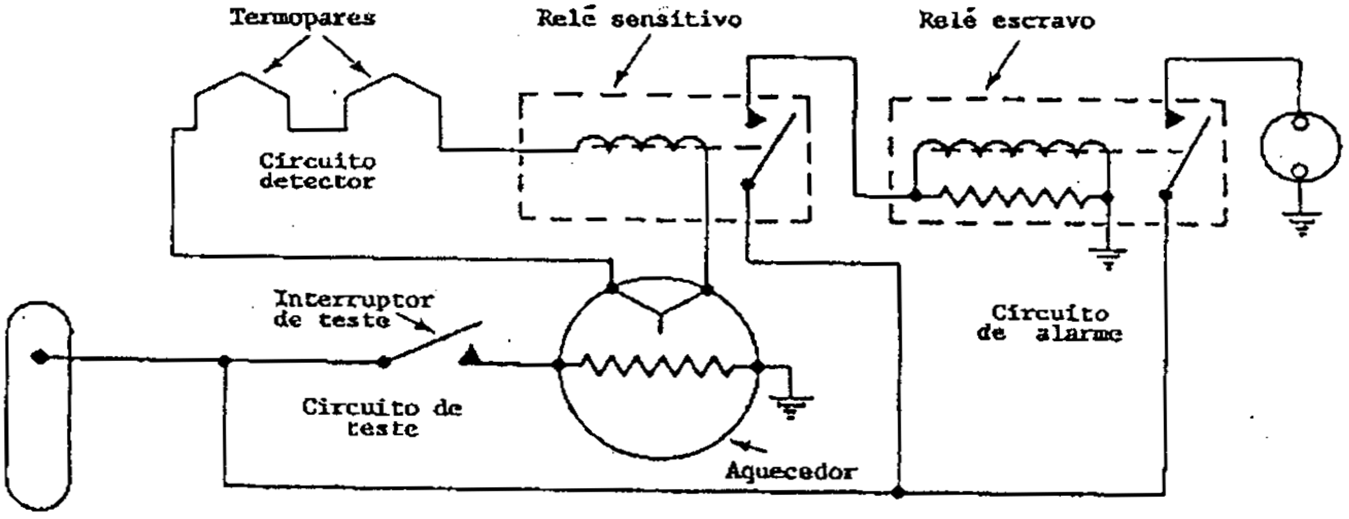


Figura 8-14 Circuito de sistema de aviso de fogo do tipo “termopar”

O número total de pares térmicos, usados em um circuito detector, depende das dimensões das zonas de fogo e da resistência total do circuito.

A resistência total não deve exceder 5 ohms.

Como foi mostrado na figura 8-13, o circuito tem dois resistores. O resistor conectado através dos terminais do relé escravo absorve a voltagem auto-induzida da bobina, para evitar a formação de arco entre os pontos do relé sensível. Os contatos do relé sensível são tão frágeis que, se queimariam ou soldariam, se fosse permitida a formação de um arco.

Quando o relé sensível abre, o circuito para o relé escravo é interrompido, e o campo magnético em torno de sua bobina é encerrado. Quando isto acontece, a bobina recebe uma voltagem através da auto-indução, mas com o resistor através dos terminais da bobina é aberto um caminho para algum fluxo de corrente, como resultado desta voltagem.

Então o arco nos contactos do relé sensível é eliminado.

Sistema detector de circuito contínuo

Um sistema detector contínuo ou sistema sensor permite a cobertura mais eficiente de uma área de perigo de fogo, do que qualquer um dos detectores de temperatura do tipo spot.

Os sistemas cotínuos são uma versão do sistema de interruptores térmicos; eles são sistemas de superaquecimento, unidades sensíveis ao calor, que completam o circuito elétrico a uma determinada temperatura.

Os dois tipos de detectores usados nos sistemas sensores contínuos são os sistemas Kidde e o Fenwal.

No sistema contínuo Kidde (figura 8-15), dois fios são envolvidos com uma camada de cerâmica especial, formando o núcleo de um tubo de Inconel.

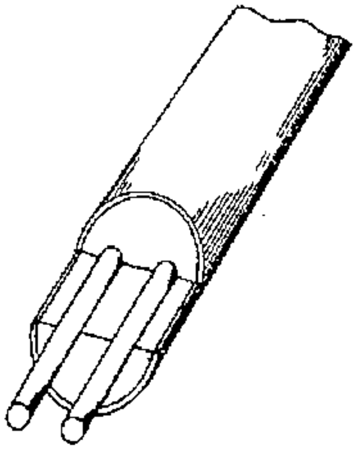


Figura 8-15 Elemento sensor “Kidde”

Um dos fios no sistema sensor Kidde é soldado nos terminais do tubo envolvente, atuando como “massa” interna.

O outro fio é um condutor (acima do potencial terrestre) que permite um sinal de corrente, quando a cobertura de cerâmcia dos fios altera a sua resistência com a mudança da temperatura.

Outro sistema contínuo, o Fenwal (figrua 8-16), usa um fio simples envolvido em uma camada de cerâmica, dentro de um tubo de Inconel. A camada de cerâmica do detector Fenwal está embebida com um sal eutético, o qual possui características de reduzir rapidamente sua resistência elétrica quando o elemento sensor atingir a sua temperatura de alarme.

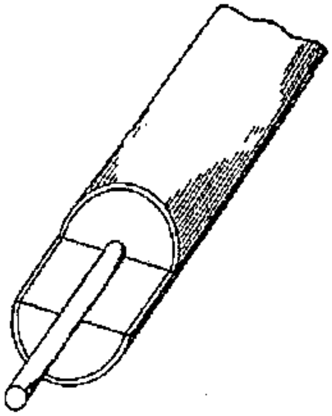


Figura 8-16 Elemento sensor “Fenwal”

Em ambos os sistemas, no Kidde e no Fenwal, a resistência da cerâmica ou do sal eutético evita o fluxo da corrente elétrica enquanto for normal a temperatura.

No caso de uma condição de fogo ou superaquecimento, a resistência do núcleo diminui, e o fluxo da corrente flui entre o fio condutor do sinal e a “massa, energizando o sistema de alarme.

Os elementos sensores do sistema Kidde são conectados a um relé da unidade de controle. Essa unidade constantemente mede a resistência total de todo o sensor. O sistema sente a temperatura média, tão bem como qualquer ponto simples isolado.

O sistema Fenwal usa um amplificador magnético como unidade de controle. Esse sistema não é proporcional, mas soará um alarme quando qualquer porção de seu elemento sensor atingir a temperatura de alarme.

Ambos os sistemas continuamente monitoram as temperaturas nos compartimentos dos motores e, ambos, automaticamente, são rearmados, logo que a condição de superaquecimento for removida ou o fogo extingüido.

Sistema de elementos contínuos

O sistema Lindberg de detecção de fogo (figura 8 -17) é um detector do tipo elemento contínuo, que consiste de um tubo de aço inoxidável contendo um elemento discreto. Esse elemento foi processando para absorver gás em proporção ao ponto selecionado da temperatura de operação.

Quando a temperatura aumenta (devido ao fogo ou superaquecimento) para o ponto selecionado de temperatura de operação, o calor gerado causa a liberação do gás do elemento. Essa liberação do gás causa o aumento da pressão no tubo de aço inoxidável, que por sinal, atua mecanicamente o interruptor do diafragma na unidade de resposta, ativando a luz de aviso e soando o alarme.

Um interruptor de teste de fogo é usado para aquecer os sensores, expandido o gás. A pressão gerada fecha o interruptor diafragma, ativando o sistema de alarme.

Um interruptor de teste de fogo é usado para aquecer os sensores, expandido o gás. A pressão gerada fecha o interruptor diafragma, ativando o sistema de alarme.

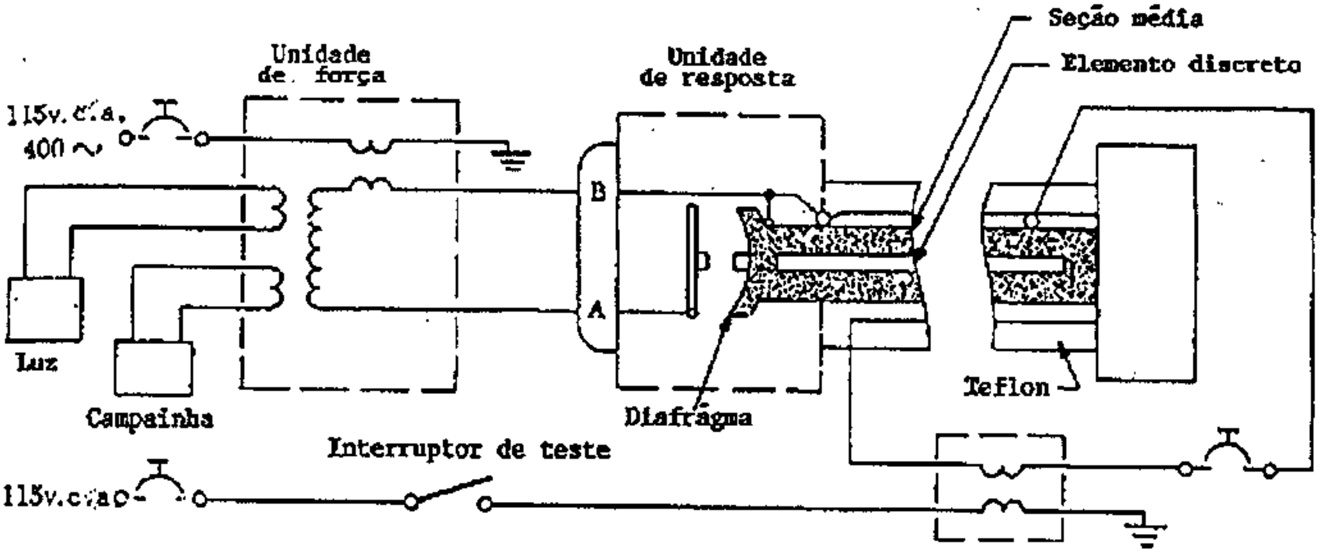


Figura 8-17 Sistema detector de fogo "Lindberg"

SISTEMAS DE AVISO DE SUPERAQUECIMENTO

Os sistemas de aviso de superaquecimento são usados em algumas aeronaves para indicar as áreas de alta temperatura, que podem ser focos de incêndios

O número de sistemas de aviso de superaquecimento varia com o tipo de aeronave. Em algumas aeronaves, eles são previstos, para cada motor a reação e cada nacele de motor; em outras, são previstas para a área de alojamento das rodas e para a linha de pressão do sistema pneumático.

Quando uma condição de superaquecimento ocorrer na área de um detector, o sistema ocasiona o acendimento da luz de aviso no painel de controle de fogo.

Na maioria dos sistemas o detector é do tipo interruptor térmico. Cada detector é operado quando o calor atinge uma temperatura especificada. Essa temperatura depende do sistema e do tipo e modelo da aeronave.

Os contatos do interruptor do detector estão suportados por molas, as quais fecham os contatos quando o calor expande a base de apoio. Um contato de cada detector está ligado à "massa" através da braçadeira de montagem. Os outros contatos de todos de detectores estão ligados em paralelo para fechar o circuito das lâmpadas de aviso.

Sendo assim, o fechamento dos contatos de qualquer um dos detectores pode causar o acendimento da luz de aviso.

Quando os contatos do detector são fechados o circuito para a luz de aviso é completado. A corrente, então, é fornecida de uma barra do sistema elétrico através da lâmpada de aviso e de um lampejador para a massa. Devido ao lampejador no circuito, as luzes piscarão indicando uma condição de superaquecimento.

TIPOS DE FOGO

A Associação Nacional de Proteção Contra Fogo classifica o fogo em três tipos básicos:

a. **Classe A** – é definida como um fogo em materiais combustíveis ordinários como madeira, pano, papel, estofados etc.
b. **Classe B** – é definida como fogo em produtos inflamáveis de petróleo ou líquidos combustíveis, graxas, solventes, tintas etc.
c. **Classe C** – é definida como fogo envolvendo equipamento elétrico energizado, onde a não-condutividade do meio de extinção tem importância. Na maioria dos casos onde o equipamento elétrico está desenergizado, o extintor adequado para uso nos fogos de classe A ou B podem ser empregados efetivamente.

Fogo em aeronaves, em vôo ou no solo, podem ser extintos por qualquer um, ou por todos esses tipos de extintores. Portanto, sistemas de detecção, sistemas de extinção e agentes extintores, como aplicados para cada tipo de fogo, devem ser considerados.

Cada tipo de fogo tem características que requerem manuseios especiais. Agentes usados em fogo de classe A não são aceitáveis em fogo das Classes B ou C. Agentes adequados ao fogo de classes B ou C terão o mesmo efeito em fogo de classe A, mas não mais eficientes.

SISTEMAS DETECTORES DE FUMAÇA

Um sistema de detecção de fumaça monitora os compartimentos de carga e de bagagem quanto a presença de fumaça, a qual é uma indicação de uma condição de fogo.

Os instrumentos de detecção de fumaça, os quais coletam o ar por amostragem, estão montados nos compartimentos em locais estratégicos.

Um sistema de detecção de fumaça é usado onde for esperado um tipo de incêndio gerador de uma substancial quantidade de fumaça, antes que a mudaça de temperatura seja suficiente para atuar o sistema detector de calor.

Os instrumentos de detecção de fumaça são classificados pelo método de detecção, como demonstrado a seguir: Tipo I – Medição do gás de monóxido de carbono (detectores de CO), Tipo II – Medição da capacidade de transmissão da luz pelo ar (mecanismos fotoelétricos), Tipo III – Detecção visual da presença de fumaça pela simples visão direta (mecanismos visuais).

Para ser digno de confiança, os detectores de fumaça não devem ser obstruídos.

Detectores de monóxido de carbono

Os detectores de CO, os quais detectam as concentrações do gás monóxido de carbono, raramente são utilizados para monitorar os compartimentos de carga ou de bagagem. No entanto, eles têm o uso difundido em conduzir testes para detectar a presença do gás monóxido de carbono nas cabines das aeronaves.

O monóxido de carbono é incolor, inodoro, não tem gosto, nem é um gás irritante. Ele é o subproduto da combustão incompleta, e é encontrado em uma variedade de níveis em todos os tipos de fumaça da combustão de substâncias carbonáceas.

Mesmo quantidades excessivamente pequenas de gás são perigosas. Uma concentração de 0,02% (2 partes em 10.000) podem produzir dores de cabeça, sonolência e vertigem, dentro de poucas horas.

Existem diversos tipos de testes portáteis (cheiradores) em uso. Um tipo possui um tubo indicador substituível, o qual contém "silicagel" amarelo impregnado com um composto "silico-molybdate" e é catalizado usando sulfato de paládio.

Quando em uso, uma amostra do ar é sugada através do tubo detector. Quando a amostra do ar contém monóxido de carbono, o silica gel amarelo muda para um tom de verde. A intensidade da cor verde é proporcinal à concentração do monóxido de carbono da amostra de ar, na hora e na localização do teste.

Um outro tipo de indicador pode ser usado como um distintivo ou instalado no painel de instrumentos, ou ainda na parede de cabine. Ele é um distintivo usando um tablete que muda da cor bronzeada para uma outra progressivamente mais escura ou de cinza para preto.

O tempo de transição necessário é relativo à concentração do CO.

Em uma concentração de 50ppm de CO (0,005%), a indicação será visível dentro de 15 a 30 minutos. Uma concentração de 100ppm de CO (0,01%) mudará a cor do tablete de bronzeado para cinza de 2 a 5 minutos, e de bronzeado para cinza escuro de 15 a 20 minutos.

Detectores fotoelétricos de fumaça

Este tipo de detector consiste de uma célula fotoelétrica, uma lâmpada sinalizadora, uma lâmpada de teste, e um interceptor de luz ("light trap"), todos montados em um labirinto.

Uma acumulação de 10% de fumaça no ar faz com que a célula fotoelétrica conduza corrente elétrica.

A figura 8-18 mostra os detalhes de um detector, e indica como as partículas de fumaça refratam a luz para a célula fotoelétrica.

Quando ativado pela fumaça, o detector supre um sinal para o amplificador. O sinal amplificado ativa uma luz de aviso e um alarme sonoro.

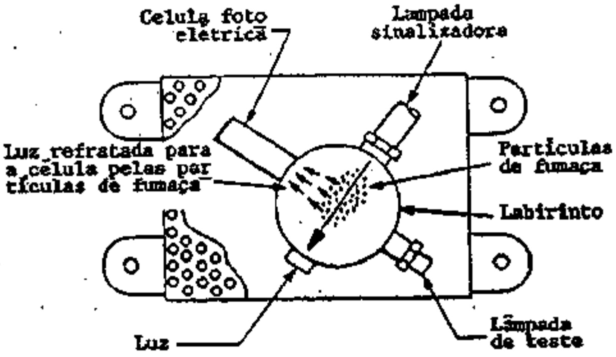

Celula foto elétrica
Lampada sinalizadora
Luz refratada para a célula pelas par tículas de fumaça
Partículas de fumaça
Labirinto
Luz
Lâmpada de teste

Figura 8-18 Detector dse fumaça fotoelétrico

Um interruptor de teste (figura 8-19) permite checar a operação do detector de fumaça. Ligando o interruptor, 28 volts C.C. são enviados ao relé de teste.

Quando o relé é energizado, a voltagem é aplicada através da lâmpada sinalizadora e da lâmpada de teste, em série, para a massa.

Uma indicação de fogo será observada somente se, as lâmpadas de teste e a sinalizadora, a célula fotoelétrica, o amplificador do detector de fumaça e os circuitos associados estiverem em operação.

Uma checagem funcional do detector deverá ser feita após a instalação e em frequentes intervalos subsequentes.

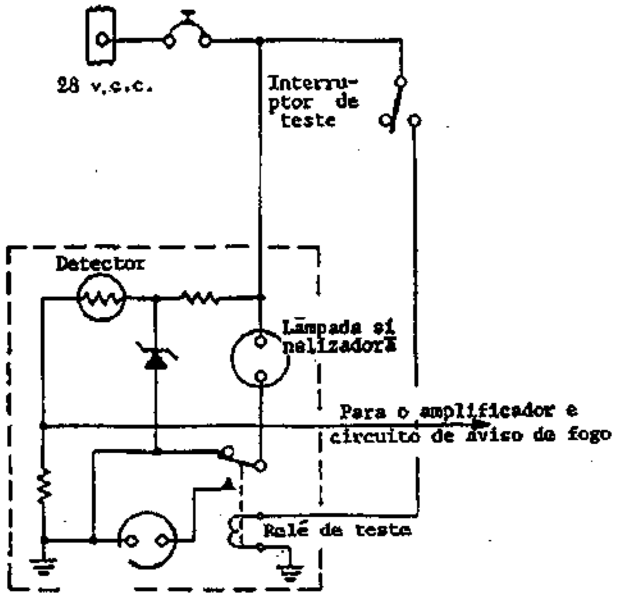

28 v.c.c.
Interru-ptor de teste
Detector
Lâmpada si nalizadora
Para o amplificador e circuito de aviso de fogo
Relé de teste

Figura 8-19 Circuito do teste detector de fumaça

Detectores visuais de fumaça

Em um pequeno número de aeronaves, os detectores visuais de fumaça são o único meio de detenção.

A indicacão é fornecida pela passagem da fumaça através de uma linha para dentro do indicador, usando, ou uma adequada fonte de sucção, ou a pressurização da cabine.

Quando a fumaça está presente, uma lâmpada dentro do indicador é iluminada automaticamente pelo detector de fumaça.

A luz é difusa para que a fumaça se torne visível na apropriada janela do indicador.

Se não existir fumaça, a lâmpada não será iluminada.

Um interruptor está previsto para iluminar a lâmpada para a finalidade de teste. Um mecanismo também está instalado no indicador, para mostrar que o necessário fluxo de ar está passando através do indicador. A eficiência de qualquer sistema de detecção depende do posicionamento e do condicionamento de todos os componentes do sistema.

A informação precendente tem a intenção de fornecer a familiarização com os vários sistemas. Para maiores detalhes de uma particular instalaçao, os adequados manuais da aeronave devem ser consultados.

A concentração máxima permitida sob as Leis Federais, para contínua exposição, é de 50ppm (partes por milhão) que é igual a 0,005% de monóxido de carbono.

PARTES POR MILHÃO	PERCEN-TAGEM	REAÇÃO
50	0,005%	Concentração máxima permissível sob Lei Federal.
100	0,01%	Cansaço, vetigem
200	0,02%	Dor de cabeça, cansaço, vertigem, náuseas após 2 ou 3 horas
800	0,08%	Inconsciência em 1 hora ou morte em 2 ou 3 horas
2.000	0,20%	Morte após1 hora
3.000	0,30%	Morte dentro de 30 minutos
10.000	1,00%	Morte instantânea

Figura 8-20 Reações humanas ao envenenamento com monóxido de carbono

SISTEMAS EXTINTORES DE FOGO DE CO_2 DOS MOTORES CONVENCIONAIS

O CO_2 é um dos mais antigos tipos de sistemas extintores de fogo dos motores convencionais das aeronaves de transporte, sendo ainda usado em muitas aeronaves antigas.

O sistema exitintor de fogo é projetado em torno de uma garrafa de CO_2 (figura 8-21) e uma válvula de controle remoto operada da cabine. A garrafa armazena o dióxido de carbono abafador de chama, sob a pressão requerida para distribuir o agente extintor para o motor.

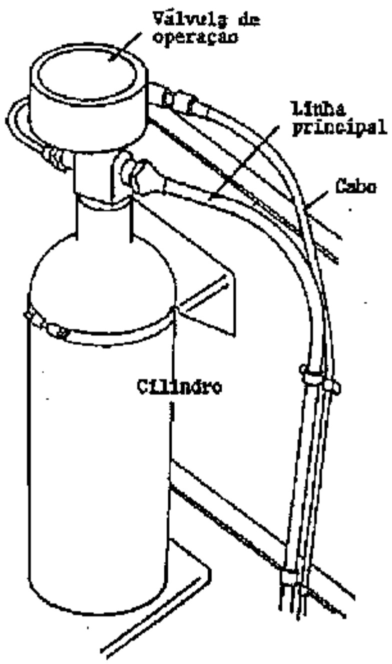


Figura 8-21 Instalação de garrafa de dióxido de carbono (CO^2)

O gás é distribuído através de tubulações da válvula da garrafa CO_2 para o conjunto de controle da válvula na cabine, e enão para os motores por tubulações, instaladas na fuselagem e túneis da asa. A tubulação terminal, em forma de círculo, é toda perfurada envolvendo os motores (figura 9-9).

Para operar o sistema de extinção de fogo de CO_2, a válvula seletora deve ser comandadas para o motor que contenha fogo. Um puxão no punho em "T" de controle, localizado próximo a válvula seletora, do motor atua a haste de alívio da válvula de garrafa de CO_2.

O líquido comprimido na garrafa de CO_2 flui em uma rápida descarga para as saídas da linha de distribuição (figura 8-22) do motor afetado.

O contato com o ar converte o líquido em gás e em "neve", a qual abafa a chama.

Um dos mais sofisticados tipos de sistema de proteção contra fogo de CO_2 é usado em muitas aeronaves de quatro motores. Este sistema é capaz de liberar CO_2 duas vezes para cada um dos quatro motores.

Sistemas de aviso de fogo são instalados em todas as localizações perigosas da aeronave, para fornecer um alarme em caso de fogo. Os vários sistemas de alarme operam luzes de aviso no painel de controle de fogo na cabine, energizando, também, um alarme sonoro na cabine.

Um sistema típico de CO_2 consiste de seis garrafas, montadas três de cada lado do alojamento da roda do nariz. Válvulas de enchimento são instaladas em cada garrafa de CO_2. As garrafas de cada fileira são interconectadas. As válvulas de duas garrafas traseiras, de cada conjunto de três, são projetadas para serem abertas mecanicamente por um cabo, conectado ao punho de controle de descarga no painel principal de controle de fogo na cabine.

Em caso de descarga pelos meios mecânicos, a válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo é operada pela pressão de CO_2, aliviada das duas garrafas traseiras através da linha de interconexão. A válvula de enchimento da garrafa dianteira de cada grupo contém um solenóide.

A válvula é projeta para ser operada eletricamente, quando o solenóide for energizado pela atuação de um botão no painel de controle.

No caso de uma descarga pelos meios elétricos, as válvulas das duas garrafas traseiras de cada grupo são operadas pela pressão de CO_2, aliviada da garrafa dianteira através da linha de interconexão.

Cada grupo de garrafas de CO_2 tem um disco vermelho, indicador de descarga térmica de segurança, que será rompido quando a pressão atingir ou ultrapassar 2.650p.s.i. A descarga ocorrerá também em temperaturas acima de 74º C.

Cada conjunto de garrafas também tem um disco amarelo indicador da descarga do sistema. Montado ao lado do disco vermelho, o disco amarelo indica qual grupo de garrafas foi esvaziado por uma descarga normal.

Este tipo de sistema de proteção contra fogo de CO2 inclui um sistema de alarme de fogo. Ele é um sensor contínuo, de baixa impedância, e do tipo de religação automática para o motor e áreas da nacele do motor.

Um único circuito detector de fogo é previsto para cada motor e área de nacele.

Cada circuito completo consiste de uma unidade de controle, elementos sensores, um relé de teste, uma luz de aviso de fogo e um relé do circuito de aviso de fogo.

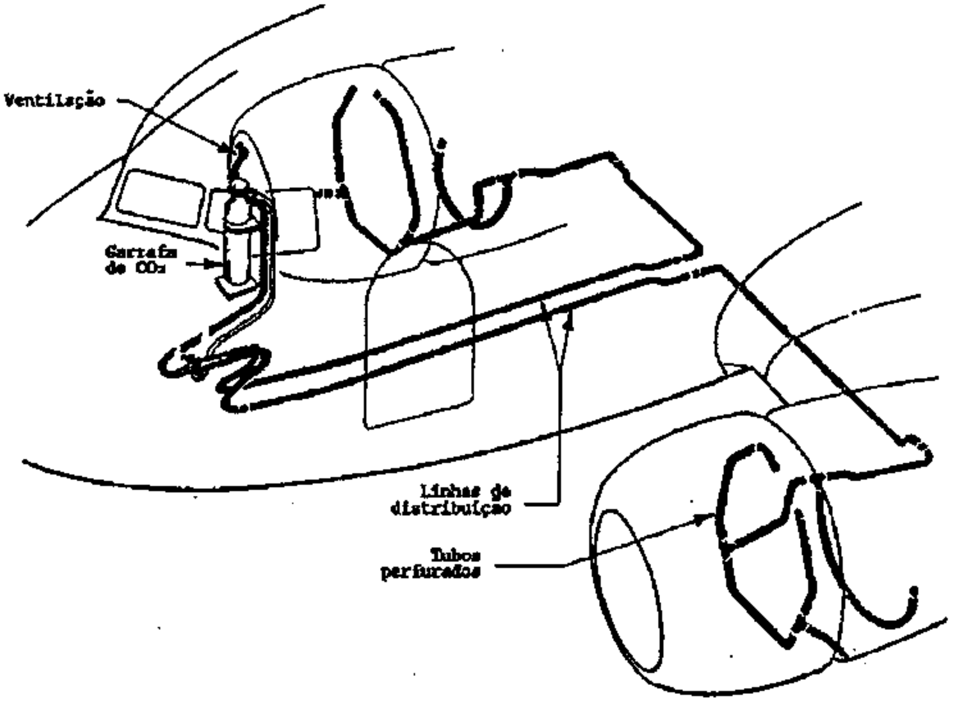


Figura 8-22 Sistema extintor de fogo de CO^2 em uma aeronave bimotora de transporte

Equipamentos associados, como conjunto de conectores flexíveis, fios passadores de borracha, braçadeiras e presilhas de montagem, são usados em várias quantidades, dependendo das necessidades individuais da instalação.

Por exemplo, em uma aeronave de quatro motores, quatro conjuntos de luzes de alarme, sendo uma para cada motor e área da nacele, darão a correspondente indicação de aviso quando um alarme for iniciado pelo respectivo circuito de aviso de fogo do motor.

Conjunto de luzes de alarme nos punhos de comando manual de CO_2 são conectados para todos os quatro circuitos detectores de fogo do motor, em conjunto com um alarme sonoro de fogo com os seus interruptores de corte protegidos e luzes de indicação.

O fio isolado do circuito detector é encaminhado da unidade de controle no compartimento de rádio para o relé de teste. O fio é então dirigido através da nacele e seções do motor, retornando para o relé de teste, onde ele será unido a sua outra extremidade formando um circuito contínuo.

Cada unidade de controle contém transistores, transformadores, resistores, capacitores e um potenciômetro.

Ele também contém um circuito integrado, o qual introduz um retardo, que dessensibiliza o sistema de aviso para um sinal transitório de curta duração – que de outra forma causaria falsos alarmes momentâneos.

Quando uma condição de fogo ou superaquecimento existir em um motor ou área da nacele, a resistência do sensor diminuirá, abaixo de um valor determinado pelo potenciômetro da unidade de controle, o qual está em um circuito de referência do circuito detector e amplificador da unidade de controle.

A saída deste circuito energiza o alarme sonoro de aviso de fogo e a luz de aviso de fogo.

SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE FOGO DOS MOTORES A TURBINA

Diversas falhas ou danos em geral podem resultar em condições de superaquecimento ou de fogo, peculiares às aeronaves com motor a turbina por causa de suas características de operação. Os dois principais tipos de falhas de turbina podem ser classificados como termodinâmicos ou como mecânicos. As causas termodinâmicas são aquelas que alteram a proporção do ar de refrigeração da temperatura da combustão, para os níveis em que os metais da turbina podem tolerar.

Quando o ciclo de refrigeração é alterado, as palhetas da turbina podem ser derretidas, causando uma súbita perda de empuxo. A rápida formação de gelo na tela da entrada de ar ou na entrada das atletas guias podem resultar em severo superaquecimento, causando o derretimento das palhetas da turbina, sendo arrancadas e arremessadas para fora do motor.

Falhas semelhantes podem causar a separação do cone traseiro; e possível penetração de estilhaços na estrutura da aeronave, tanques ou equipamentos próximos a roda da turbina. Em geral, a maioria das falhas termodinâmicas são causadas pelo gelo, excesso de sangria de ar ou vazamento, ou falha dos controles que permitam o estol do compressor ou excesso de combustível.

Falhas mecânicas, como quebra da palheta da turbina ou palheta arrancada, podem também levar a uma condição de superaquecimento ou fogo.

Estilhaços das palhetas podem perfurar o cone traseiro, criando uma condição de superaquecimento. A falha dos estágios dianteiros de uma turbina de muitos estágios normalmente é muito mais severa. A penetração no alojamento da turbina pelos estilhaços de uma palheta danificada é um possível perigo de fogo, do mesmo modo que a penetração nas linhas e nos componentes que contenham fluidos inflamáveis.

Uma alto fluxo de combustível, através de um bico injetor mal calibrado, pode causar a queima através do cone de escapamento em alguns motores. O fogo no motor pode também ser causado pela queima de fluido que, ocasionalmente, escorra através do tubo de escapamento.

Zona de fogo dos motores a turbina

Em virtude das instalações de um motor a turbina terem diferenças marcantes das instalações de um motor convencional, os sistemas de zonas de fogo usados para a maioria dos motores convencionais, não poderão ser usados.

Uma possível zona de fogo em uma instalação de motor a turbina é qualquer área, na qual possa existir uma fonte de ignição, junto com combustíveis, vazamentos de linhas de fluido combustível, ou vapores de combustível. Os seguintes compartimentos do motor usualmente são protegidos:

1. Seção de força do motor, incluindo os queimadores, turbina e escapamento.
2. Compressor do motor e seção de acessórios, estando incluídos o compressor e todos os acessórios do motor.
3. O compartimento do motor por inteiro, quando não existir isolamento entre a seção de força do motor e a seção de acessórios.

Agentes de extinção de fogo dos motores a turbina

Os agentes de extinção de fogo usados nos motores convencionais são, também, usados nos sistemas de proteção de fogo dos motores a turbina.

A eficiência dos vários agentes é influenciada pelo tipo de sistema de proteção de fogo no motor a ser utilizado, se ele for um sistema HRD (alta razão de descarga) melhor do que um sistema convencional, ou se for o método de distribuição por bico pulverizador, anel de esguicho ou tubo com extremidade aberta.

A escolha do agente é também influenciada pelas condições do fluxo de ar através do motor.

Tipos de detectores de fogo ou superaquecimento

A seguinte relação de métodos de detecção inclui aqueles mais usados em sistemas de proteção de fogo em motores a turbina.

O sistema completo de proteção contra fogo de uma aeronave, com os maiores motores a turbina, terá alguns destes diferentes métodos de detecção incorporados:

1. Detectores de razão de aumento da temperatura.
2. Detectores sensíveis a radiação.
3. Detectores de fumaça.
4. Detectores de superaquecimento.
5. Detectores de monóxido de carbono.
6. Detectores de vapores de combustível.
7. Detectores de fibra ótica.
8. Observação da tripulação e/ou passageiros.

Os três tipos de detectores mais usados para uma rápida detecção de fogo são o razão de aumento da temperatura, sensor de radiação e os detectores de superaquecimento.

Proteção de fogo no solo dos motores a turbina

O problema de fogo no solo tornou-se mais grave com o aumento do tamanho das aeronaves de motor a turbina. Por esta razão, uma conexão central de solo, para o sistema de extinção de fogo, tem sido instalada em algumas aeronaves. Estes sistemas fornecem um meio eficiente de extinção de fogo no solo, e eliminam a necessidade de remoção e de reabastecimento das garrafas de extinção de fogo instaladas na aeronave.

Estes sistemas usualmente incluem meios de operação do sistema inteiro, de um local como a cabine, ou da localizaçao do suprimento do agente extintor, no solo.

Nas aeronaves não equipadas com a conexão central de solo para o sistema de extinção de fogo, normalmente são previstos meios de um rápido acesso ao compressor, escapamento ou compartimento dos queimadores. Por isso, a maioria dos sistemas da aeronave estão equipadas com portas de acesso de abertura rápida, na superfície externa de vários compartimentos.

O fogo na parte interna do escapamento dos motores, durante o corte ou falsa partida, pode ser eliminado pelos giros do motor com o motor de partida.

Se o motor já estiver funcionando, ele pode ser acelerado para atingir o mesmo resultado. Se o fogo persistir, um agente extintor pode ser dirigido ao interior do tubo de escapamento.

O que deve ser levado em conta, é que o uso excessivo de CO2 ou outro agente que tenha o efeito de resfriamento, pode contrair alojamento da turbina ou a própria turbina, causando a desintegração do motor.

SISTEMA TÍPICO DE PROTEÇÃO DE FOGO DE MULTIMOTORES

Um sistema de proteção de fogo de motores a turbina para uma aeronave multimotora é descrito em detalhes nos parágrafos seguintes. Este sistema é típico de maioria das aeronaves de transporte com motores a reação, e inclui componentes e sistemas semelhantes encontrados em todas aquelas aeronaves. Deve ser enfatizado que os procedimentos de manutenção e detalhes de instalação, de cada tipo de aeronave em particular, são uma função da configuração específica da aeronave.

O sistema de proteção contra fogo da maioria das grandes aeronaves com motor a turbina consiste de dois subsistemas: um sistema detector de fogo e um sistema de extinção de fogo.

Estes dois subsistemas proporcionam proteção contra fogo, não somente no motor e áreas da nacele, mas também em áreas como os compartimentos de bagagem e em áreas como o alojamento das rodas. Aqui, serão discutidos apenas os sistemas de proteção contra fogo no motor.

Cada motor a turbina instalado em uma nacele suspensa contém um circuito de detecção de fogo, que é automático e sensível ao calor. Este circuito consiste de uma unidade sensível ao calor, uma unidade de controle, um relé e dispositivos de alarme. Normalmente os dispositivos de alarme incluem uma luz de aviso na cabine para cada circuito, e um alarme sonoro para todos os circuitos em conjunto.

A unidade sensora de calor de cada circuito possui um detector contínuo em torno das áreas a serem protegidas. Essas áreas são os queimadores e a área do escapamento. Também incluídas, na maioria dos sistemas de extinção de fogo das aeronaves, estão a área do compressor e a área dos acessórios, as quais em algumas instalações podem ser protegidas por um circuito separado de proteção de fogo. A figura 8-23 ilustra a rota típica de um detector contínuo de fogo em um motor instalado em nacele suspensa.

Um detector contínuo típico é formado por uma série de elementos unidos por conectores a prova de umidade, os quais são fixados à estrutura da aeronave. Na maioria das instalações, o detector contínuo é preso por dispositivos ou presilhas a cada 10 ou 12 polegadas de distância.

Um espaço maior entre os suportes pode permitir vibração ou atrito da seção livre, e torna-se uma fonte de falsos alarmes.

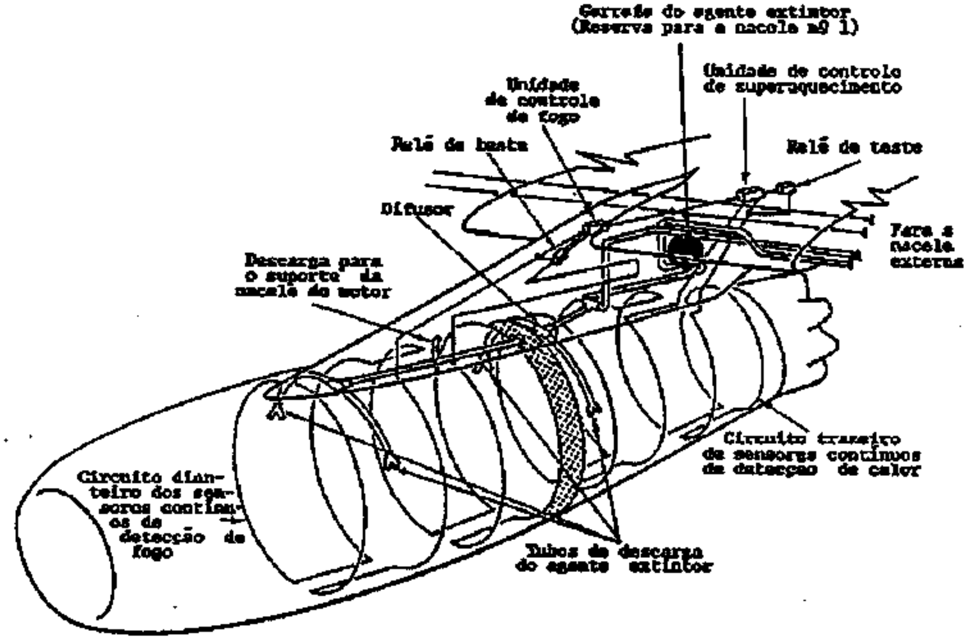

Garrafa do agente extintor
(Reserva para a nacele nº 1)
Unidade de controle de superaquecimento
Unidade de controle de fogo
Relé de teste
Relé de teste
Difusor
Para a nacele externa
Descarga para o suporte da nacele do motor
Circuito traseiro de sensores contínuos de detecção de calor
Circuito dianteiro dos sensores contínuos de detecção de fogo
Tubos de descarga do agente extintor

Figura 8-23 Instalação típica de proteção da nacele do motor e seu suporte (*Pylon*)

Em um típico sistema detector de fogo de um motor a turbina, uma unidade de controle individual é prevista para cada circuito sensor. A unidade de controle contém um amplificador transitorizado ou magnético, o qual produz uma saída, quando um fluxo de corrente predeterminado de entrada for detectado pelo sensor contínuo.

Cada unidade de controle também contém um relé que é usado para simular uma condição de fogo ou superaquecimento para o circuito de teste.

A saída do amplificador, da unidade de controle, é usada para energizar um relé de aviso, muitas vezes chamado de “relé de fogo”. Normalmente localizado próximo às unidades de controle, estes relés de fogo, quando energizados, completam o circuito para o apropriado dispositivo de aviso.

Os dispositivos de aviso para as condições de fogo e superaquecimento do motor e nacele estão localizados na cabine.

Uma luz de aviso de fogo para cada motor, normalmente é localizada em um interruptor especial de fogo na forma de um punho, localizado no painel de instrumentos ou no painel de controle de fogo.

Estes interruptores são, algumas vezes, chamados de “punhos de fogo”.

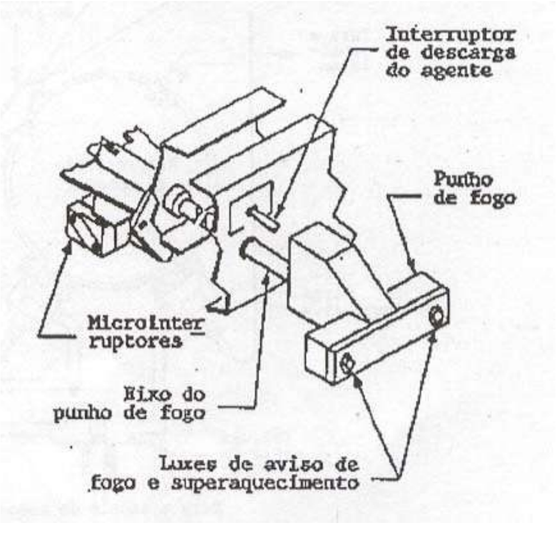

Interruptor de descarga do agente
Punho de fogo
Microinter ruptores
Eixo do punho de fogo
Luzes de aviso de fogo e superaquecimento

Figura 8-24 Interruptor e punho de fogo

Conforme está ilustrado na figura 8-24, o punho de fogo contém a luz de aviso de detecção de fogo. Em alguns modelos deste punho interruptor de fogo, ao ser puxado, deixa exposto um interruptor, que anteriormente era inacessível, o qual comanda o agente extintor e também atua microinterruptores que energizam as válvulas de corte de emergência e outras válvulas pertinentes.

Sistema de extinção de fogo de motores a turbina

A parte de extinção de fogo de um típico sistema de proteção de fogo completo, inclui uma garrafa ou reservatório de um agente extintor para cada motor ou área da nacele. Um tipo de instalação provê uma garrafa de agente para cada uma das naceles suspensas de uma aeronave multimotora. Este sistema usa uma garrafa ou reservatório de agente extintor semelhante ao tipo mostrado na figura 8-25.

Este tipo de garrafa é equipada com duas válvulas de descarga que são operadas por cartuchos disparados eletricamente. Estas duas válvulas são o controle principal e o reserva, que liberam e dirigem o agente para a nacele suspensa, na qual a garrafa está localizada, ou para o outro motor da mesma asa.

Este tipo de tiro duplo, configuração de alimentação cruzada, permite a liberação de uma segunda carga de agente extintor de fogo para o mesmo motor, se um outro foco de fogo ocorrer, sem a condição de duas garrafas para cada área do motor. Um outro tipo de instalação para quadrimotores, usa dois sistemas independentes de extinção de fogo. Os dois motores do mesmo lado da aeronave são equipados com dois reservatórios de agente extintor (figura 8-26), mas eles estão localizados juntos na nacele suspensa interna.

Um indicador da pressão, um plugue de descarga, e uma conexão de segurança são previstas para cada reservatório.O plugue de descarga é selado com um disco quebrável, combinado com uma carga explosiva que e eletricamente detonada para descarregar o conteúdo da garrafa.

A conexão de segurança é fixada na parte interna da estrutura com um indicativo disco vermelho.

Se a temperatura ultrapassar um predeterminado valor de segurança, o disco será rompido, extravazando o agente.

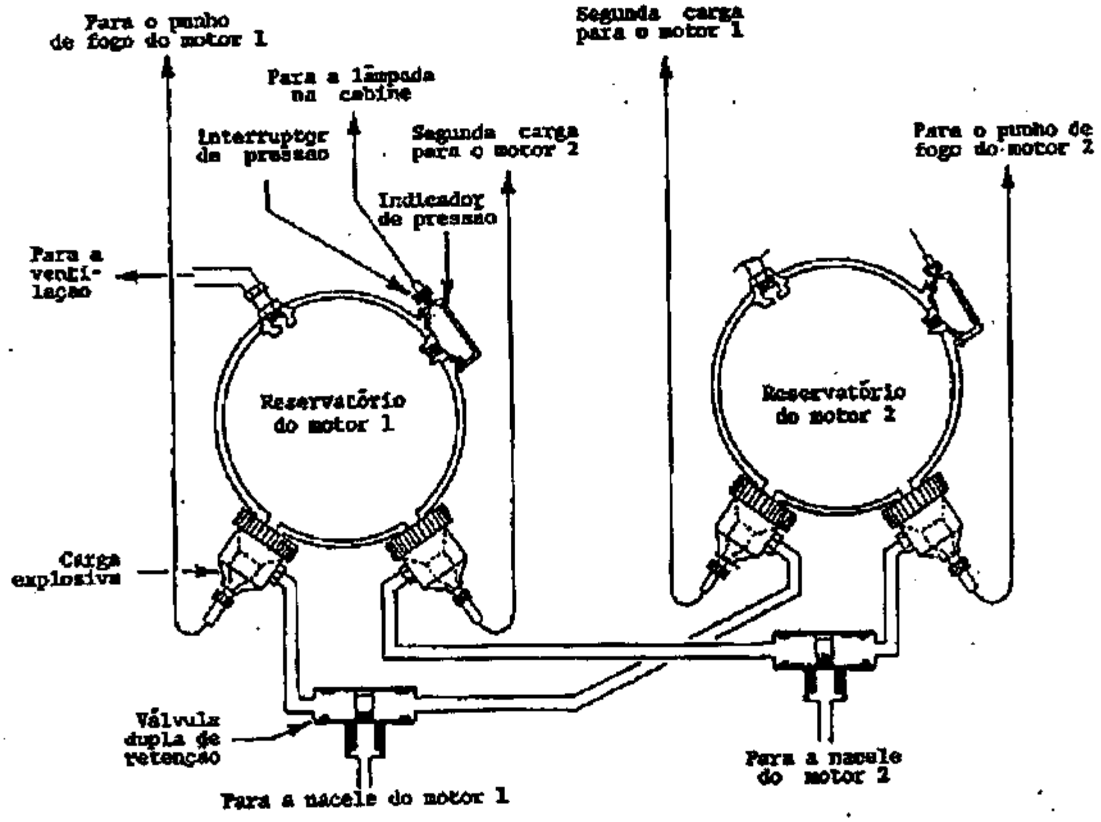

Para o punho de fogo do motor 1
Segunda carga para o motor 1
Para a lâmpada na cabine
Interruptor de pressão
Segunda carga para o motor 2
Para o punho de fogo do motor 2
Indicador de pressão
Para a ventilação
Reservatório do motor 1
Reservatório do motor 2
Carga explosiva
Válvula dupla de retenção
Para a nacele do motor 2
Para a nacele do motor 1

Figura 8-25 Sistema de extinção de fogo para uma aeronave multimotora

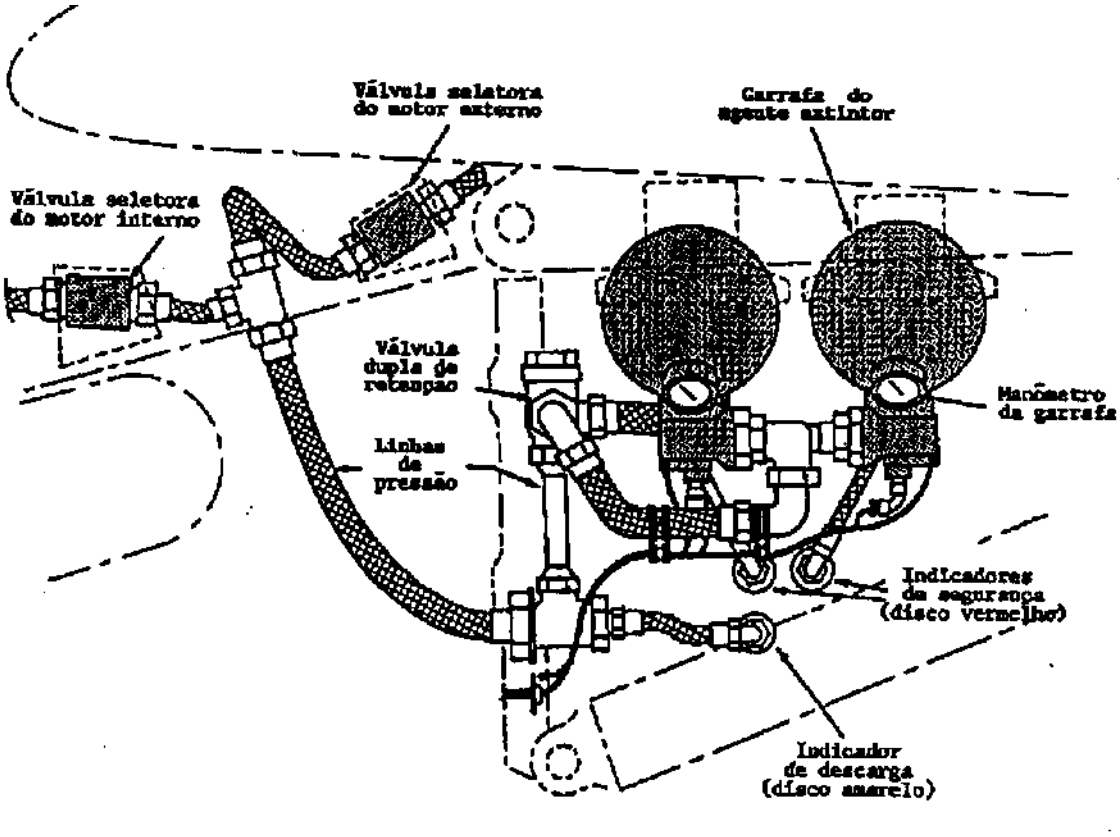

Válvula seletora do motor externo
Garrafa do agente extintor
Válvula seletora do motor interno
Válvula dupla de retenção
Manômetro da garrafa
Linhas de pressão
Indicadores de segurança (disco vermelho)
Indicador de descarga (disco amarelo)

Figura 8-26 Instalação das garrafas e suas conexões

A conexão de alimentação dos dois reservatórios de uma instalação dupla (figura 8-26) inclui uma válvula de retenção dupla e uma conexão "T", da qual as tubulações são ligadas ao indicador de descarga.

Este indicador é fixado na parte interna da estrutura com um indicativo disco amarelo, que é rompido quando a linha de alimentação for pressurizada por qualquer uma das garrafas.

A linha de descarga tem dois ramais (figura 8-26), uma linha pequena para o motor interno e uma mais comprida estendendo-se pelo bordo de ataque da asa para o motor externo.

Ambos os ramais terminam em uma conexão em "T", próxima a fixação dianteira do motor.

A forma do tubo de descarga pode variar com o tipo e o tamanho das instalações do motor.

Na figura 8-27, um tubo de descarga semicircular com uma terminação em "Y" envolve a área dianteira superior, tanto do compartimento dianteiro como do traseiro do motor.

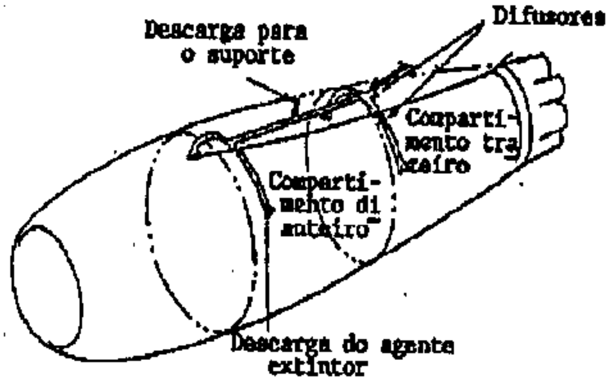


Figura 8-27 Tubos de descarga do agente extintor

Orifícios de dispersão do agente extintor estão espaçados ao longo do tubo de descarga. Este, é incorporado na entrada da linha, para descarregar o agente extintor dentro da área do suporte da nacele suspensa.

Um outro de instalação de descarga do agente extintor de fogo é mostrado na figura 8-27. A linha de descarga termina em um bico injetor em "T" próximo ao suporte dianteiro do motor.

A conexão "T" contém orífícios difusores, que permitem que o agente extintor seja lançado ao longo da parte superior e de ambos os lados do motor.

Quando qualquer seção do sensor contínuo estiver exposta a uma condição de fogo ou superaquecimento, a luz de aviso na cabine acenderá e o alarme sonoro soará.

A luz de aviso pode estar localizada no punho de fogo; em algumas instalações o interruptor de fogo pode incorporar uma luz de aviso de cada motor em particular, sob uma cobertura de plástico translúcido, como é mostrado na figura 8-27.

Neste sistema, um interruptor de transferência é instalado para o sistema de extinção de fogo esquerdo e direito. Cada interruptor de transferência tem duas posições: "TRANS"e "NORMAL".

Se ocorrer uma condição de fogo no motor número 4, a luz de aviso no interruptor de fogo número 4 acenderá com o interruptor na posição "NORMAL"; o interruptor de fogo número 4 é puxado, e o interruptor de descarga número 4, localizado diretamente sob o punho de fogo, ficará acessível.

Ativando o interruptor de descarga o agente extintor será enviado da garrafa para a área do motor número 4.

Se for necessário mais do que uma descarga de agente extintor, o interruptor de transferência deverá ser colocado na posição "TRANS" para que a segunda garrafa possa ser descarregada naquele mesmo motor.

Um controle de alarme sonoro permite que qualquer um dos circuitos de detecção de fogo dos motores, energize o alarme sonoro comum. Após o alarme ter soado, ele poderá ser silenciado pelo acionamento do interruptor de corte do alarme figura 8-28.

O alarme sonoro pode também reagir a um sinal de fogo, vindo de qualquer um dos outros circuitos.

A maior parte dos sistemas de proteção contra fogo para as aeronaves com motor a turbina, inclui também um interruptor de teste e um circuito, que permite que o sistema de detecção seja testado inteiramente, a qualquer tempo.

O interruptor de teste está localizado no centro do painel, mostrado na figura 8-28

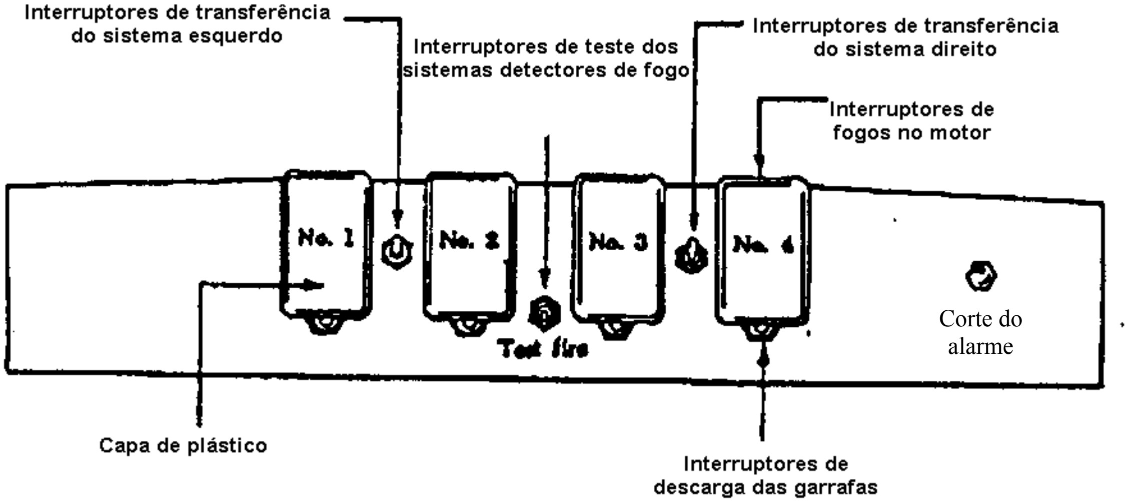

Interruptores de transferência do sistema esquerdo
Interruptores de teste dos sistemas detectores de fogo
Interruptores de transferência do sistema direito
Interruptores de fogos no motor
No. 1
No. 2
No. 3
No. 4
Test fire
Corte do alarme
Capa de plástico
Interruptores de descarga das garrafas

Figura 8-28 Interruptores do sistema de detecção e extinção de fogo

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE DETECÇÃO DE FOGO

Os elementos sensores de deteção de fogo estão localizados em muitas áreas de grande atividade em torno dos motores das aeronaves. Sua localização, junto com sua pequena dimensão, aumentam a chance de danos aos elementos sensores durante a manutenção.

A instalação dos elementos sensores, dentro dos painéis das naceles nas aeronaves, proporciona algumas medidas de proteção não fornecidas aos elementos fixados diretamente no motor. Por outro lado, a remoção e a instalação dos painéis das naceles podem facilmente causar atritos ou defeitos estruturais aos elementos sensores.

Um programa de inspeção e manutenção, para todos os tipos de sistemas de sensores contínuos, deverá incluir os seguintes cheques visuais. Estes procedimentos são apenas exemplos, e não deverão ser usados em substituição às aplicáveis instruções do fabricante.

Os elementos sensores de um sistema contínuo deverão ser inspecionados nos seguintes itens:

1. Seções rachadas ou quebradas, causadas por choque ou aperto entre janelas de inspeção, painéis das naceles ou componentes do motor.
2. Desgaste causado pelo atrito do elemento com o revestimento, acessórios ou membros estruturais.
3. Peças de arame de freno, ou outras partículas de metal, que possam formar um curto-circuito nos terminais do detector.
4. Condições das juntas de borracha nas braçadeiras de montagem, que podem ter sofrido amolecimento pela exposição a óleo, ou endurecimento pelo calor excessivo.
5. Mossas ou dobras nas seções dos elementos sensores. Os limites do diâmetro dos elementos, as mossas e as dobras aceitáveis e o grau de suavidade dos contornos dos tubos são especificados pelo fabricante. Nenhum esforço deve ser feito para endireitar qualquer mossa ou dobra aceitável, porque, o esforço poderá causar uma falha na tubulação (veja na figura 8-30 um exemplo de falha na tubulação).

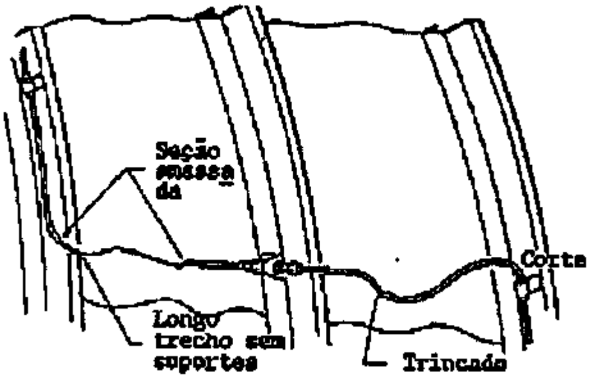

Seção amassada
Corte
Longo trecho sem suportes
Trincado

Figura 8-28 Defeitos do elemento sensor

6. As porcas nos terminais dos elementos sensores (figura 8-30) deverão ser inspecionadas quanto ao aperto e frenagem. As porcas frouxas deverão ser apertadas para o valor de torque especificado pelas instruções do fabricante. Alguns tipos de juntas de conexão de elementos sensores requerem o uso de juntas de atrito de cobre. Essas juntas deverão ser substituídas todas as vezes que a conexão for desfeita.

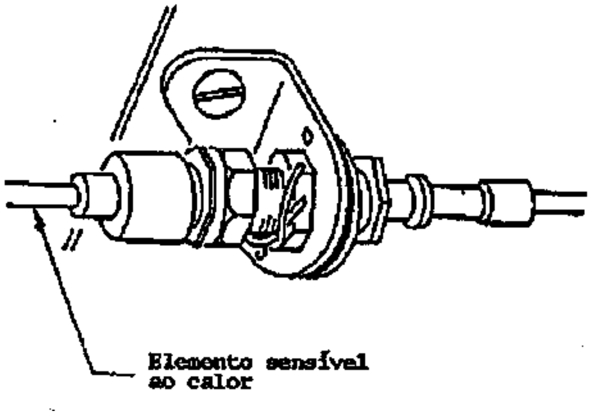


Figura 8-30 Junta conectora fixada à estrutura

7. Se forem usados cabos flexíveis blindados, eles deverão ser inspecionados quanto ao desgate da malha externa. A blindagem é feita de uma malha de finos fios de metal traçados dentro de uma cobertura, que envolve um fio isolado.

   Contínuas dobras do cabo ou um tratamento grosseiro poderão partir esses fios finos, especialmente, aqueles próximos das conexões.

8. A rota dos elementos sensores e a fixação devem ser inspecionadas cuidadosamente (figura 8-30). Seções muito longas entre suportes podem permitir excessiva vibração e causar a quebra.

   A distância entre as braçadeiras de fixação nos espaços retos, deve ser normalmente de 8 a 10 polegadas, conforme a especificação de cada fabricante.

   O primeiro suporte de fixação após uma conexão, normalmente é colocado entre 4 a 6 polegadas da conexão de junção. Na maioria dos casos, uma reta de 1 polegada é mantida antes e após um conector, para então ser feita uma curva. Um raio de curva de 3 polegadas, normalmente é usado também.

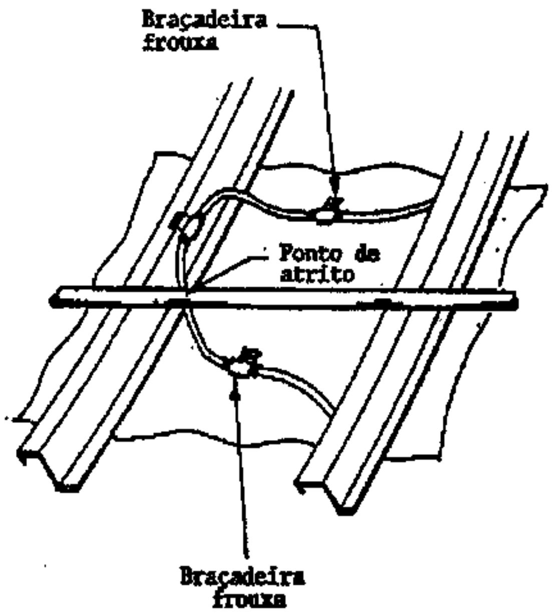


Figura 8-31 Interferência por atrito

9. A interferência entre o elemento sensor e um tirante da nacele pode causar atrito (figura 8-31). Esta interferência pode causar desgaste e curto-circuito no elemento sensor.

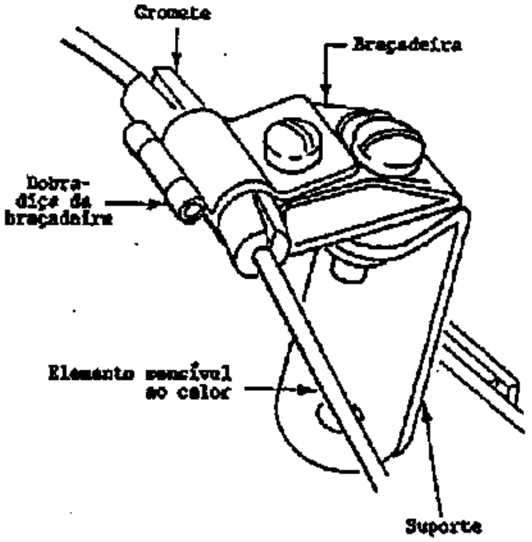


Figura 8-32 Braçadeira típica de fixação do elemento sensor

10. Os anéis isolantes deverão estar instalados no elemento sensor, centralizados com a braçadeira de fixação.O final cortado do isolante deverá estar voltado para a parte curva da braçadeira. As braçadeira e os anéis isolantes deverão fixar o elemento sem danificá-lo (ver a figura 8-32).

PESQUISA DE PANES DO SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOGO

Os seguintes procedimentos de pesquisa de panes, representam a maior parte das dificuldades comuns encontradas nos sistemas de detecção de fogo do motor:

1. Alarmes intermitentes são, na maioria das vezes, causados por um curto-circuito intermitente na fiação do sistema detector. Tais curtos podem ser causados por um fio solto ou frouxo que, ocasionalmente, toca em um terminal; um fio desgastado atritando em um membro da estrutura; ou ainda o elemento sensor atritando na estrutura o suficiente para desgastar o isolante. As falhas intermitentes muitas vezes podem ser localizadas pelo movimento dos fios para recriar o curto-circuito.
2. Alarmes de fogo e luzes de aviso acesas podem ocorrer mesmo quando não houver fogo no motor ou condição de superaquecimento. Estes falsos alarmes podem ser mais facilmente localizados pela desconexão do sensor contínuo do motor na unidade de controle. Se o falso alarme cessar quando o sensor for desconectado, a falha é no sensor contínuo que deverá examinado nas áreas que tenham a possibilidade de entrar em contato com as partes quentes do motor. Se nenhuma destas áreas for encontrada, a seção em curto pode ser localizada isolando as conexões dos elementos, consecutivamente, até o final do sensor contínuo.
3. Torções ou dobras acentuadas no elemento sensor podem causar um curto-circuito intermitente entre o fio interno e a tubulação externa. A falha pode ser localizada checando o elemento sensor com um ohmímetro, enquanto aplicar leves batidas nas áreas suspeitas do elemento sensor para produzir o curto.
4. Umidade no sistema de detecção raramente causa um falso alarme de fogo. Se, no entanto a umidade causar um alarme, o aviso persistirá até que a contaminação seja removida ou desapareça com o calor, e a resistência do sensor retorne ao seu valor normal.
5. Falha em obter um sinal de alarme, quando o interruptor de teste é atuado, pode ser causada por um defeito no interruptor de teste ou na unidade de controle, deficiência de energia elétrica, lâmpada indicadora inoperante, uma interrupção no elemento sensor ou na conexão da fiação. Quando o interruptor de teste falha em proporcionar uma condição de alarme, a atuação de um sensor contínuo de dupla fiação pode ser determinada pela abertura do sensor e medição da resistência. Em um sensor contínuo de fiação simples, o condutor central deverá ser ligado à massa.

Mecânico de Manutenção Aeronáutica

AVIÔNICOS II

ELETRÔNICA

1ª Edição
23 de Outubro de 2003

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL

DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Este volume, Eletrônica, contendo as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente a uma parte da habilitação Aviônicos, tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume tem como complemento obrigatório, o conteúdo dos volumes Instrumentos e Sistemas Elétricos e Matérias Básicas.

Os assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

É proibida a reprodução total ou parcial deste volume sem a autorização do IAC (DIP).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

A correspondência relativa a esse livro deverá ser endereçada a:

Instituto de Aviação Civil

Divisão de Instrução Profissional

Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, edifício anexo,

Rio de Janeiro - RJ - Brasil

CEP 20021-010

Ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

AVIÔNICOS II - ELETRÔNICA

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CIRCUITOS REATIVOS

Circuito Reativo em série 1-1
Circuito RC em série 1-5
Circuito RCL em série 1-8
Ressonância em série 1-10
Circuito RL em paralelo 1-16
Circuito RC em paralelo 1-18
Circuito RCL em paralelo 1-20
Ressonância em paralelo e circuito tanque ideal 1-23
Circuito tanque real e circuito tanque com resistor em derivação 1-26
Filtros de freqüência 1-29

CAPÍTULO 2 - OSCILOSCÓPIO

Introdução 2-1
Tubos de raios catódicos 2-1
Circuito gerador de base de tempo 2-4
Funções básicas dos controles 2-5

CAPÍTULO 3 - REQUISITOS PARA ANÁLISE DE CIRCUITOS

Introdução 3-1
Fontes ou geradores de tensão constante 3-1
Fontes ou geradores de corrente constante 3-2
Elementos de circuitos 3-4
Teorema das estruturas elétricas 3-5
Divisor de tensão e divisor de corrente 3-9
Teorema da superposição 3-10
Teorema de *Thévenin* 3-11
Teorema de *Norton* 3-16
Conversão do equivalente de *Norton* para o equivalente de *Thévenin* e vice-versa 3-20
Teorema da máxima transferência de energia 3-22

CAPÍTULO 4 - DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES

Introdução 4-1
Estrutura da matéria 4-1
Ligação atômica 4-2
Materiais semicondutores 4-2
Junção PN - Formação 4-4
Polarização de uma junção PN 4-7
Diodo semicondutor 4-7
Diodo retificador 4-8
Ruptura da junção PN 4-9
Aplicação do diodo retificador 4-9

Diodo em tensão alternada 4-10

CAPÍTULO 5 - FONTES DE FORÇA ELETRÔNICA

Tipos de fontes de força 5-1
Circuitos retificadores 5-2
Filtros 5-5
Tipos de proteção contra sobrecarga 5-9

CAPÍTULO 6 - TRANSISTOR DE JUNÇÃO

Introdução 6-1
Formação das junções PNP e NPN 6-1
Ganhos e amplificação no transistor 6-3
Amplificador em configuração emissor comum 6-4
Curvas características do amplificador em emissor comum 6-6
Ganhos do transistor em emissor comum 6-8
Características estáticas e dinâmicas em um amplificador em emissor comum 6-9
Ganhos dinâmicos do circuito emissor comum 6-11
Amplificador em configuração coletor comum 6-12
Linha de carga no circuito coletor comum 6-14

CAPÍTULO 7 - ESTABILIZAÇÃO DA POLARIZAÇÃO DO TRANSISTOR

Introdução 7-1
Limitações dos transistores bipolares 7-1
Curva de máxima dissipação de potência 7-3
Instabilidade térmica dos transistores 7-5
Valores típicos de tensões de junção para transistores 7-8
Métodos de polarização para estabilização da Ic 7-9
Estabilização da polarização de estágios de potência 7-11
Resumo 7-13

CAPÍTULO 8 - AMPLIFICADORES TRANSISTORIZADOS

Classificação geral dos amplificadores. 8-1
Freqüências de operação 8-1
Classes de operação. 8-1
Sistemas de acoplamento. 8-3
Amplificadores de áudio básico 8-6
Amplificadores de áudio transistorizados 8-6

CAPÍTULO 9 - OSCILADORES TRANSISTORIZADOS

Introdução 9-1
Princípios de oscilação 9-1
Requisitos do circuito oscilador 9-2
Circuitos osciladores básicos 9-3
Multivibrador astável 9-7

CAPÍTULO 10 - TRANSISTORES ESPECIAIS

Introdução..10-1
Transistor de efeito de campo...10-1
Transistor de unijunção 10-4

CAPÍTULO 11 - CIRCUITOS INTEGRADOS

Introdução..11-1
Microeletrônica 11-1
Técnica de fabricação de circuitos integrados monolíticos...................11-1
Tipos de encapsulamento e contagem de pinos 11-2

CAPÍTULO 12 - SENSORES

Sensor de umidade 12-1
Termistores. 12-1
Dispositivos fotossensíveis 12-2

CAPÍTULO 13 - REGULADORES DE TENSÃO

O diodo *Zener* como regulador de tensão..13-1
Características do diodo *Zener*...13-1
Especificações da tensão *Zener*..13-2
Impedância dinânica...13-3
Limitações do diodo *Zener*..13-4
Aplicações do diodo *Zener*...13-4
Diodos *Zener* comerciais..13-5
Regulador eletrônico de tensão..13-7
Sumário...13-8

CAPÍTULO 14 - DIODOS ESPECIAIS

Thyristores (RCR) 14-1
Curva característica de um *Thyristor*.. 14-3
O Triac 14-7
Diac..14-8
Fotothyristores 14-9
Thyristor bloqueável 14-10
Q14-10uadrac.. 14-10
Diodo *Shockley*.. 14-10
Diodo Túnel 14-10
Diodos emissores de luz (*Led*)...14-11
Sumário..14-13

CAPÍTULO 15 - DECIBÉIS

Introdução..15-1
Relações de tensão e corrente 15-2
Níveis de referência 15-2
Medida de potência 15-2

Medidores de potência 15-4
Sumário 15-4

CAPÍTULO 16 - AMPLIADORES OPERACIONAIS

Introdução 16-1
Características elétricas 16-1
Alimentação 16-1
Pinagem 16-1
Ampliador operacional como amplificador 16-2
Aplicações dos ampliadores operacionais 16-2

CAPÍTULO 17 - TÉCNICAS DIGITAIS

Sistema de numeração 17-1
Operações binárias 17-5
Álgebra de *Boole* 17-7
Circuitos de comutação 17-10
Famílias de circuitos lógicos 17-12
Circuitos combinacionais 17-15
Circuitos seqüenciais 17-19
Memórias 17-22
Conversão de sinais 17-24

CAPÍTULO 18 - SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

Princípios da comunicação 18-1
Principais sistemas de radiocomunicações 18-12
Propagação das ondas eletromagnéticas e antenas 18-18
Finalidade de uma antena 18-21
Antenas básicas 18-23
Sistemas de intercomunicação 18-28
Sistema de alarme 18-42
Sistema gravador de voz 18-49
Sistemas de radiocomunicação 18-52
Transmissor Localizador de Emergência (ELT) 18-62
Sistema de Chamada Seletiva (SELCAL) 18-64

CAPÍTULO 19 - SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO

Sistema anemométrico 19-1
Instrumentos de navegação 19-7
Sistema automático de direção 19-16
Sistema VOR/LOC – GS - MB 19-20
Equipamento Medidor de Distância (DME) 19-29
Sistema *TRANSPONDER* 19-36
Rádio altímetro 19-39
Radar meteorológico 19-42
Piloto automático 19-49
Sistema de Referência de Atitude e Proa 19-61
Sistema de Instrumentação de Vôo – FIS 19-71

CAPÍTULO 20 - INTRODUÇÃO AOS COMPUTADORES

Histórico 20-1
Aplicações 20-1
Termos e convenções 20-2
Memória 20-3
Entrada e saída 20-3
Palavras do computador 20-4
Princípios de funcionamento 20-4
Unidade Central de Processamento (CPU) 20-6
Conceitos de fluxograma 20-8
Linguagem do computador 20-9

CAPÍTULO 1

CIRCUITOS REATIVOS

CIRCUITO REATIVO EM SÉRIE

Para que os equipamentos eletrônicos (rádio, radar etc.) possam desempenhar suas funções, os circuitos resistivos, indutivos e capacitivos são combinados em associações RL, RC e RLC. Em virtude de tais associações conterem reatâncias, as mesmas são chamadas de circuitos reativos. Todo circuito constituído por resistores e que não contenham quantidades apreciáveis de indutância ou capacitância, são considerados como circuitos resistivos.

Quando uma corrente alternada (CA) é aplicada a um circuito resistivo, a corrente e a tensão do circuito estarão em fase, conforme figura 1-1

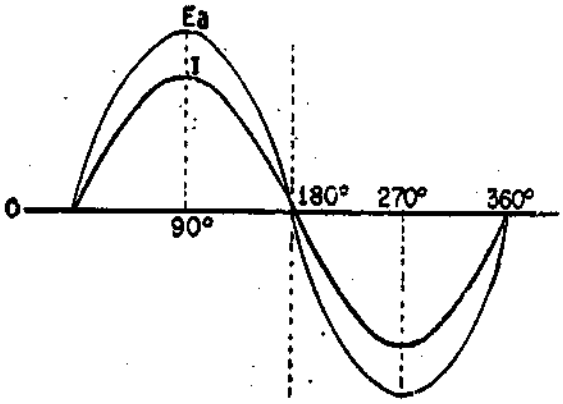


Figura 1-1

Ao se ligar um indutor em série com um resistor, a queda de tensão no resistor (E_R) estará em fase com a corrente (I_R); porém, a tensão no indutor (E_L) está adiantada de 90º.

A figura 1-2A nos mostra um circuito RL em série e a figura 1-2B, a relação de fase entre a corrente e a tensão no indutor e resistor.

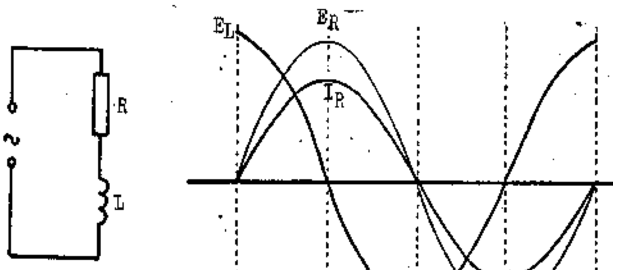


Figura 1-2

Desse modo, pode-se ver que a presença do indutor no circuito, resulta uma defasagem de 90º entre as tensões.

A tensão resultante de qualquer circuito RL pode ser determinada por meio de vetores.

Assim sendo, por intermédio do gráfico da figura 1-3, podemos achar a tensão resultante, que vem a ser a própria tensão aplicada.

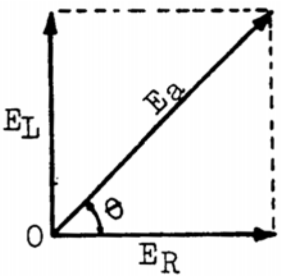


Figura 1-3

A tensão no resistor é tomada sobre o vetor horizontal e a tensão no indutor, sobre o vetor vertical: como as tensões estão defasadas de 90º, o ângulo entre elas será reto.

Traçando um paralelogramo baseado nestes dois vetores, teremos um vetor resultante (E_a) que é a hipotenusa de um triângulo retângulo. Segundo o teorema de Pitágoras o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos; logo:

$$E_a^2 = E_R^2 + E_L^2 \qquad \text{ou}$$

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$$

Impedância

Quando um resistor e um indutor estão ligados em série, a oposição total à passagem da corrente não é uma simples soma aritmética, mas sim uma soma vetorial, em virtude da defasagem de 90º existente entre as tensões no circuito.

Suponha-se, por exemplo, que um resistor de 400 ohms esteja ligado em série com um indutor, cuja reatância indutiva seja de 300 ohms.

A oposição total à passagem da corrente não será de 700 ohms mas sim de 500 ohms.

Cálculo da Impedância

Por intermédio da lei de Ohm, a queda de tensão num resistor (E_R) é o produto da resistência (R) pela corrente (I_T), ou seja:

$$E_R = R \times I_T$$

Como X_L representa a oposição ao fluxo da corrente, a tensão no indutor (E_L) será:

$$E_L = X_L \times I_T$$

Já que, a tensão aplicada (E_a) no circuito é o produto da corrente (I_T) pela oposição total (Z_T), logo:

$$E_a = Z_T \times I_T$$

Uma vez que:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$$

Logo teremos:

$$E_a = \sqrt{(R \times I_T)^2 + (X_L \times I_T)^2}$$

$$Z_T \times I_T = \sqrt{I_T^2 \; (R^2 + X_L^2)}$$

$$Z_T \times I_T = I_T \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Desse modo, a impedância de um circuito R_L em série, é igual a raiz quadrada da soma dos quadrados da resistência e da reatância indutiva.

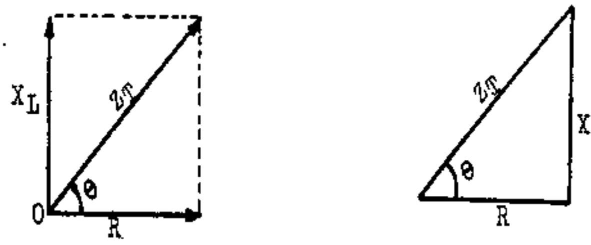


Figura 1-4

Assim, podemos traçar o diagrama vetorial, conforme figura 1-4, uma vez que Z_T corresponde à hipotenusa e $R^2 + X_L^2$, à soma dos quadrados dos catetos.

Ângulo de Fase

Denomina-se ângulo de fase (θ), ao ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada ao circuito (E_a), com o vetor da tensão (E_R), conforme a figura 1-5.

Tomando-se por base o valor da corrente, o ângulo de fase θ será positivo, contando no sentido inverso dos ponteiros do relógio, a partir dessa referência. Uma vez conhecido o ângulo θ podemos, também determinar se o circuito é resistivo, indutivo ou capacitivo, da seguinte forma: o circuito será resistivo quando θ, for igual a zero, indutivo quando θ for positivo e capacitivo quando θ for negativo.

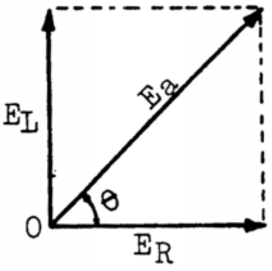


Figura 1-5

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-6 e 1-7

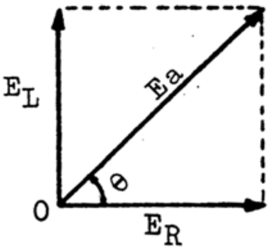


Figura 1-6

Logo: $tg\ \theta = \dfrac{E_L}{E_R}$ $\qquad \cos\theta = \dfrac{E_R}{E_a}$

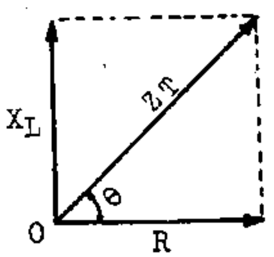


Figura 1-7

Logo: $\text{tg}\ \theta = \frac{X_L}{R}$ $\cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Potência Elétrica

No estudo dos circuitos resistivos, a potência dissipada por um resistor, foi determinada pelo produto de tensão (E_a) pela corrente (I_T), ou seja: $P_T = E_a \cdot I_T$ isto, porém não acontece num circuito de CA que contenha resistência e indutância.

A corrente no circuito fluirá, sendo limitada pela impedância, mas a energia utilizada para produzir o campo magnético será desenvolvida à fonte no desenvolvimento do mesmo.

Portanto, num circuito de CA que contenha resistência, parte da potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte.

Assim sendo, o produto, $P_T = E_a \cdot I_T$ não só dá a potência que realmente está sendo consumida pelo circuito, mas sim uma potência que aparenta estar sendo absorvida.

Este produto é chamado de potência aparente (P_A), sendo expresso volt/ampère (VA), e não em watts, para diferenciar da potência real.

A potência aparente (P_A), poderá ser calculada por qualquer uma das equações abaixo:

$$P_A = E_a \cdot I_T$$

$$P_A = I_T^2 \cdot Z_T$$

$$P_A = \frac{E^2}{Z_T}$$

Sempre que a corrente circula num circuito que contenha resistência e reatância, haverá sempre por parte do resistor, uma dissipação de potência, que é chamada potência real (P_R), verdadeira ou efetiva do circuito, sendo expressa em watts.

Portanto, para se achar a potência real de um circuito que contenha resistência e reatância, basta calcular apenas a potência dissipada pelo resistor, a qual será o produto da tensão no resistor (E_R) pela corrente (I_T), ou seja:

$$P_R = E_R \cdot I_T$$

Uma vez que: $\cos\theta = \frac{E_R}{E_a}$

Logo: $E_R = E_a \cdot \cos\theta$

Portanto: $P_R = E_a \cdot I_T \cdot \cos\theta$

Fator de Potência:

O fator de potência de um circuito, é muito importante, porque ele nos permite converter a potência aparente, em potência real ou efetiva.

Define-se como fator de potência (f_p), a relação entre a potência real (P_r) e a potência aparente (P_a) de um circuito.

$$f_p = \frac{P_R}{P_A}$$

Como:

$$P_R = E_a \cdot I_T \cdot \cos\theta \text{ e } P_A = E_a \cdot I_T$$

Logo: $f_p = \frac{E_a\, I_T \cdot \cos\theta}{E_a\, I_T}$

$$f_p = \cos\theta$$

Porém, como: $\cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Logo: $f_p = \frac{R}{Z_T}$

Em conseqüência, o fator de potência poderá ser calculado por qualquer um das três equações apresentadas.

O fator de potência é usualmente expresso em fração decimal ou percentagem.

Exercício resolvido:

Calcular o fator de potência de um circuito, sabendo-se que a potência aparente é de 400 VA (Volt/Ampère) e a potência real é de 200 Watts.

$P_a = 400VA$ $P_R = 200W$

Como: $f_p = \frac{P_R}{P_A}$

Logo: $f_p = \frac{200}{400}$

$f_p = 0{,}5 \text{ ou } 50\%$

Lei de Ohm

A lei de ohm para circuitos de CA, diz que, a corrente (I_T) é diretamente proporcional à tensão (E_a) e inversamente proporcional à impedância (Z_T). Logo, teremos:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$$

Exercício resolvido

Calcule a corrente total do circuito da figura 1-8.

Dados:

R = 60 ohms

$E_a = 100V$

$X_L = 80 \text{ ohms}$

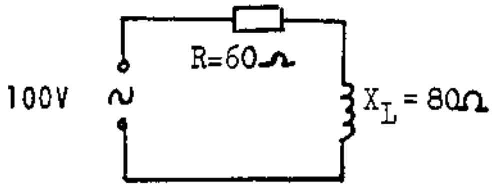


Figura 1-8

Uma vez que: $Z_T = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

Logo:

$Z_T = \sqrt{60^2 + 80^2}$ $Z_T = 100\text{ohms}$

Como: $I_T = \frac{E_a}{Z_T}$

Logo: $I_T = \frac{100}{100}$ $I_T = 1A$

Freqüência de Corte

Qualquer circuito que contenha reatância, não responderá igualmente a todas as freqüências.

Ao analisarmos um circuito RL, vimos que seu comportamento foi diferente nas altas freqüências em relação às baixas. No processo de análise, somente uma simples freqüência de cada vez foi aplicada ao circuito.

Contudo, se um sinal contendo uma faixa de freqüências é aplicado ao circuito série RL, a reação do circuito será diferente para cada freqüência individual contida neste sinal.

Por exemplo, conforme a freqüência diminui, a corrente total aumenta. Haverá mais corrente circulando para as baixas freqüências do que para as altas freqüências.

O valor da resistência de um circuito, todavia não é afetada por uma variação de freqüência, mas X_L é uma função direta da freqüência. Portanto, num circuito de CC, a oposição da bobina é desprezível e o circuito é considerado resistivo; o ângulo de fase é zero e a potência real estará no seu máximo valor.

Exemplo:

Considere o circuito série consistindo de um resistor de 80 ohms e uma bobina de 12,73 mH, com uma tensão aplicada de 100 vcc.

Desde que o ângulo de fase é zero, a impedância do circuito será igual a 80 ohms. A corrente será:

$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$ $I_T = \frac{100}{80}$ $I_T = 1{,}25A$

A potência real do circuito terá como valor:

$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$

$P_R = 100 \times 1{,}25 \times 1$

$P_R = 125W$

A fonte de CC é substituída por uma fonte de CA de freqüência variável, com 100v RMS de saída. Ao se aumentar a freqüência de saída da fonte, a reatância indutiva (X_L) aumentará, enquanto o valor do resistor permanecerá em 80 ohms.

Quando a freqüência atingir a 500Hz, X_L terá aumentando para 40 ohms.

Calculando os valores teremos:

$Z_T = 89{,}4$ ohms

$I_T = 1{,}1$ A

$\cos\theta = 0{,}89$

Usando os valores acima observaremos que a potência real do circuito diminui com o aumento da freqüência:

$$P_R = E_a \; x \; I_T \; x \; \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 1{,}1 \times 0{,}89$$

$$P_R = 97{,}9W$$

Conforme a freqüência é aumentada ainda mais, a corrente continuará a diminuir e X_L continuará a aumentar.

Eventualmente atingiremos uma freqüência na qual X_L será igual a resistência. Por exemplo em 1 KHz:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

$$X_L = 6{,}28 \times 10^{3} \times 12{,}73 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 79{,}94 \text{ ohms}$$

Portanto em $1 K_{H_Z}$, $X_L = R$. O ângulo de fase do circuito é de 45° e a impedância total é de 113 ohms.

Desde que $X_L = R$, as tensões E_L e E_R também são iguais.

A potência real do circuito é:

$$P_R = E_a \times I_T \; \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 0{,}884 \times 0{,}707$$

$$P_R = 62{,}5W$$

Nota-se que a potência real foi diminuída para a metade de seu valor máximo de 125W. A freqüência em que $X_L = R$ $E_L = E_R$ e a potência real foi diminuída para à metade de seu valor máximo, é denominada de freqüência de corte, ponte de meia potência, ou ponto 0,707.

O termo freqüência de corte é usado porque, para freqüências abaixo do ponto de corte, a resposta do circuito é considerada (em muitos casos) abaixo de um valor utilizável.

Na freqüência de corte, a tensão de corte (E_{CO}) assim como a corrente de corte (I_{CO}), serão respectivamente:

$$E_{CO} = E_a \times 0{,}707$$

$$I_{CO} = I_M \times 0{,}707$$

Uma fórmula pode ser deduzida para determinar a freqüência de corte (f_{CO}) da seguinte maneira:

Na freqüência de corte:

$$R = X_L$$

Como:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

Então: $R = 2\pi \times f \times L$

Teremos: $R = 2\pi \times f_{CO} \times L$

$$f_{CO} = \frac{R}{2\pi \times L}$$

Onde:

f_{CO} = freqüência de corte (Hertz)

R = Resistência (Ohms)

L = indutância em (Henry)

CIRCUITO RC EM SÉRIE

As considerações básicas feitas para o circuito RL em série continuam a ter valor para o circuito RC em série que agora vamos estudar e no qual temos um resistor e um capacitor associados, como mostra a figura 1-9.

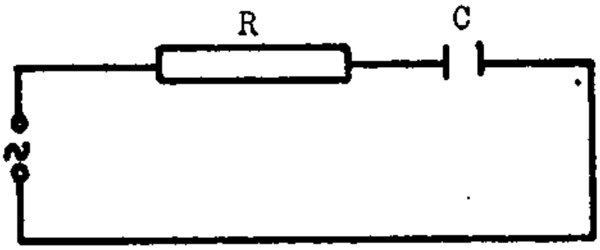


Figura 1-9

Num circuito série contendo resistor e capacitor, a queda de tensão no resistor (E_R) está em fase com a corrente; porém, a queda de tensão no capacitor (E_C) está atrasada de 90º, em relação a E_R, conforme nos mostra a figura 1-10.

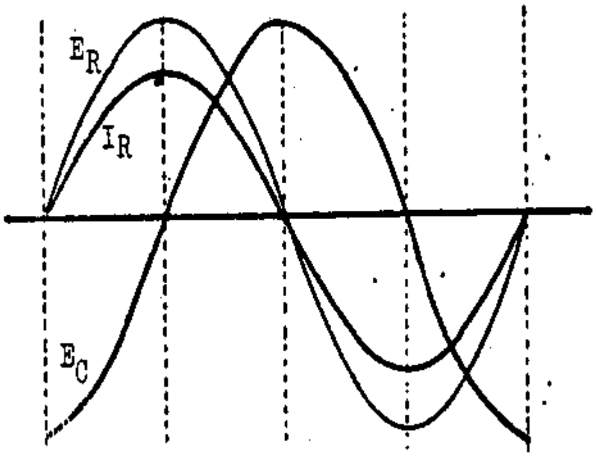


Figura 1-10

Assim, por intermédio do gráfico da figura 1-11, podemos achar a tensão resultante (E_a) que vem a ser a própria tensão aplicada, através da composição vetorial entre E_R e E_C.

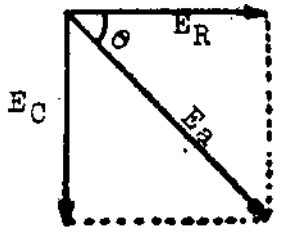


Figura 1-11

Do gráfico, tiramos a seguinte equação para o cálculo da tensão aplicada (E_a) ao circuito:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_C^2}$$

Ainda, podemos concluir que a tensão resultante (E_a) está atrasada em relação a E_R de um ângulo 0 negativo.

Impedância

Num circuito contendo resistor e capacitor, a oposição à passagem da corrente não é uma soma aritmética, mas sim uma soma vetorial semelhante ao circuito RL em série.

De acordo com o gráfico da figura 1-12, a impedância ou oposição total ao fluxo da corrente no circuito, será expressa pela equação:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

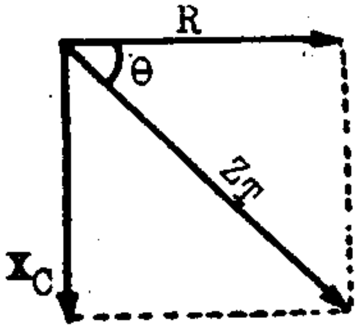


Figura 1-12

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada (E_a) com o vetor da tensão (E_T), conforme nos mostra a figura 1-13. É fácil de se verificar que o ângulo de fase é negativo.

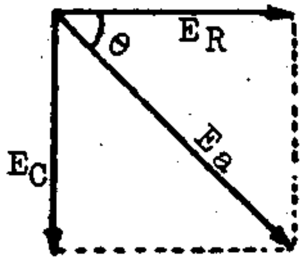


Figura 1-13

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-14 e 1-15.

Como:

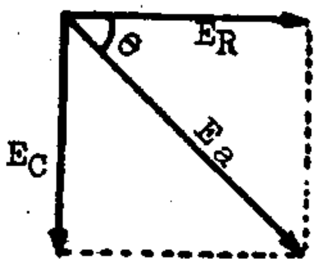


Figura 1-14

Logo: $t_g\ \theta = \frac{E_C}{E_R}$ $\cos\theta = \frac{E_R}{E_a}$

Como:

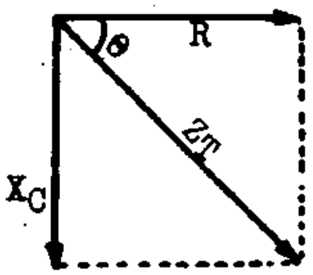


Figura 1-15

Logo: $t_g\ \theta = \frac{X_C}{R}$ $\cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Potência Elétrica

Todo circuito que contenha resistência e reatância, parte de potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte. Portanto, o produto $P_T = E_a \times I_T$, não nos dá a potência que está sendo consumida pelo circuito.

Este produto é chamado de potência aparente (P_A).

A potência aparente poderá ser calculada por qualquer umas das equações abaixo:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_A = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_A = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

Sempre que a corrente circule num circuito que contenha resistência e reatância, haverá sempre por parte do resistor, uma dissipação de potência, que é chamada de potência real, verdadeira ou efetiva do circuito.

Podemos calcular a potência real de um circuito, por intermédio das equações abaixo:

$$P_R = E_R \times I_T$$ e

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

Fator de Potência

Fator de potência é a relação entre a potência real (P_R) e a potência aparente (P_A) de um circuito. O fator de potência (f_p) poderá ser calculado por qualquer uma das equações seguintes:

$$f_p = \frac{P_R}{P_A} \qquad f_p = \cos\theta \qquad f_p = \frac{R}{Z_T}$$

Freqüência de Corte

Um circuito série RC apresentará uma discriminação de freqüência similar, em muitos aspectos, àquela encontrada em um circuito série RL.

Os termos freqüência de corte, ponto de meia potência e freqüência crítica têm o mesmo significado, conforme previamente definidos. Nos circuitos séries, a tensão desenvolvida nos componentes reativos, depende da reatância do componente a qual, por sua vez, depende da freqüência.

Como X_C é uma função inversa da freqüência, logo, à medida que a freqüência for aumentada, a reatância do capacitor diminuirá e a tensão será dividida entre o resistor e o capacitor.

A freqüência de corte será atingida quando a tensão estiver dividida igualmente entre R e C.

A freqüência de corte de um circuito série RC pode ser determinada da seguinte maneira:

Desde que a freqüência de corte (f_{co}) ocorre quando: $R = X_C$

Substituindo a equação para X_C, teremos:

$$R = \frac{1}{2\ \pi \times f \times C}$$

Substituindo f por f_{co}, teremos:

$$R = \frac{1}{2\ \pi\ x\ f_{CO}\ x\ C}$$

Logo: $f_{co} = \frac{1}{2\ \pi \times R \times C}$

Onde: F_{CO} = frequência de corte (Hertz)

R = *resistência* (*ohms*)

C = *capacitância* (*Farad*)

CIRCUITO RCL EM SÉRIE

Quando se aplica uma CA em um circuito série contendo resistor, capacitor e indutor, conforme figura 1-16, é necessário levar em consideração o fato de que os ângulos de fase entre a corrente e a tensão diferem em todos os três elementos.

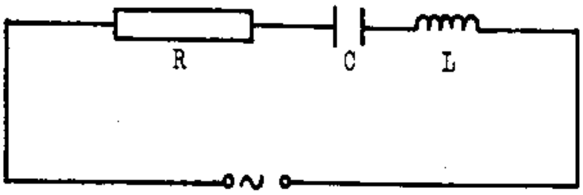


Figura 1-16

Tomando-se a corrente de um circuito série como referência, temos: No resistor, a tensão (E_R) está em fase; no indutor, a tensão (E_L) está adiantada de 90º e no capacitor, a tensão (E_C) está atrasada de 90º. Como em qualquer circuito série, a corrente é a mesma, através de todos seus componentes, podemos concluir que E_L está adiantada de 90º de E_R e E_C, atrasada de 90º de E_R, conforme nos mostra a figura 1-17A.

Logo, podemos compor o diagrama vetorial, conforme figura 1-17B:

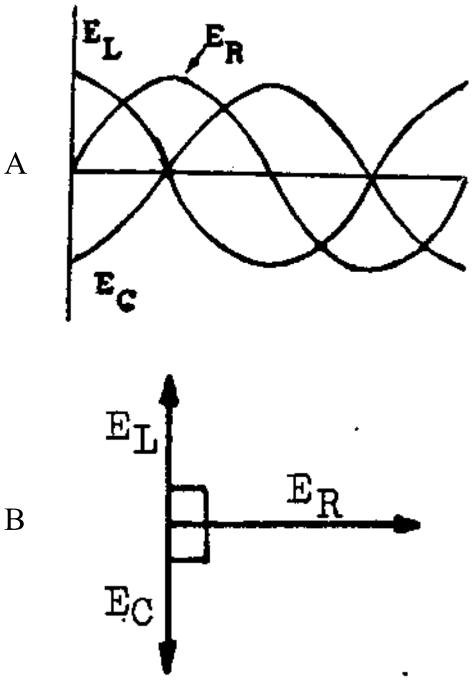


Figura 1-17

A soma vetorial das tensões E_R, E_L e E_C e igual à tensão aplicada (E_a) ao circuito. Como a tensão no capacitor E_C e a tensão no indutor E_L estão defasadas 180º, logo, a tensão resultante da composição vetorial entre E_L e E_C é a diferença, já que são vetores diretamente opostos entre si. Esta tensão resultante será somada vetorialmente com a queda de tensão no resistor (E_R), para a determinação da tensão aplicada (E_a) ao circuito. Isto é expresso pelo gráfico da figura 1-18.

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2)}$$

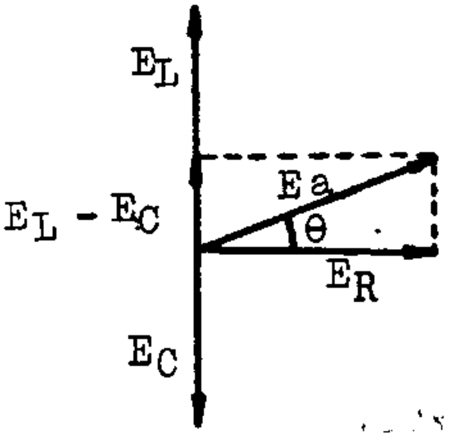


Figura 1-18

Impedância

O raciocínio para o cálculo da impedância de um circuito RCL em série de CA é semelhante ao que foi visto para o cálculo da

Assim tensão aplicada., a primeira operação será a diferença entre X_L e X_C, em virtude de serem vetores diretamente opostos entre si, conforme nos mostra a figura 1-19.

Este resultado será composto vetorialmente com o valor da impedância.

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

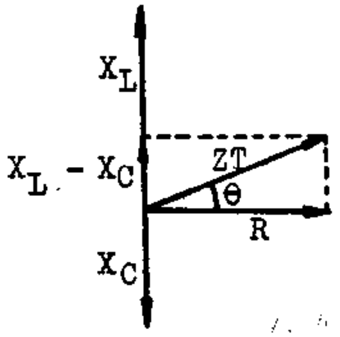


Figura 1-19

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada (E_a), com o vetor da tensão (E_R) e poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-20 e 1-21.

Como:

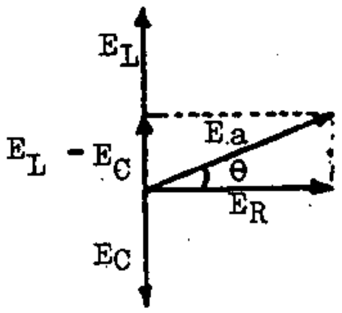


Figura 1-20

Logo:

$$tg\ \theta = \frac{E_L - E_C}{E_R}$$

$$\cos\ \theta = \frac{E_R}{E_a}$$

Como:

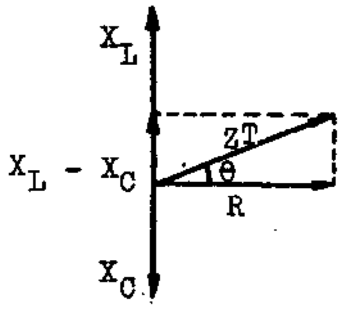


Figura 1-21

Logo: $tg\ \theta = \dfrac{X_L - X_C}{R}$

$$\cos\ \theta = \frac{R}{Z_T}$$

Classificação dos Circuitos RCL em Série:

a) Quando X_L for maior que X_C ou E_L maior que E_C temos: θ positivo, circuito RL;

b) Quando X_C for maior que X_L ou E_C maior que E_L temos: θ negativo, circuito RC;

c) Quando X_L for igual a X_C ou E_L igual a E_C temos: θ igual a zero, circuito resistivo.

Potência aparente, real e fator de potência

Empregam-se as mesmas equações já vistas nos circuitos RL ou RC, ou seja:

$$P_A = E_a \times I_T \qquad P_A = I_T^{\,2} \times Z_T$$

$$P_A = \frac{E_a^{\,2}}{Z_T}$$

$$P_R = E_R \times I_T \qquad P_R = E_a \times I_T \times \cos\ \theta$$

$$f_p = \frac{P_R}{P_A} \qquad f_p = \cos\theta$$

$$f_p = \frac{R}{Z_T}$$

Exercício resolvido:

Determine no circuito da figura 1-22, a impedância, o fator de potência, a intensidade da corrente, a potência aparente, real e a tensão em cada um dos elementos.

Dados:

X_L = 900 ohms

X_C = 500 0hms

R = 300 ohms

E_a = 125V

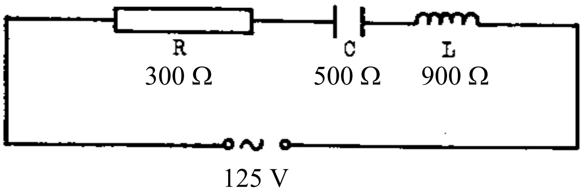


Figura 1-22

Cálculo da impedância

$$Z_T = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z_T = \sqrt{300^2 + (900 - 500)^2}$$

$$Z_T = 500\ \Omega$$

Cálculo do fator de potência:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z_T} \qquad \cos\theta = \frac{300}{500}$$

$$\cos\theta = 0,6$$

Como: $f_p = \cos\theta$

Logo: $f_p = 0,6$ ou 60%

Cálculo da intensidade da corrente:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T} \qquad I_T = \frac{125}{500}$$

$$I_T = 0,25\text{A ou } 250\text{ mA}$$

Cálculo da potência aparente:

$$P_A = E_a \times I_T \qquad P_A = 125 \times 0,25$$

$$P_A = 31,25\text{VA}$$

Cálculo da potência real:

$$P_R = E_a\ x\ I_T\ x\ \cos\theta$$

$$P_R = 125 \times 0,25 \times 0,6$$

$$P_R = 18,75\text{W}$$

Cálculo da tensão no resistor:

$$E_R = R \times I_T \qquad E_R = 300 \times 0,25$$

$$E_R = 75\text{V}$$

Cálculo da tensão no indutor:

$$E_L = X_L \times I_T \qquad E_L = 900 \times 0,25$$

$$E_L = 225\text{V}$$

Cálculo da tensão no capacitor:

$$E_C = X_C \times I_T \qquad E_C = 500 \times 0,25$$

$$E_C = 125\text{V}$$

RESSONÂNCIA EM SÉRIE

Os fenômenos de um circuito ressonante constituem uma característica muito significativa dos circuitos eletrônicos. São encontrados em rádio, radar, televisão, aplicações em projéteis teleguiados, etc. A forma que um aparelho de rádio pode sintonizar uma estação desejada, encontra sua resposta no estudo dos circuitos ressonantes.

Quando é estabelecida a igualdade entre a reatância indutiva e a reatância capacitiva ($X_L = X_C$), a qual determina a igualdade entre as tensões $E_L = E_C$, dizemos que o circuito está em ressonância.

Esta condição é desejável em vários circuitos usados em eletrônica, mas pode trazer conseqüências desagradáveis, com danos para os elementos de um circuito, quando não é prevista.

Sabemos que a reatância indutiva é diretamente proporcional à freqüência e que a reatância capacitiva é inversamente proporcional à mesma.

Assim, quando aplicamos uma CA a um circuito RCL em série e fazemos a freqüência variar desde um valor praticamente nulo a um valor alto, podemos observar o crescimento da reatância indutiva e a queda da reatância capacitiva.

Numa determinada freqüência as duas grandezas tornam-se iguais, veja a figura 1-23, e o circuito apresenta características que correspondem à condição denominada ressonância.

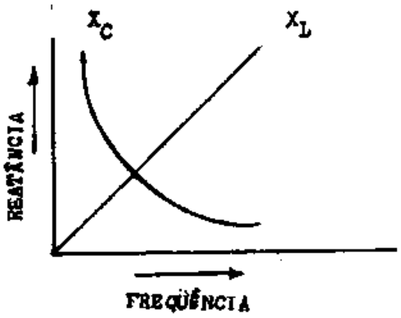


Figura 1-23

Impedância

Quando o circuito RCL em série entra em ressonância, a reatância total do circuito é zero, uma vez que X_L e X_C se anulam mutuamente porque estão 180° defasadas. É claro, portanto, que quando $X_L = X_C$ a impedância (Z_T) do circuito será a própria resistência (R), uma vez que:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Como: $X_L = X_C$

Logo: $Z_T = R$

Do exposto, é evidente, que quando um circuito RCL em série entra em ressonância, a corrente do circuito é máxima, uma vez que a impedância é mínima, pois a única oposição que o circuito oferece deve-se somente à sua resistência. Portanto, a corrente de um circuito RCL em série atinge seu maior valor no ponto de ressonância.

Análise do Circuito Ressonante

O estudo feito até agora registra as condições de um circuito sintonizado no ponto de ressonância; contudo, para que se possa entender melhor o comportamento do circuito, é necessário analisar as condições que nele existem, em ambos os lados da ressonância.

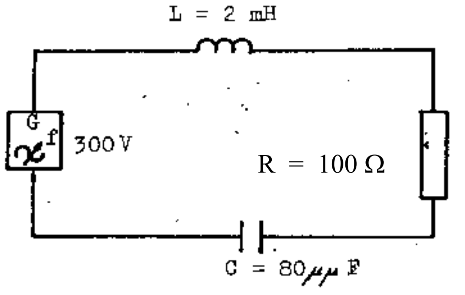


Figura 1-24

Na figura 1-24, temos circuito RCL em série, em que podemos calcular a tensão, a corrente e a impedância.

A freqüência do gerador pode ser variada de 100 a $600K_{HZ}$, permitindo dessa maneira que se observe a conduta do circuito ao entrar e ao sair de ressonância.

A corrente do circuito é calculada para as diversas freqüências do gerador. Empregando-se as equações já conhecidas, para $100\,K_{HZ}$, tem-se:

$$X_L = 2\,\pi\,f \times L$$

$$X_L = 6{,}28 \times 2 \times 10^2$$

$$X_L = 6{,}28 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 1256 \text{ ohms}$$

Como: $X_C = \dfrac{1}{2\,\pi\,f \times C}$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times 10^5 \times 8 \times 10^{-11}}$$

$$X_C = 19890 \text{ ohms}$$

A reatância efetiva ou total do circuito (X) pode então ser calculada:

$$X = X_C - X_L$$

$$X = 19890 - 1256$$

$$X = 18634$$

A impedância do circuito será:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Como X é 200 vezes maior que R, a impedância pode ser considerada, na prática, igual à própria reatância.

Então, ter-se-á: $Z_T = 18634$

A corrente I_T, calcula-se pela Lei de Ohm, logo teremos: $I_T = \dfrac{E_a}{Z_T}$

$$I_T = \frac{3000}{18634} \qquad I_T = 16\,mA$$

Em uma análise do comportamento do circuito, podem-se calcular os valores acima determinados entre os limites de trabalho do equipamento (100 a 600KHz).

A tabela abaixo (figura 1-25) relaciona os valores das reatâncias, a diferença entre elas, a impedância e a corrente no circuito, para cada freqüência de operação.

FREQ.	X_l	X_c	x	R	Z	E	I
KHz	OHM	OHM	x_l-x_c	OHM	OHM	VOLT	AMPERE
100	1256	19890	18634	100	18634	300	0,016
200	2512	9945	7433	100	7433	300	0,04
398	5000	5000	ZERO	100	100	300	3
500	6280	3978	2302	100	2302	300	0,13
600	7536	3315	4221	100	4221	300	0,071

Figura 1-25

A figura 1-26 apresenta o gráfico da variação da corrente em função da freqüência. O conjunto gráfico e tabela mostra claramente que, na freqüência de ressonância (398), a impedância é mínima (igual a R), a corrente é máxima e as reatâncias são iguais.

Portanto, um circuito série ressonante RCL atua como se fora um circuito simples, unicamente resistivo. O fluxo da corrente é limitado exclusivamente pela resistência.

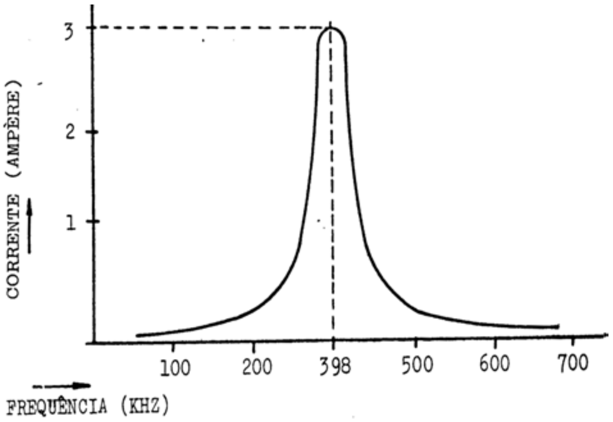


Figura 1-26

Todavia, as tensões nos elementos reativos, embora iguais e opostas, podem atingir valores bastante elevados. Essas tensões são determinadas pela corrente que percorre o circuito multiplicado pela reatância do elemento (Lei de Ohm).

No circuito da figura 27, temos o circuito RCL em ressonância, onde os medidores nos mostram as leituras das tensões e correntes.

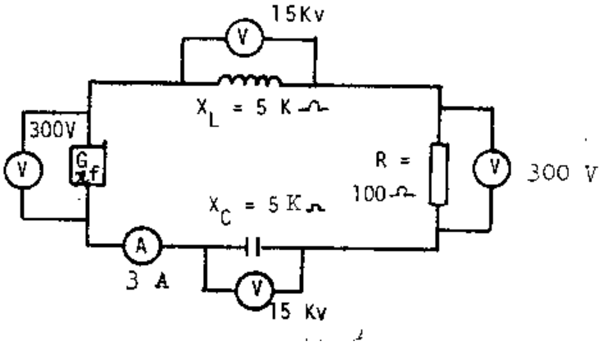


Figura 1-27

$$E_L = I_T \times X_L = 3 \times 5000 = 15000v$$

$$E_C = I_T \times X_C = 3 \times 5000 = 15000v$$

A tensão em L ou C é igual a 50 vezes a tensão aplicada. A tensão reativa depende da corrente que percorre o circuito a qual, por sua vez, depende da resistência ôhmica.

Desta forma, um circuito ressonante de resistência pequena é capaz de gerar tensões elevadas através das reatâncias.

Isto se aplica a circuitos que necessitam de um ganho de tensão, embora lhes seja aplicada uma baixa tensão.

Freqüência de Ressonância

A freqüência em que um circuito RCL em série entra em ressonância pode ser determinada da seguinte maneira:

Como: $X_L = X_C$

Logo teremos:

$$2\,\pi\,f \times L = \frac{1}{2\,\pi f \times c}$$

$$4\,\pi^2 \times f^2 \times C \times L = 1$$

$$f^2 = \frac{1}{4\,\pi^2 \times L \times C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\,\pi\sqrt{L \times C}}$$

Onde:

f_r = freqüência de ressonância (Hertz)

L = indutância (Henry)

C = Capacitância (Farad)

Um exame da equação em apreço faz-nos concluir que a resistência do circuito não influi na sua freqüência de ressonância e que esta só depende do produto LC. Isto significa que circuitos com valores diferentes para L e para C podem entrar em ressonância na mesma freqüência, desde que os produtos LC sejam iguais.

Por isto, podem-se fazer num circuito, várias combinações de L e C, obtendo-se o mesmo produto. Sendo constante o produto, constante será também a freqüência de ressonância. Exemplo: uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 32 μμ F irão ressonar na mesma freqüência (398_{HZ} que uma bobina de 2 mH e uma capacitância de 80μμ F.

Curvas de Ressonância

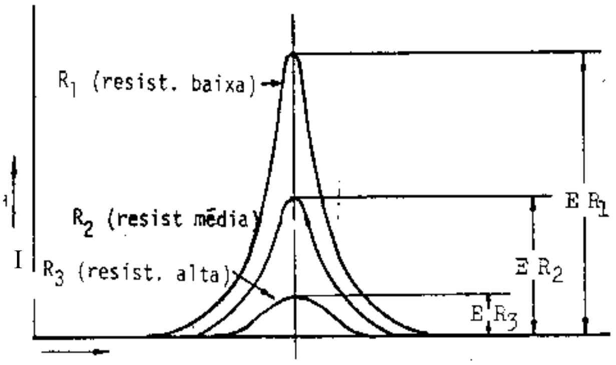
Como já foi visto, a freqüência de ressonância independe do valor da resistência do circuito. Um circuito que tenha uma resistência de 100 ohms terá a mesma freqüência de ressonância que um circuito com 1 ohm de resistência, desde que o produto LC seja constante, em ambos os casos. Entretanto, a intensidade da corrente no circuito cresce à medida que a resistência diminui.

Se fosse possível montar um circuito com resistência nula, a corrente na ressonância seria infinitamente grande.

Na prática, a resistência nunca é nula, mas pode ser elevada e dentro dos limites finitos. Na figura 1-28, temos algumas curvas típicas de ressonância para um circuito que tenha os mesmos valores L de e C, mas valores diferentes para a resistência.

A diferença entre os valores de pico de cada um das curvas deve-se ao fato das resistências possuírem valores diferentes. Observe-se também que à medida que a resistência R aumenta, as curvas de respostas tornam-se mais achatadas e mais largas nas proximidades da freqüência de ressonância.

Se a resistência de um circuito ressonante for muito grande, o circuito perde sua utilidade como seletor de freqüência, por ser diminuta a discriminação do fluxo de corrente entre as freqüências que são e as que não o são.



f_r = freqüência ressonante

Figura 1-28

Assim, o circuito perde a vantagem de seletividade de freqüência.

O “Q” e a seletividade

A fim de que os receptores de rádio possam desempenhar suas funções, é necessário que este selecione uma estreita faixa de freqüência, rejeitando as demais.

Só assim se conseguirá separar emissoras que se acham muito próximas no dial do rádio.

Quanto mais estreita for a faixa de freqüência, maior será sua seletividade. Portanto, seletividade é a aptidão que tem um receptor de selecionar um sinal, entre muitos outros de freqüências próximas.

A seletividade de um aparelho é determinada pelos seus circuitos sintonizados.

Quanto menor possamos fazer a resistência de uma bobina, com respeito à sua reatância, maior será a seletividade.

A seletividade de uma bobina é medida pela relação “Q” que é igual à sua reatância dividida pela sua resistência.

Como a resistência de um capacitor é mais baixa do que a resistência de uma bobina, esta constitui o elo mais fraco do circuito sintonizado.

O “Q” do circuito sintonizado é o “Q” da bobina.

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Como:

$$X_L = \frac{E_L}{I_T} \qquad \text{e} \qquad R = \frac{E_a}{I_T}$$

Logo: $Q = \dfrac{\dfrac{E_L}{I_T}}{\dfrac{E_a}{I_T}}$ $\qquad Q = \dfrac{E_L}{\cancel{I_T}} \times \dfrac{\cancel{I_T}}{E_a}$

$$Q = \frac{E_L}{E_a}$$

Portanto, o “Q” de um circuito série ressonante vem a ser também a relação que existe entre a tensão no indutor ou no capacitor $(E_L = E_C)$ e a tensão aplicada (E_a) ao circuito.

A expressão anterior indica que o “Q” varia inversamente com a resistência do circuito; quanto mais baixa a resistência, maior será o “Q”.

As curvas de ressonância indicam que, quanto mais baixa for a resistência do circuito, maior será sua discriminação de freqüência. Por isto, o “Q” indica a capacidade de um circuito ressonante para selecionar ou rejeitar uma determinada faixa de freqüência, sendo por isso, conhecido como fator de qualidade ou mérito de um circuito.

Quanto maior for o “Q” de um circuito ressonante em série, maior será seu valor como seletor de freqüência.

Influência do “Q” no Ganho de Tensão

No circuito da figura 1-27, as tensões nas reatâncias por ocasião da ressonância são de 15000 volts, ao passo que a tensão aplicada (que é a mesma da resistência) é de 300 volts.

Esta alta tensão depende diretamente da corrente que percorre o circuito, a qual, por sua vez, depende da tensão aplicada e da resistência.

Comparando-se a tensão em uma das reatâncias com a tensão aplicada, tem-se uma idéia exata da qualidade do circuito ressonante.

O circuito ressonante em série amplifica a tensão aplicada na freqüência de ressonância. Se as perdas do circuito são baixas, o “Q” do circuito será alto e a amplificação de tensão será relativamente grande. A amplificação de tensão do circuito da figura 1-27, será de:

$$Q = \frac{E_L}{E_a}$$

$$Q = \frac{15000}{300} \qquad Q = 50$$

Largura de Faixa

Largura de faixa (Band Width) ou faixa de passagem de um circuito é uma faixa de freqüência na qual a variação da tensão aplicada, produz resposta que não difere muito da obtida na freqüência de ressonância.

Os limites mínimos da resposta em geral, são tomadas na curva de ressonância a 0,707 do valor máximo da corrente ou tensão, conforme o que se esteja calculando.

Na figura 1-29, a área sombreada representa a faixa de freqüência para a qual a corrente é maior que 0,707 do valor de pico. Observe-se que a metade desta faixa fica acima da freqüência de ressonância (f_r até f_2) e a outra metade abaixo (f_r até f_1).

As duas freqüências, uma acima e outra abaixo da ressonância, nas quais são obtidas respostas mínimas, formam os limites da largura da faixa aceita do circuito.

Os pontos f_1 e f_2 são chamados pontos de meia potência, em virtude desses pontos corresponderem a 50% da potência máxima.

A largura da faixa de passagem, também conhecida como passa banda (ban pass), pode ser determinada pela seguinte equação:

$$Bw = f_2 - f_1$$

Em que:

Bw = faixa de passagem (Hertz)

f_2 = freqüência mais alta que passa pelo circuito (Hertz)

f_1 = freqüência mais baixa que passa pelo circuito (Hertz)

Todavia, como o “Q” do circuito determina a largura total da curva de ressonância, a faixa de passagem também pode ser calculada baseando-se na freqüência de ressonância (f_r) e no “Q” do circuito, ou seja:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

Em que:

B_w = faixa de passagem (Hertz)

f_r = freqüência de ressonância (Hertz)

Q = qualidade ou ganho

Nesta fórmula, permite ver-se que quanto maior for o “Q”, menor será a faixa de passagem e, inversamente, quanto menor for o “Q”, maior será a faixa de passagem.

A freqüência mais baixa que passa pelo circuito (f_1) assim como a mais alta (f_2) podem ser calculadas da seguinte maneira:

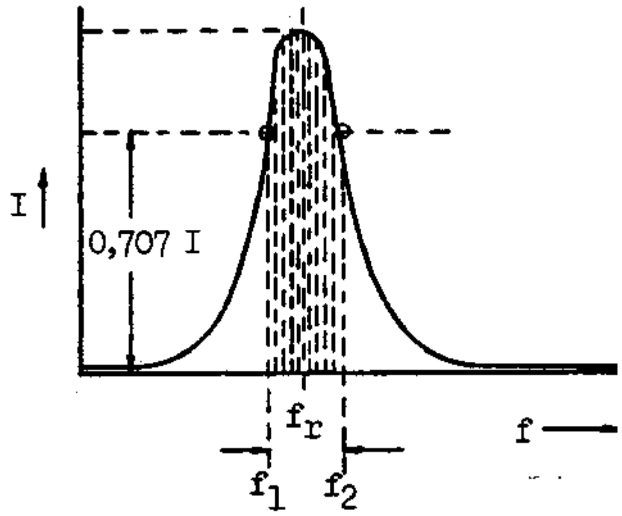


Figura 1-29

Como:

$$f_r - f_1 = \frac{Bw}{2} \quad \text{e} \quad f_2 - f_r = \frac{Bw}{2}$$

Logo:

$$f_1 = f_r - \frac{Bw}{2} \qquad f_2 = f_r + \frac{Bw}{2}$$

Exercício resolvido:

Calcule a faixa de passagem do circuito da figura 1-30, sabendo-se que sua freqüência de ressonância é de 160_{HZ} e monte sua curva de ressonância.

Dados: X_L = 400 ohms

X_C = 400 ohms f_r = 160000 Hz

R = 5 ohms E_a = 50v

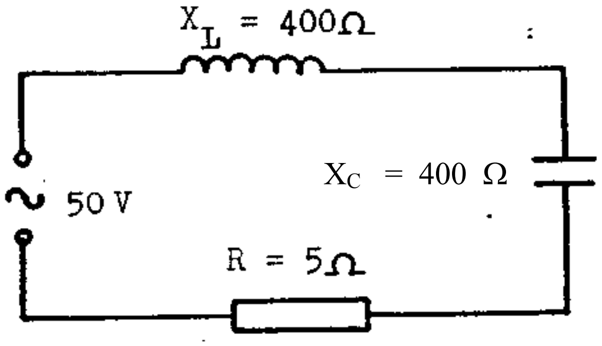


Figura 1-30

Cálculo da corrente:

$$I = \frac{E}{R} \qquad I = \frac{50}{5} \qquad I = 10A$$

Cálculo do “Q”:

$$Q = X_L \qquad Q = \frac{400}{5} \qquad Q = 80$$

Cálculo da Faixa de Passagem:

Faixa de passagem:

$$\frac{f_r}{Q} = \frac{160000}{80} = 2000 \text{ Hz}$$

Para a Curva de Ressonância, teremos:

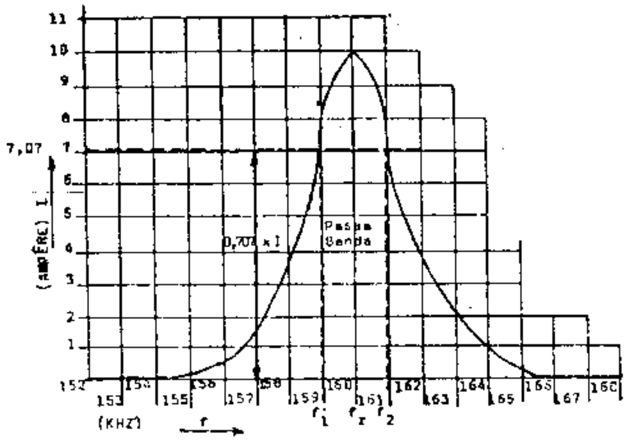


Figura 1-31

No rádio, da mesma forma que nos outros equipamentos eletrônicos, é muito freqüente o uso e a aplicação dos circuitos reativos em paralelo.

A importância dos circuitos reativos em paralelo deve-se ao fato de que eles aparecem no estudo dos amplificadores eletrônicos e, devido a isso, é essencial a compreensão das relações existentes entre tensões, intensidade de corrente, impedância e potência nesses circuitos.

CIRCUITO RL EM PARALELO

Vimos que, no circuito reativo em série, por ser a corrente um elemento constante em todos os pontos do circuito, tomávamos seu vetor como referência, para representação gráfica e cálculos.

No circuito reativo em paralelo, porém, o elemento constante é a tensão, ou seja, a tensão aplicada é a mesma em todos os ramos do circuito. Além de terem o mesmo valor estão em fase.

Daí a razão porque a tomaremos como vetor referência.

Intensidade de corrente

Ao se ligar um indutor em paralelo com um resistor, a tensão no indutor (E_L) e no resistor (E_R) é idêntica à tensão aplicada e estão em fase entre si.

Todavia, a corrente através do indutor está atrasada de 90º em relação à tensão aplicada, e a corrente através do resistor está em fase com a tensão aplicada. Logo, podemos concluir que a corrente no indutor (I_L) está atrasada de 90º em relação a corrente no resistor (I_R).

A figura 1-32, nos mostra um circuito RL em paralelo e a figura 1-33, sua relação de fase.

A corrente total de qualquer circuito RL em paralelo não pode ser determinada pela soma aritmética das correntes nos vários ramais, por causa da diferença de fase.

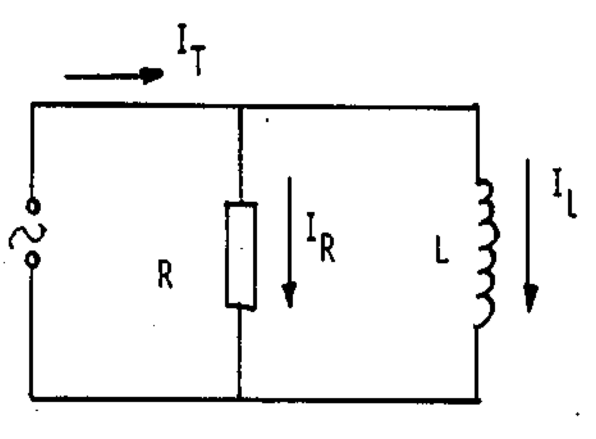


Figura 1-32

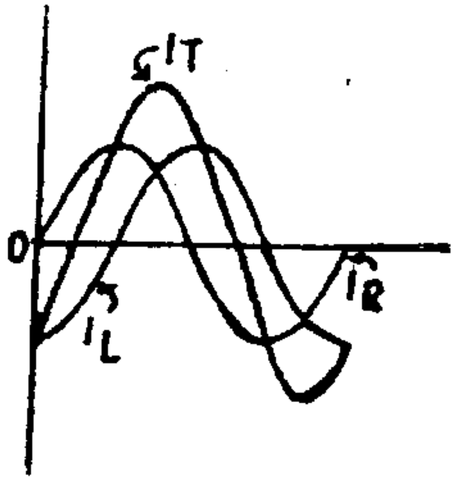


Figura 1-33

No gráfico da figura 1-34, a corrente no resistor I_R é representada pelo vetor horizontal e a corrente no indutor I_L, pelo vetor vertical. O vetor I_L é orientado no sentido negativo porque está atrasado em relação a I_R.

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

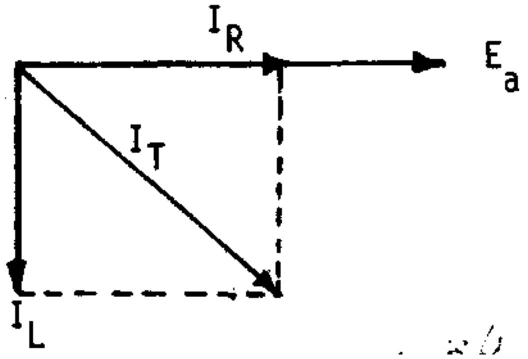


Figura 1-34

O módulo do vetor da corrente de linha I_T é sempre maior do que I_R ou I_L, porque ele é a hipotenusa de um triângulo retângulo.

Para se calcular a corrente no resistor e no indutor, emprega-se a Lei de Ohm:

$$I_R = \frac{E_R}{R} \qquad I_L = \frac{E_L}{X_L}$$

Como: $E_a = E_R = E_L$

Logo:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

Em que:

E_a = tensão aplicada (volts)

E_R = tensão no resistor (volts)

E_L = tensão no indutor (volts)

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RL em paralelo pode ser determinada pela Lei de Ohm, ou seja:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

Todavia, nos circuitos CC, vimos que, para efetuar o cálculo da resistência equivalente entre dois resistores no circuito, empregávamos a seguinte fórmula:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Analogamente, nos circuitos reativos em paralelo, podemos calcular a impedância por intermédio de uma fórmula semelhante a esta. Donde, por analogia, teremos:

$$Z_T = \frac{R \times X_L}{\sqrt{R^2 \times X_L^2}}$$

Ângulo de Fase

Denomina-se ângulo de fase (θ), ao ângulo que a corrente de linha (I_T) forma com a tensão aplicada (E_a). Veja a figura 1-35.

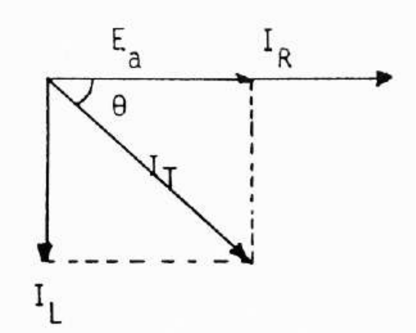


Figura 1-35

O ângulo de fase (θ) poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama vetorial da figura 1-36.

Logo: $\operatorname{tg} \theta = \dfrac{I_L}{I_R}$

Como: $I_L = \dfrac{E_a}{X_L}$ e $I_R = \dfrac{E_a}{R}$

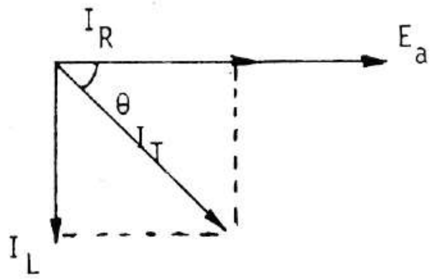


Figura 1-36

Logo: $\operatorname{tg} \theta = \dfrac{\frac{E_a}{X_L}}{\frac{E_a}{R}}$

$\operatorname{tg} \theta = \dfrac{\cancel{E_a}}{X_L} \times \dfrac{R}{\cancel{E_a}}$ $\qquad$ $\operatorname{tg} \theta = \dfrac{R}{X_L}$

Em função do diagrama da figura 1-36 temos que, o $\cos \theta = \dfrac{I_R}{I_T}$

Como: $I_R = \dfrac{E_a}{R}$ e $I_T = \dfrac{E_a}{Z_T}$

Logo: $\cos \theta = \dfrac{\frac{E_a}{R}}{\frac{E_a}{Z_T}}$

$\cos \theta = \dfrac{\cancel{E_a}}{R} \times \dfrac{Z_T}{\cancel{E_a}}$ $\qquad$ $\cos \theta = \dfrac{Z_T}{R}$

Potência Elétrica

Todo circuito que contenha resistência e reatância, parte da potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte. O produto $P_T = E_a \times I_T$, é chamado de potência aparente, (P_a) sendo sua unidade o Volt Ampère (VA).

A potência aparente poderá ser calculada por qualquer uma das equações abaixo:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_a = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_a = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

A potência dissipada pelo resistor é chamada de potência real, verdadeira ou efetiva do circuito, sendo sua unidade o Watt.

Podemos calcular a potência real (P_R) de um circuito por intermédio da seguinte equação:

$$P_R = E_a \times I_R$$

Como:

$$\cos \theta = \frac{I_R}{I_T}$$

Logo::

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos \theta$$

Fator de Potência

Defini-se como fator de potência (f_p), a relação entre a potência real (P_R)e a potência aparente (P_A) de um circuito.

$$f_p = \frac{P_R}{P_A}$$

Como:

$$P_R = E_a \times I_R \quad \text{e} \quad P_A = E_a \times I_T$$

Logo: $f_p = \frac{\cancel{E_a} \times I_R}{\cancel{E_a} \times I_T}$ $\quad f_p = \frac{I_R}{I_T}$

Porém, como $\cos \theta = \frac{I_R}{I_T}$

Logo: $f_p = \cos \theta$

Em conseqüência, o fator de potência poderá ser calculado por qualquer uma das equações apresentadas.

O fator de potência é usualmente expresso em fração decimal ou percentagem.

CIRCUITO RC EM PARALELO

As considerações básicas, feitas para o circuito RL em paralelo, continuam a ter valor para o circuito RC em paralelo que agora vamos estudar e no qual temos um resistor e um capacitor associados, como mostra a figura 1-37.

Tratando-se de um circuito em paralelo, a tensão é a mesma em qualquer ponto do circuito e estão em fase entre si.

Contudo, a corrente que atravessa o capacitor está adiantada de 90º em relação ã tensão aplicada e a corrente que percorre o resistor está em fase com a mesma tensão, conforme nos mostra a figura 1-38.

Isto quer dizer que a corrente capacitiva se apresenta defasada de 90º, em avanço sobre a corrente resistiva.

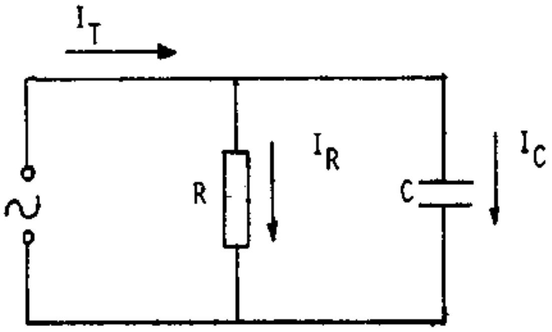


Figura 1-37

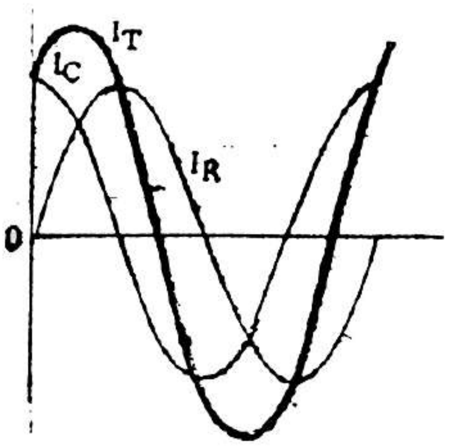


Figura 1-38

No gráfico da figura 1-39, a corrente I_R é representada pelo vetor horizontal e a corrente no indutor I_C pelo vetor vertical. O vetor I_C é orientado no sentido positivo porque está adiantado em relação a I_R.

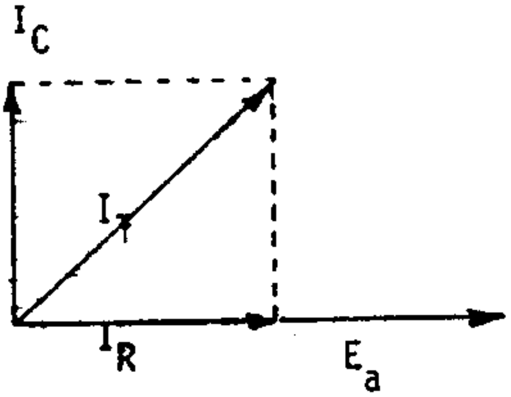


Figura 1-39

A corrente resultante (I_T) ou de linha é a soma vetorial destas duas correntes, ou seja:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

O módulo do vetor da corrente de linha (I_T) é sempre maior do que I_R ou I_C, porque ele é a hipotenusa de um triângulo retângulo.

Para se calcular a corrente no resistor e no capacitor, emprega-se a Lei de Ohm:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RC em paralelo pode ser determinada pela lei de Ohm, ou seja:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

Ou através da seguinte equação:

$$Z = \frac{R \times X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da corrente de linha (I_T) com o vetor da tensão aplicada (E_a).

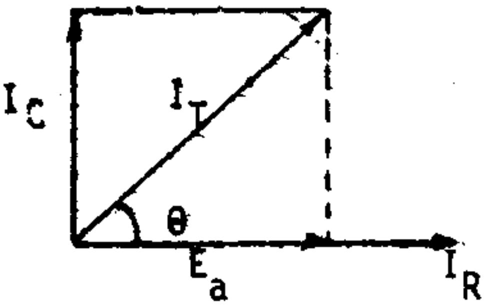


Figura 1-40

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama vetorial da figura 1-41.

Como:

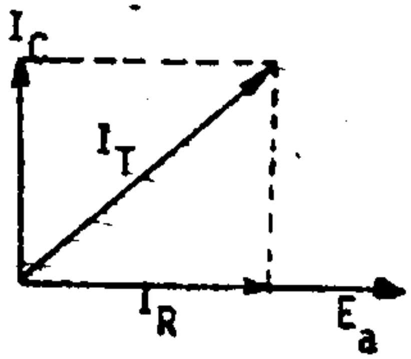


Figura 1-41

Logo: $\operatorname{tg}\theta = \frac{I_C}{I_R}$

Porém, como: $I_C = \frac{E_a}{X_C}$ e $I_R = \frac{E_a}{R}$

Logo: $\operatorname{tg}\theta = \frac{\frac{E_a}{X_C}}{\frac{E_a}{R}}$ $\quad \operatorname{tg}\theta = \frac{E_a}{X_C} \times \frac{R}{E_a}$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{R}{X_C}$$

Em função do diagrama da figura 1-41, temos que, o $\cos\theta = \frac{I_R}{I_T}$

Como: $I_R = \frac{E_a}{R}$ e $I_T = \frac{E_a}{Z_T}$

Logo:

$$\cos\,\theta = \frac{\dfrac{E_a}{R}}{\dfrac{E_a}{Z_T}} \qquad \cos\,\theta = \frac{\cancel{E_a}}{R} \times \frac{Z_T}{\cancel{E_a}}$$

$$\cos\,\theta = \frac{Z_T}{R}$$

Potência aparente e real

Para se calcular a potência aparente (P_a) e a potência real (P_R), empregam-se as mesmas equações já vistas no circuito RL em paralelo, ou seja:

$$P_a = E_a \times I_T \qquad P_a = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_a = \frac{E_a^2}{Z_T} \qquad P_R = E_a \times I_R$$

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\,\theta$$

Fator de Potência

Para o cálculo do fator de potência empregam-se as mesmas equações vistas no circuito RL em paralelo, em que:

$$f_p = \frac{P_R}{P_a}$$

$$f_p = \frac{I_R}{I_T}$$

$$f_p = \cos\,\theta$$

CIRCUITO RCL EM PARALELO

Quando se aplica uma CA em um circuito paralelo contendo resistor, capacitor e indutor, conforme mostra a figura 1-42, é necessário levar em consideração o fato de que os ângulos de fase entre a corrente e a tensão diferem nos três elementos.

Tomando-se a tensão de um circuito paralelo como referência, temos: no resistor, a corrente (I_R) está em fase: no indutor, a corrente (I_L) está atrasada de 90º e no capacitor, a corrente (I_C) está adiantada de 90º.

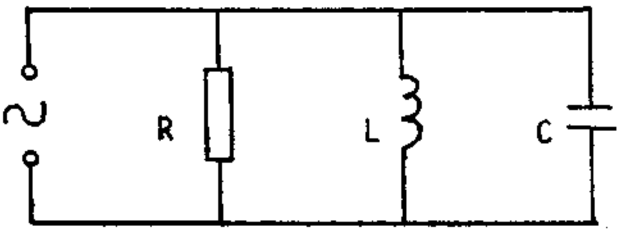


Figura 1-42

Como em qualquer circuito em paralelo, a tensão é a mesma em qualquer ponto do circuito e estão em fase entre si, podemos concluir que I_L está atrasada de 90º de I_R e I_C adiantada de 90º de I_R, conforme nos mostra a figura 1-43. Logo, podemos compor o diagrama vetorial, conforme figura 1-44.

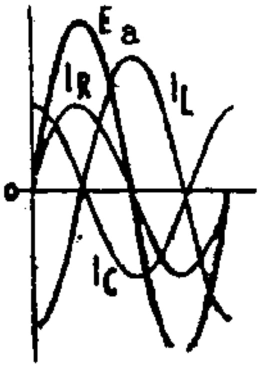


Figura 1-43

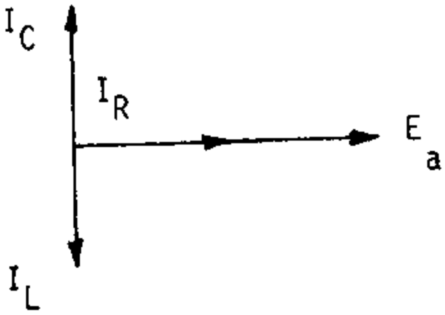


Figura 1-44

A soma vetorial das correntes I_R, I_L e I_C é igual a corrente total ou de linha do circuito. Como a corrente no capacitor I_C e a corrente no indutor I_L estão defasadas de 180º, logo, a corrente resultante da composição vetorial entre I_C e I_L é a diferença, já que são vetores diretamente apostos entre si. Esta corrente resultante será somada vetorialmente, com a corrente do resistor I_R, para a determinação da corrente total ou de linha do circuito. Isto é expresso pelo gráfico da figura 1-45.

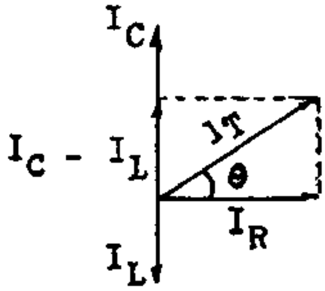


Figura 1-45

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

Neste tipo de circuito existe uma corrente circulatória que vem a ser a menor entre as duas correntes I_L e I_C. Esta corrente circula apenas no circuito formado por L e C. Depois da carga inicial do capacitor, ele descarrega através da bobina.

O fluxo da corrente através da bobina produz um campo magnético que se mantém, enquanto a corrente estiver fluindo.

Quando a corrente se reduz a zero, o campo magnético se desvanece, induzindo uma corrente que carrega o capacitor, mas com polaridade oposta à original. Aí o capacitor se descarrega em sentido oposto.

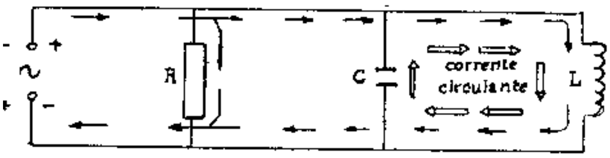


Figura 1-46

Os ciclos se repetem e o capacitor volta a se carregar ao seu estado original. Esses ciclos se repetem periodicamente e a sua ação dá origem a corrente circulatória, veja a figura 1-46.Para se calcular a corrente no resistor, capacitor e indutor, emprega-se a Lei de Ohm.

$$I_R = \frac{E_a}{R}$$

$$I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

$$I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RCL em paralelo pode ser determinada pela Lei de Ohm, em que:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

ou através da seguinte equação:

$$Z_T = \frac{R \ x \ Z_1}{\sqrt{R^2 + Z_1^2}}$$

Onde:

$$Z_T = \frac{X_L \ x \ X_C}{X_C - X_L}$$

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama da figura 1-47.

Como:

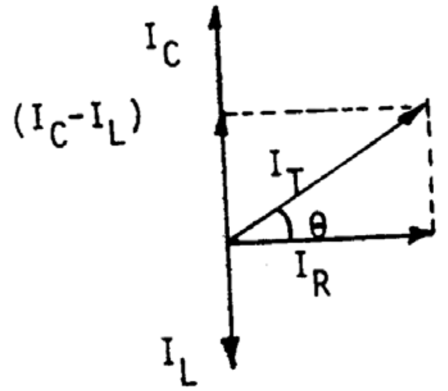


Figura 1-47

Logo:

$$\text{tg } \theta = \frac{I_C - I_L}{I_R} \qquad \cos \theta = \frac{I_R}{I_T} \text{ ou } \frac{Z_T}{R}$$

Classificação dos circuitos RCL em paralelo:

a) Quando X_L for menor que X_C ou I_L maior que I_C, temos: θ negativo, circuito R_L.

b) Quando X_C for menor que X_L ou I_C maior que I_L temos: θ positivo, circuito R_C.

c) Quando X_L for igual a X_C ou I_L igual a I_C, temos: θ igual a zero, circuito RESISTIVO.

Potência aparente, real e fator de potência

Para o cálculo, empregam-se as mesmas equações já vistas nos circuitos R_L ou RC em paralelo, ou seja:

$$P_A = E_a \times I_T \qquad P_A = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_A = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

$$P_R = E_a \times I_R$$

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

$$f_p = \frac{P_R}{P_A} \qquad f_p = \cos\theta$$

$$f_p = \frac{I_R}{I_T} \qquad f_p = \frac{Z_T}{R}$$

Dado o circuito da figura 1-48, determinar:

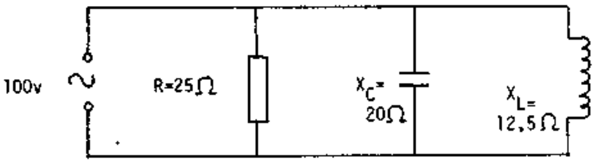


Figura 1-48

As intensidades de corrente I_R, I_C e I_L:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_R = \frac{100}{25\ \Omega} \qquad I_R = 4A$$

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \qquad I_C = \frac{100V}{20\ \Omega} \qquad I_C = 5A$$

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{100V}{12{,}5\ \Omega} \qquad I_L = 8A$$

A corrente total ou de linha:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I_T = \sqrt{4^2 + (8 - 5)^2}$$

$$I_T = \sqrt{16 + 9} \qquad I_T = 5\ A$$

A impedância total do circuito:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T} \qquad Z_T = \frac{100V}{5\ A}$$

$$Z_T = 20\ \Omega$$

O fator de potência:

$$f_p = \frac{I_R}{I_T} \qquad f_p = \frac{4\ A}{5\ A}$$

$$f_p = 0{,}8 \text{ ou } 80\%$$

A potência real:

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 5 \times 0{,}8$$

$$P_R = 400\ W$$

A potência aparente:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_A = 100 \times 5$$

$$P_A = 500\ VA$$

A corrente circulante no tanque:

A corrente circulatória é a menor entre as duas correntes I_L ou I_C.

Como I_C é a menor corrente, logo, a corrente circulatória será de 5^A.

RESSONÂNCIA EM PARALELO E CIRCUITO TANQUE IDEAL

Ressonância em paralelo

O circuito sintonizado em paralelo é um dos mais importantes da eletrônica, sendo amplamente empregado em transmissores, radio, radar, etc.

O fenômeno da ressonância em série, também se presta a uma análise nos circuitos em paralelo, entretanto, sua aplicação revela condições diferentes de operação.

Um circuito em paralelo encontra-se em ressonância quando é estabelecida a igualdade entre a reatância indutiva e a reatância capacitiva ($X_L = X_C$) a qual determina a igualdade entre as correntes $I_L = I_C$.

Circuito Tanque Ideal

Chama-se comumente tanque a qualquer associação LC, particularmente quando as reatâncias são ligadas, conforme a figura 1-49.

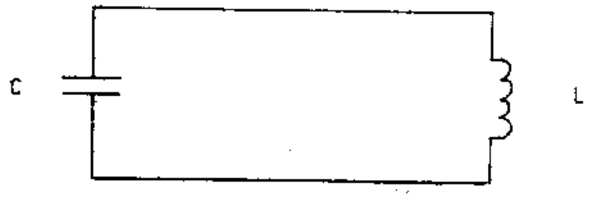


Figura 1-49

A designação tanque resulta da capacidade que têm os circuitos LC de armazenar energia. Embora o circuito tanque ideal não seja exeqüível na prática, uma análise de seu comportamento é instrutiva.

A figura 1-50 representa o esquema de um circuito tanque ideal (R = 0) em que um indutor e um capacitor estão associados em paralelo e ligados a uma fonte de CA de freqüência variável.

Há, portanto, dois caminhos por onde a corrente pode circular; um pelo indutor e outro pelo capacitor.

Se a fonte de CA operar em baixa freqüência, a maior parte da corrente circulará pelo indutor do que pelo capacitor, porque X_L é menor que X_C. Se, porém, a fonte de CA operar em alta freqüência, a maior parte da corrente circulará pelo capacitor porque X_C é menor que X_L.

Para uma determinada freqüência a reatância indutiva será igual à reatância capacitiva $(X_L = X_C)$, logo, o circuito entra em ressonância.

A figura 1-51 mostra o gráfico da variação da reatância indutiva e capacitiva em função da freqüência.

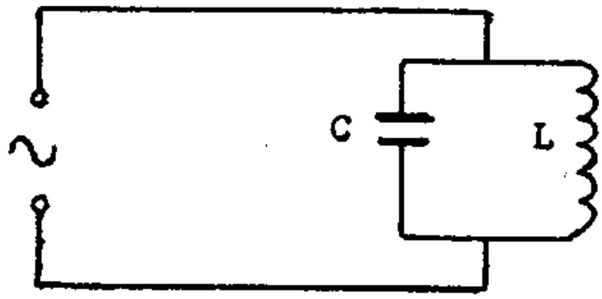


Figura 1-50

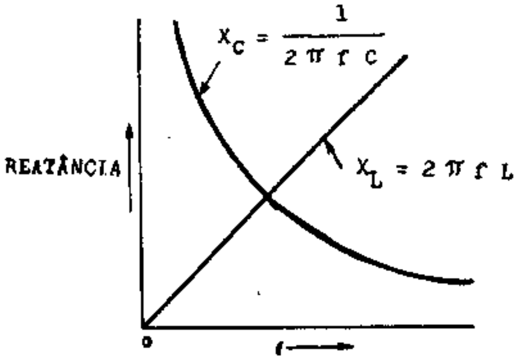


Figura 1-51

Uma vez estando o circuito em ressonância, a corrente através do indutor e do capacitor são iguais ($I_L = I_C$), porém defasadas de 180º. Assim sendo, a corrente total ou de linha que é a soma vetorial de I_L e I_C, é igual a zero. Este fato é mostrado por intermédio do diagrama vetorial da figura 1-52. Assim, nesse circuito ressonante em paralelo hipotético, a impedância do circuito será infinita e não haverá corrente de linha.

Todavia, haverá uma corrente circulatória no tanque apesar de nenhuma corrente ser fornecida pela fonte.

Depois da carga inicial do capacitor, ele descarrega sobre o indutor, isto é, a energia armazenada no capacitor fornece a corrente que percorre o indutor.

O campo magnético resultante em torno do indutor age como fonte de energia para recarregar o capacitor.

Essa transferência de energia entre os dois elementos continua na freqüência de ressonância sem qualquer perda.

O sistema está em estado oscilatório e pode ser comparado com um pêndulo em que, não havendo atrito, oscila continuamente, desde que tenha recebido um deslocamento inicial devido a uma fonte de energia.

$I_L = I_C$ e $X_L = X_C$

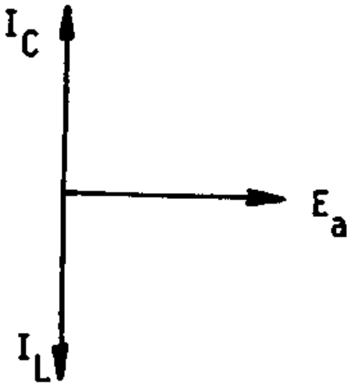


Figura 1-52

Mas, da mesma maneira que o pêndulo real nunca é totalmente desprovido de atrito e dissipa alguma energia durante a oscilação, os circuitos ressonantes em paralelo, na prática, incluem alguma resistência que absorve energia da fonte original.

Conseqüentemente apesar da impedância do circuito ser máxima na ressonância, tem valor finito, e não infinito e a corrente de linha, apesar de ser mínima e estar em fase com a tensão aplicada, não é igual a zero.

Na figura 1-53, temos o gráfico representativo da impedância e corrente em relação à variação de freqüência.

A corrente circulatória no tanque tem o mesmo sentido e é máxima quando o circuito encontra-se em ressonância.

Veja a figura 1-54.

A corrente circulatória, é considerada como sendo a corrente do capacitor I_C ou do indutor I_L, uma vez que $I_L = I_C$ e pode ser facilmente determinada pela Lei de Ohm:

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \quad \text{e} \quad I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

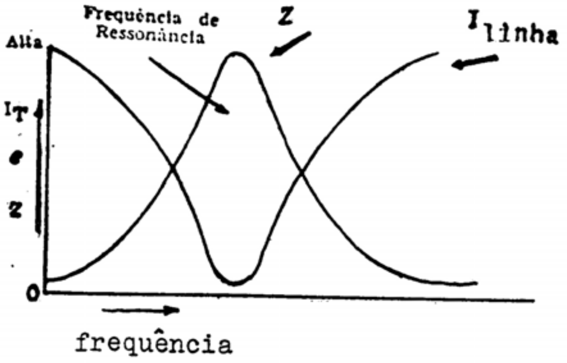


Figura 1-53

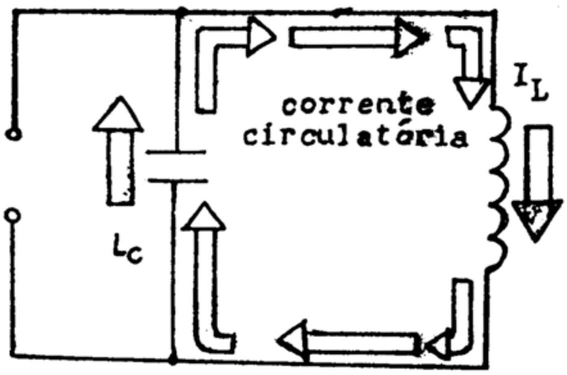


Figura 1-54

A ressonância nos circuitos paralelos é chamada de anti-ressonante, por serem seus efeitos exatamente opostos aos observados nos circuitos em série.

Freqüência Anti-ressonante

Aplica-se a expressão de freqüência anti-ressonante ao circuito em paralelo e freqüência de ressonância ao circuito em série. Em qualquer caso, uma combinação LC tem uma freqüência ressonante, qualquer que seja o nome que esta receba.

A freqüência anti-ressonante de um circuito paralelo é determinada da mesma maneira que num circuito em série, ou seja:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

Impedância no circuito tanque ideal

No circuito ressonante em paralelo a tensão é a mesma e as correntes em cada ramo e na linha são determinadas pela impedância total da linha. Assim, a corrente no ramo indutivo ou capacitivo em qualquer instante é:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

A corrente total I_T na linha, pela Lei de Ohm, é:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$$

Além disso, como já foi visto, a corrente total é igual à soma vetorial das correntes nos ramos. Como essas correntes estão defasadas de 180º e X_C é convencionalmente negativo, tem-se:

$$I_T = I_L - I_C$$

Donde:

$$I_L - I_C = \frac{E_a}{Z_T} \qquad Z_T = \frac{E_a}{I_L - I_C}$$

$$Z_T = \frac{E_a}{\frac{E_a}{X_L} - \frac{E_a}{X_C}}$$

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_C - X_L}$$

A impedância de um circuito em paralelo difere de um circuito em série. Uma reatância indutiva grande em um circuito em série faz com que este haja indutivamente, porém, uma grande reatância indutiva num circuito em paralelo faz este agir capacitivamente, pois passa mais corrente pelo ramo capacitivo.

Um circuito tanque ideal apresenta as seguintes características:

a) Na ressonância, a impedância é infinita;

b) À medida que a freqüência se afasta da freqüência de ressonância, a impedância se aproxima de zero;

c) O circuito se aproxima indutivamente para as freqüências inferiores à de ressonância e, capacitivamente, para as freqüências maiores que a de ressonância. Os pontos precedentes indicam que o circuito tanque é muito versátil. Pode ser usado para substituir um capacitor ou um indutor.

Exercício resolvido

A figura 1-55 mostra o esquema de um circuito RC em paralelo. O gerador de freqüência variável entrega 300V.

A freqüência anti-ressonante será:

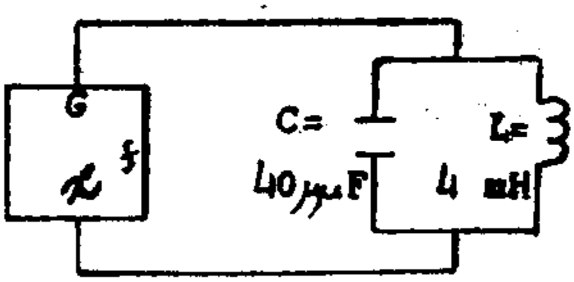


Figura 1-55

$$f_r = \frac{1}{2\,\pi\,\sqrt{L \ x \ C}}$$

$$f_r = \frac{1}{6{,}28\sqrt{4 \ x \ 10^{-3} \ x \ 4 \ x \ 10^{-11}}}$$

$$f_r = 398000 Hz$$

A corrente em qualquer um dos ramos é determinada pela reatância nesse ramo. Como I_L é igual a I_C, qualquer reatância pode ser usada.

$$X_L = 2\pi \ x \ f \ x \ L$$

$$X_L = 6{,}28 \ x \ 398 \ x \ 10^3 \ x \ 4 \ x \ 10^{-3}$$

Logo:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{300}{10000}$$

$$X_L = 10000 \text{ ohms} \qquad I_L = 0{,}03\text{A}$$

Assim, a corrente circulatória no tanque é de 0,03A, mas a corrente na linha é praticamente nula; como já sabemos, a freqüência de ressonância oferece o máximo de impedância à linha.

Se a freqüência do gerador for mudada para 200 K_{Hz} a corrente nos ramos diferirá:

$$X_L = 2 \ \pi \ x \ f \ x \ L$$

$$X_L = 6{,}28\ 398 \times 10^{3} \times 4 \times 10^{-3}$$

Logo: $I_L = \dfrac{E_a}{X_L}$

$$I_L = \frac{300}{10000}$$

$$X_L = 10000\text{ohms}$$

$$I_L = 0{,}03A$$

Assim, a corrente circulatória no tanque é de 0,03A, mas a corrente na linha é praticamente nula; como já sabemos, a freqüência de ressonância oferece o máximo de impedância à linha.

Se a freqüência do gerador for mudada para 200 K_{Hz} a corrente nos ramos diferirá:

$$X_L = 2\pi \ x\ f\ x\ L$$

$$X_L = 6{,}28\ x\ 2\ x\ 10^{5}\ x\ 4\ x\ 10^{-3}$$

$$X_L = 5024 \text{ ohms}$$

Logo:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{300}{5024}$$

$$I_L = 0{,}059A$$

Como: $X_C = \dfrac{1}{2\pi\ x\ f\ x\ c}$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times 2\ 10^{5} \times 4 \times 10^{-11}}$$

$$X_C = \frac{10^6}{50{,}24} \qquad X_C = 19900 \text{ ohms}$$

Logo:

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \qquad I_C = \frac{300}{19900}$$

$$I_C = 0{,}015A$$

Como a corrente indutiva é maior que a capacitiva, o circuito se conduz indutivamente. A corrente de linha é:

$$I_T = I_L - I_C$$

$$I_T = 0{,}059 - 0{,}015 \qquad T_T = 0{,}044A$$

Assim, a corrente na linha é de 44 mA, atrasada de 90º em relação à tensão aplicada. A figura 1-56, mostra o diagrama vetorial deste circuito na freqüência de 200 KHz.

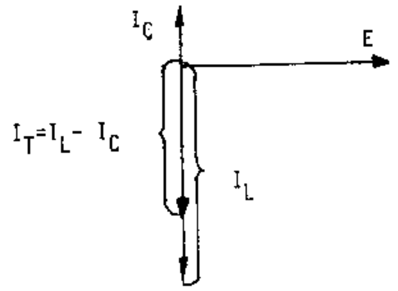


Figura 1-56

Empregando-se a fórmula da impedância, tem-se:

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_C - X_L}$$

$$Z_T = \frac{5024 \times 19900}{19900 - 5024}$$

$$Z_T = 6720 \text{ ohms}$$

CIRCUITO TANQUE REAL E CIRCUITO TANQUE COM RESISTOR EM DERIVAÇÃO

Circuito Tanque Real

As conclusões obtidas no estudo do circuito tanque ideal e os resultados da análise do circuito anterior foram baseados na hipótese da resistência nos ramos em paralelo ser nula ou desprezível.

A figura 1-57 apresenta um diagrama esquemático equivalente a um circuito real. O ramo capacitivo contém uma resistência desprezível, enquanto que o ramo indutivo inclui toda a resistência do circuito.

A presença da resistência no circuito em paralelo significa que as correntes dos respectivos ramos não estão exatamente defasadas de 180º na ressonância. A resistência altera o ângulo de fase de cada ramo, como é visto na figura 1-58.

Assim as correntes dos ramos não se anulam completamente e resulta disso uma corrente de linha.

Dessa forma, o valor da corrente de linha na ressonância é, pois um indicativo da quantidade de resistência presente no circuito.

À medida que a resistência diminui, a corrente de linha tende para uma amplitude mínima e a entrar em fase com a tensão aplicada.

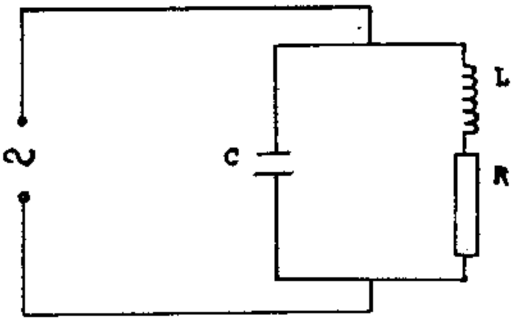


Figura 1-57

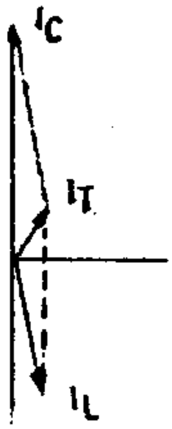


Figura 1-58

Fator de Qualidade

O fator de qualidade ou “Q” de um circuito ressonante em paralelo é igual ao de um circuito ressonante em série, em que:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Porém, no circuito ressonante em série, a qualidade ou Q do circuito também é determinada pela relação entre a tensão em cada reatância e a tensão aplicada. Como a tensão é a mesma no circuito ressonante em paralelo, o Q do circuito também é determinado pela relação entre a corrente no tanque e a corrente na linha, ou seja:

$$Q = \frac{I_{\text{tan que}}}{I_{\text{linha}}}$$

Como a corrente ressonante do tanque é igual à corrente de menor valor, I_C ou I_L e em virtude de I_L ser menor que I_C teremos:

$$Q = \frac{I_{\text{tan que}}}{I} \qquad Q = \frac{I_L}{I_T}$$

$$Q = \frac{\frac{E_a}{X_L}}{\frac{E_a}{Z_T}} \qquad Q = \frac{Z_T}{X_L}$$

Como: $X_L = X_C$

Logo: $Q = \frac{Z_T}{X_C}$

Obs.: esta equação, somente deve ser empregada quando o valor de R for muito baixo em relação a XL.

Assim, o Q de um circuito ressonante em paralelo também é considerado como sendo a relação entre a impedância e a reatância indutiva ou capacitiva.

Os circuitos de Q elevados são, como já vimos, muito úteis nos circuitos eletrônicos seletivos. Quanto maior for o Q, maior será a seletividade do circuito.

Curvas de Ressonância

Nos circuitos ressonantes em paralelo, a curva de impedância é a curva característica de ressonância (figura 1-59).

Como já foi visto, a freqüência de ressonância independe do valor da resistência do circuito.

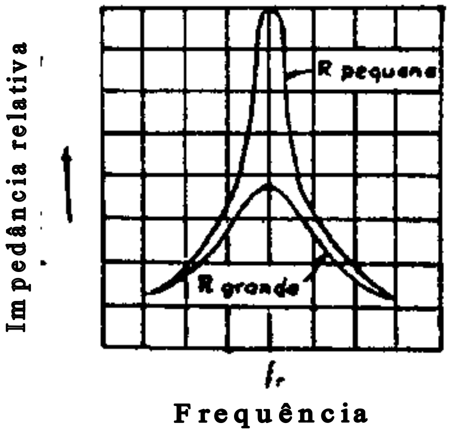


Figura 1-59

A agudeza da curva depende do Q do circuito e pode ser aumentada ou diminuída, respectivamente com o acréscimo ou decréscimo do valor da resistência. Se a resistência do circuito ressonante for muito grande, o circuito perde sua utilidade como seletor de freqüência.

Largura de Faixa

A largura de faixa do circuito ressonante em paralelo, segue as especificações para a largura de faixa do circuito ressonante em série.

Portanto, os limites efetivos da faixa de passagem são tomados nos pontos da curva de ressonância a 0,707 do valor de pico. Assim, as duas freqüências, uma acima e outra abaixo da ressonância (pontos de meia potência), formam os limites da largura de faixa. Veja a figura 1-60.

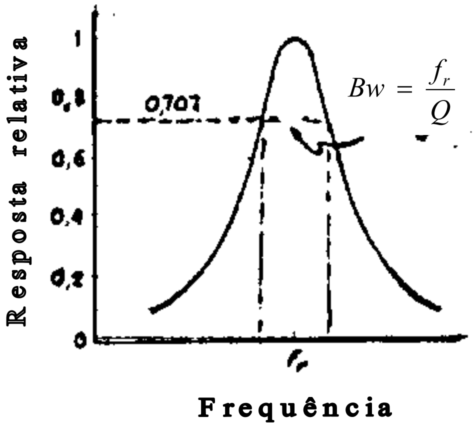


Figura 1-60

A largura de faixa de um circuito sintonizado pode ser determinada por meio da fórmula:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

Onde:

Bw = largura de faixa (hertz)

F_r = freqüência anti-ressonante (hertz)

Q = Qualidade

Circuito Tanque com resistor em derivação

Outro caso que deve ser mencionado é o que acontece quando um resistor está ligado em paralelo com o circuito tanque, conforme a figura 1-61. O resistor R é chamado de "resistor de amortecimento" e aumenta efetivamente a largura de faixa de um circuito, porque ele será responsável por uma parte da corrente de linha que a ressonância não pode cancelar. O amortecimento de derivação faz diminuir o Q do circuito e portanto o circuito fica menos seletivo.

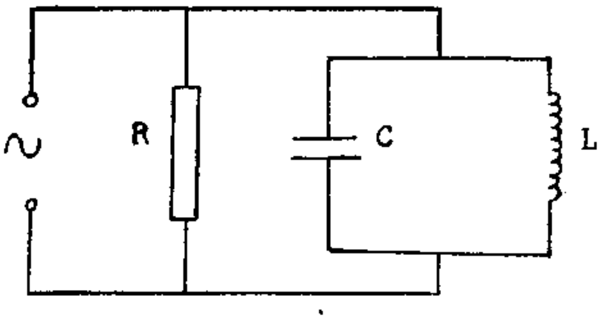


Figura 1-61

Exercício resolvido

Estando o circuito da figura 1-62 em ressonância, calcular:

$Q =$ $Z =$ $I_T =$

$I_{tan\,que} =$ $P_R =$

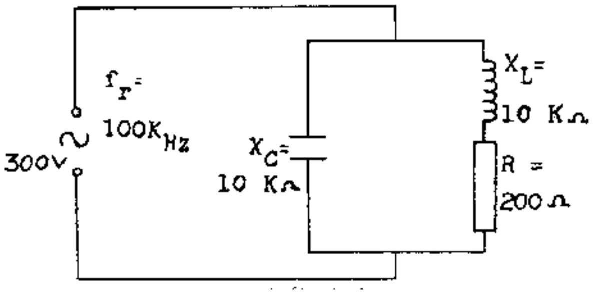


Figura 1-62

Cálculo do Q:

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad Q = \frac{10000}{200}$$

$Q = 50$

Cálculo da impedância:

$$Z = Q \times X_L \qquad Z = 50 \times 10000$$

$Z = 500\ \text{K}\Omega$

Cálculo da corrente de linha:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T} \qquad I_T = \frac{300}{500000}$$

$I_T = 0{,}6\ mA$

Cálculo da corrente no tanque:

$I_{tanque} = Q \times I_T$

$I_{tanque} = 50 \times 0{,}0006 \qquad I_{tanque} = 30\ mA$

Cálculo da largura de faixa:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

$$Bw = \frac{100000}{50}$$

$$Bw = 2KHz$$

$$P_R = I_R^2 \times R$$

$$P_R = 0{,}03^2 \times 200$$

$$P_R = 0{,}18W$$

FILTROS DE FREQÜÊNCIA

Comumente, a corrente em um circuito de rádio contém vários componentes de freqüência. A função de um circuito de filtro é efetuar uma determinada separação destes componentes. Assim, um filtro pode ser usado para separar os componentes de corrente contínua dos de corrente alternada ou para separar grupos de componentes de corrente alternada por faixas de freqüência.

Para conseguir esta finalidade, o filtro deve apresentar baixa atenuação (oposição) para componentes de freqüência dentro de uma faixa particular, a faixa de passagem, e alta atenuação em freqüências dentro de outras faixas atenuadas.

Características dos circuitos de filtros

Os filtros são comumente classificados de acordo com as suas características de seletividade: o filtro "passa-baixa" transmite todas as freqüências abaixo de uma freqüência limite, chamada freqüência de corte (f_{co}), e barra as freqüências mais altas que a freqüência de corte e o filtro "passa-alta" faz exatamente o contrário.

O filtro "passa-faixa" deixa passar as freqüências contidas numa faixa entre duas freqüências de corte e elimina as freqüências que ficarem acima e abaixo dos limites da faixa.

O filtro "corta-faixa" barra as freqüências que ficam dentro de uma faixa, deixando passar todas as demais.

O ponto de corte em um circuito de filtro pode ser facilmente determinado pelas equações abaixo:

$P_{co} = E_a \times 0{,}707$ ou

$P_{co} = I_T \times 0{,}707$

Em que:

P_{co} = ponto de corte

E_a = tensão aplicada

I_T = corrente total

Desde que, idealmente, um filtro deve deixar passar freqüências escolhidas sem atenuação, as perdas de energia devem ser baixas.

Em conseqüência, os componentes de um circuito de filtro consistem comumente em elementos reativos.

Pela disposição conveniente de indutores e capacitores, os filtros podem ser construídos de maneira a permitir qualquer característica de seleção de freqüência.

Filtro Passa-Baixa

A figura 1-63 ilustra um filtro passa-baixa. Na entrada, as altas freqüências encontram uma reatância indutiva relativamente elevada em L e uma baixa reatância capacitiva em C.

Assim, as altas freqüências são detidas por L e postas em curto circuito, por C. As freqüências baixas encontram fraca oposição em L e alta oposição em C.

Por conseguinte, as baixas freqüências passam da entrada para a saída.

Portanto, um filtro pass-baixa destina-se a conduzir todas as freqüências abaixo de uma freqüência crítica pré-determinada ou freqüência de corte e a reduzir ou atenuar consideravelmente as correntes de todas as freqüências acima desta freqüência.

Nesse filtro passará também a freqüência que se encontra no ponto de corte.

Na figura 1-64 vemos o gráfico característico de seu ponto de corte.

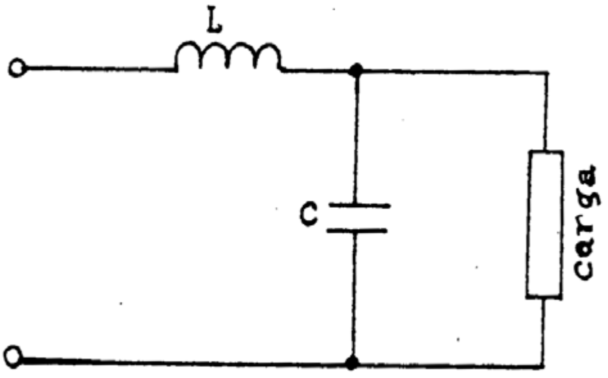


Figura 1-63

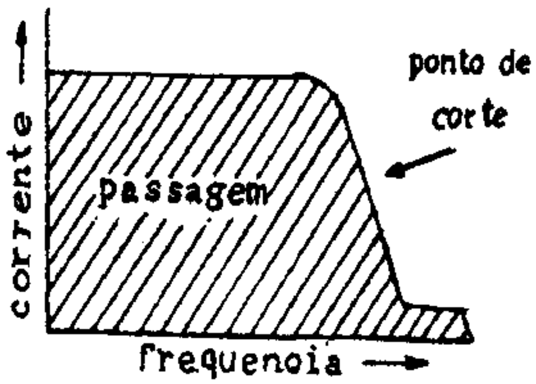


Figura 1-64

Filtro Passa-alta

Na figura 1-65 , temos um filtro passa-alta. As baixas freqüências deparam com uma reatância capacitiva relativamente alta em C e uma reatância indutiva baixa em L. As altas freqüências encontram diminuta oposição em C e alta oposição em L. Por conseguinte, as altas freqüências passam da entrada para a saída. Portanto, um filtro desse tipo destina-se a deixar passar correntes de todas as freqüências acima do ponto de corte e atenuar todas as freqüências abaixo desse ponto. Neste filtro passará também a freqüência que se encontra no ponto de corte. Na figura 1-66, vemos o gráfico característico de seu ponto de corte. Para melhor a ação seletiva dos filtros passa-alta e passa-baixa, eles são projetados com duas ou mais secções.

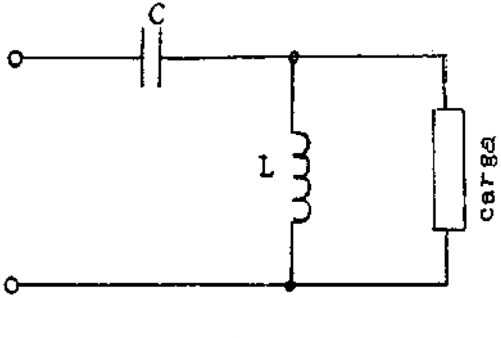


Figura 1-65

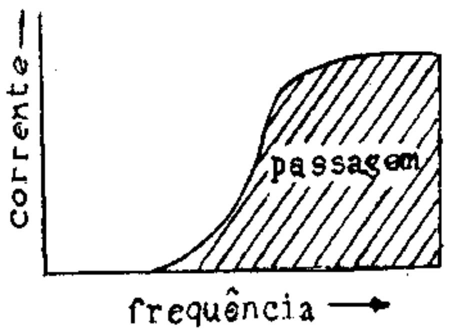


Figura 1-66

As figuras 1-67 e 1-68 mostram respectivamente filtros passa-baixa e passa-alta e do tipo "π", assim designados por causa de sua semelhança com a letra pi.

Os elementos mais perto da entrada caracterizam o filtro. Assim, as figuras 1-69 e 1-70, mostram respectivamente, filtros passa-baixa com entrada a indutor e passa-alta com entrada a capacitor. Todavia, para que estes filtros possam desempenhar satisfatoriamente suas funções, os componentes reativos, devem ser iguais, ou seja: $C_1 = C_2$ e $L_1 = L_2$

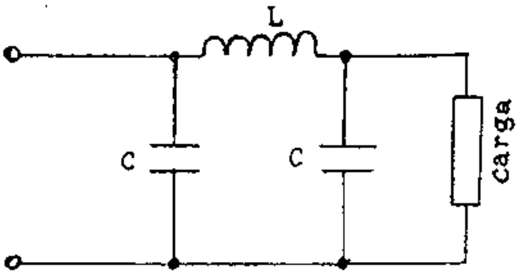


Figura 1-67

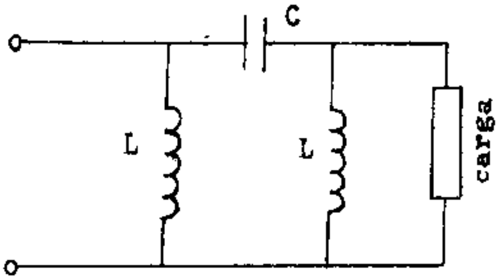


Figura 1-68

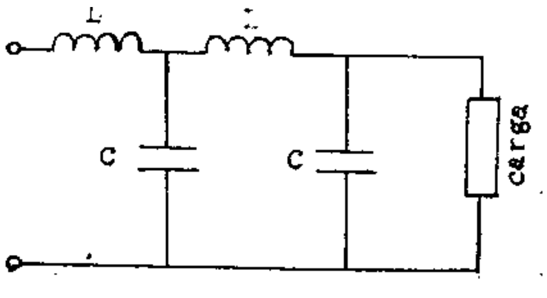


Figura 1-69

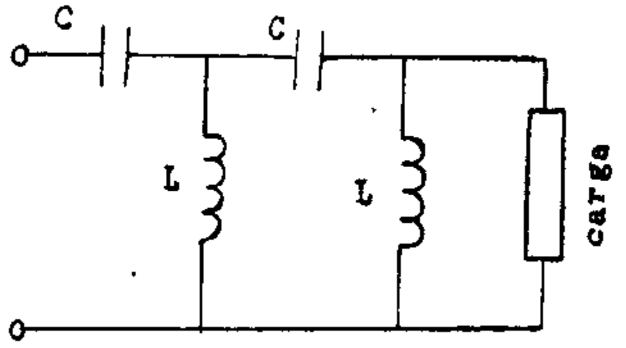


Figura 1-70

Filtros de circuitos sintonizados

Os circuitos ressonantes (sintonizados) possuem características que os tornam ideais para filtros, quando se deseja, grande seletividade.

O circuito ressonante em série oferece baixa impedância à corrente de freqüência em que está sintonizado e uma impedância relativamente grande às correntes das demais freqüências.

O circuito ressonante em paralelo oferece uma impedância muito grande à corrente de sua freqüência ressonante e uma impedância relativamente baixa às outras.

Filtro passa-faixa

Os filtros passa-faixa ou passa-banda destina-se a deixar passar correntes dentro dos limites de uma faixa contínua, limitada por uma alta e por uma baixa freqüência de corte e para reduzir ou atenuar todas as freqüências acima e abaixo desta faixa.

Na figura 1-71, utiliza-se um circuito ressonante em série como filtro passa-faixa.

Na figura 1-72 vemos o gráfico que ilustra a faixa de freqüência desejada.

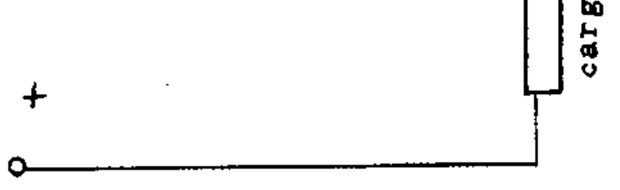


Figura 1-71

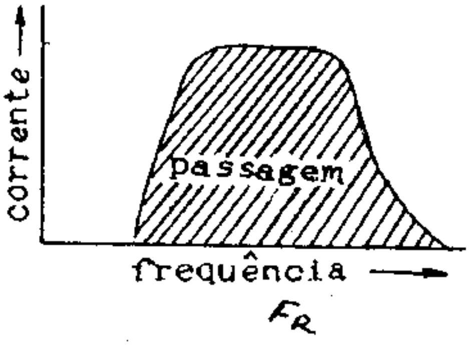


Figura 1-72

Os circuitos sintonizados em série oferecem dentro dessa faixa, uma pequena impedância às correntes dessas freqüências e fora dela uma alta impedância. Assim, as correntes dessas freqüências desejadas dentro da faixa circularão pelo circuito sem serem afetadas, mas as correntes de freqüências indesejadas, isto é, fora da faixa, encontrarão grande impedância e não poderão passar.

Na figura 1-73, temos um circuito ressonante em paralelo como filtro passa-faixa.

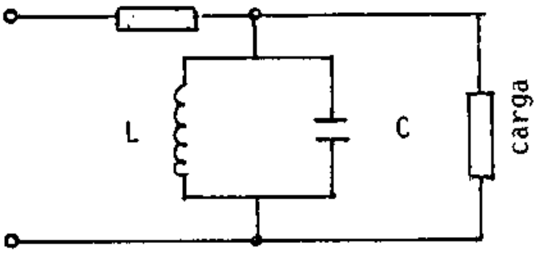


Figura 1-73

Os circuitos sintonizados em paralelo oferecem, dentro dessa faixa, uma alta impedância às correntes dessas freqüências e fora dela uma baixa impedância.

De modo que as correntes das freqüências fora da faixa serão desviadas pelo tanque, ao passo que as correntes das freqüências dentro da faixa circularão pelo circuito sem serem afetadas pelo tanque.

Filtro corta-faixa

Os filtros corta-faixa são destinados a suprimir as correntes de todas as freqüências dentro de uma faixa contínua limitada por duas freqüências de corte, um mais alta e outra mais baixa, e a deixar passar todas as freqüências acima e abaixo dessa faixa.

Na figura 1-74, temos um circuito ressonante em paralelo com filtro corta-faixa e, na figura 1-75, temos o seu gráfico característico.

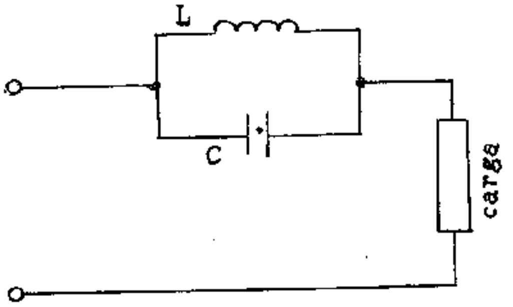


Figura 1-74

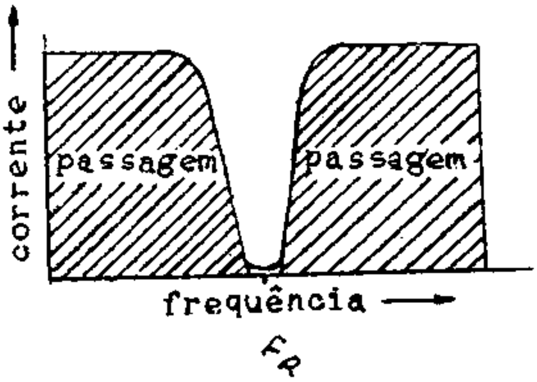


Figura 1-75

O circuito ressonante em paralelo é sintonizado na freqüência do sinal que não se deseja. Logo, o filtro apresenta alta impedância às correntes dessa freqüência e permite a passagem de todas as outras freqüências.

A figura 1-76 ilustra um circuito ressonante em série como filtro corta-faixa.

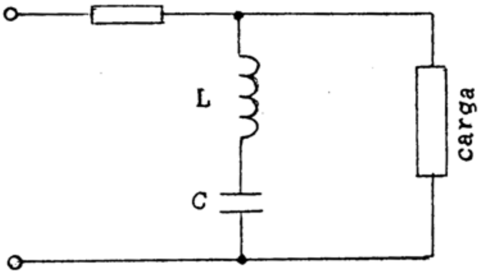


Figura 1-76

O circuito ressonante em série é sintonizado também, na freqüência do sinal indesejado, e estas correntes indesejadas serão eficazmente desviadas, geralmente, para a terra; porém, as demais freqüências não serão afetadas.

CAPÍTULO 2

OSCILOSCÓPIO

INTRODUÇÃO

O osciloscópio é considerado um instrumento básico de teste em oficinas e na indústria, assim como em laboratórios de pesquisas e desenvolvimento de projetos eletrônicos.

O osciloscópio permite ao técnico ou engenheiro observar tanto o valor como a forma do sinal em qualquer ponto de um circuito eletrônico. Suas principais aplicações são:

- Medições de valores de: potência, tensão, ângulo de fase etc.
- Comparação entre uma freqüência desconhecida e uma freqüência padrão, determinando assim o valor desconhecido.

O osciloscópio é um instrumento que consiste basicamente de um tubo de raios catódicos e de circuitos ampliadores auxiliares.

TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

O tubo de raios catódicos (TRC) é um tubo de vidro projetado especialmente para medir fenômenos elétricos que não podem ser medidos por outros meios.

O tubo de raios catódicos não é só a parte principal do osciloscópio como também é amplamente usado nos equipamentos de radar para observação visual das informações obtidas pelo receptor deste.

Atualmente o TRC é largamente difundido podendo ser encontrado em equipamentos de eletromedicina, terminais de vídeo de microcomputadores etc.

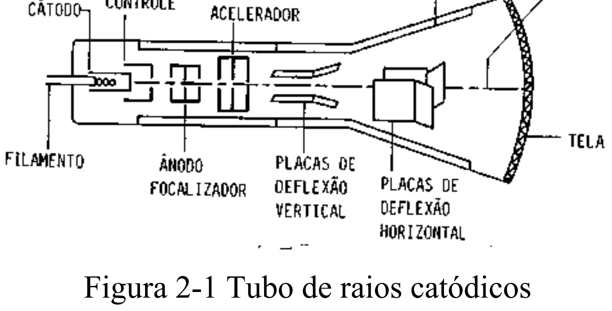


Figura 2-1 Tubo de raios catódicos

Os elementos de operação do tubo de raios catódicos estão encerrados em seu interior que contém um alto vácuo a fim de preservar o filamento e permitir que o feixe de elétrons seja bem definido.

Canhão Eletrônico

A parte mais importante do TRC é o canhão eletrônico, que está situado em um de seus extremos e que tem por finalidade projetar um feixe de elétrons de um extremo a outro do tubo. Constituem o que denominamos “raio catódico”.O canhão eletrônico consiste de um filamento, um cátodo, uma grade de controle, um ânodo focalizador (1º ânodo) e um ânodo acelerador (2º ânodo). Esses elementos são mostrados na figura 2-2.

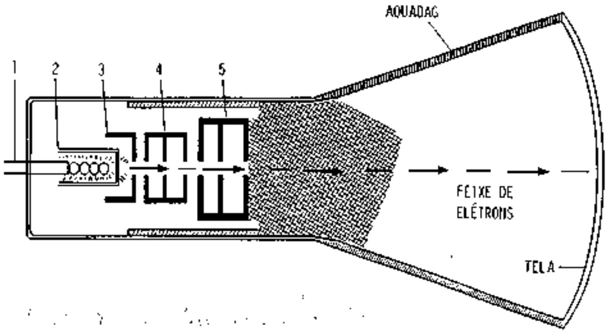


Figura 2-2 Canhão eletrônico

As conexões com os diversos elementos são efetuadas por meio de pinos que estão na base do tubo. Em muitos casos, o cátodo está ligado internamente o filamento.

Os filamentos são aquecidos geralmente por CA, aplicada por um transformador de filamento, separado.

O cátodo é um cilindro de níquel cujo extremo está coberto com óxido de bário e estrôncio, de maneira que quando aquecido emite elétrons livremente na direção desejada. O ânodo acelerador também é um cilindro. Em seu interior há um diafragma que tem uma abertura em seu centro. Como o ânodo acelerador é altamente positivo, atrairá os elétrons emitidos pelo cátodo.

As tensões aplicadas ao ânodo acelerador variam desde 250V até 10.000 V. Esta alta tensão faz com que o feixe de elétrons (raio catódico) adquira uma alta velocidade. Embora a maioria dos elétrons seja atraída e capturada pelo ânodo de aceleração, muitos podem passar através da abertura que existe no diagrama do tubo.

A tela do TRC tem por finalidade transformar a energia cinética do elétron em energia luminosa. A tela é composta de uma substância semitransparente, conhecida como fósforo, e está situada na parte interior do tubo. Quando o feixe de elétrons atinge a tela, esta emite a luz cuja cor depende da composição do fósforo.

O revestimento mais comumente usado é o silicato de zinco que emite luz verde. Uma consideração importante é a persistência que indica a quantidade de tempo em que a tela continuará incandescente, depois de ser atingida pelo feixe.

Pode-se notar que se deve proporcionar algum meio de eliminar os elétrons da tela; do contrário, a carga negativa na tela aumentaria a tal que ponto que não chegariam mais elétrons até ela.

O método usado para eliminar tais elétrons, é colocar um revestimento de condutor de AQUADAG, ao longo de toda parte interior do tubo, com exceção da tela, e conectá-la ao cátodo. A emissão de elétrons secundários pode assumir efeitos graves e, portanto, é coletada pelo revestimento de AQUADAG e devolvido ao cátodo.

O cátodo é circundando pela grade de controle, a qual é mantida a um potencial mais negativo que este e serve para controlar o fluxo de elétrons que saem do cátodo.

A intensidade do brilho na tela é regulada pelo valor da tensão negativa de polarização aplicada à grade de controle, quanto mais negativa for a tensão de polarização, menos intenso será o brilho.

Se a grade se tornar suficientemente negativa, não haverá mais fluxo de elétrons para a tela e conseqüentemente, deixará de haver brilho. O ajuste do potencial é feito pelo controle de intensidade.

Se não houver um meio para proporcionar o foco, os elétrons serão emitidos, mas devido a repulsão mútua se difundirão e golpearão a tela como uma massa dispersa que terá aspecto embaçado.

Os ânodos de focalização e aceleração agem como uma espécie de lente que concentra o feixe e torna nítida a imagem na tela.

O ânodo de focalização tem um potencial de 1200V e o ânodo de aceleração tem 2.000V. Por causa dessa diferença de 800V, existe um campo eletrostático muito forte na região entre os dois ânodos. A intensidade desse campo pode ser variada, mudando-se as tensões do ânodo focalizador.

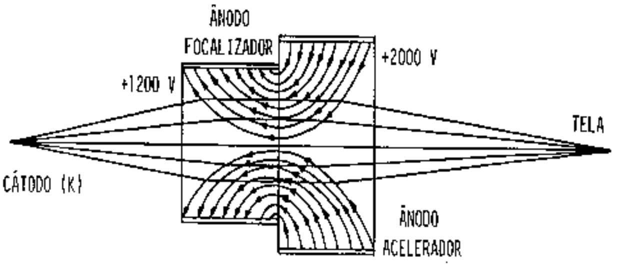


Figura 2-3 Processo de focalização

O campo eletrostático é representado pelas linhas curvas.

Os elétrons que passarem por este campo sofrerão a ação de uma força que tentará fazê-los seguir as linhas de força.

Um elétron que entra na lente tem sobre si duas forças atuantes: uma força que é motivada pela aceleração dada pela atração do ânodo acelerador e outra motivada pelo campo eletrostático que existe entre os ânodos. A tendência do elétron é desviar-se, e em lugar de se deslocar em linha reta, desloca-se em um direção tangencial à das linhas de força.

Esta curvatura por sua vez depende da diferença de potencial que existe entre os dois ânodos. Todos os elétrons que passam pela lente tendem a unir-se em um ponto chamado ponto focal.

Variando-se o potencial aplicado ao ânodo focalizador, pode-se conseguir uma focalização correta na tela.

Deflexão vertical e horizontal

Se o TRC não possuísse outros elementos além do canhão eletrônico e a tela, o feixe de elétrons atingiria o centro desta e produziria um ponto luminoso.

Para movimentar o feixe e colocar o ponto luminoso em várias partes da tela, utiliza-se sistemas de deflexão ou de desvio vertical e horizontal.

Existem dois tipos de deflexão ou desvio: o eletrostático e o eletromagnético.

Desvio Eletrostático

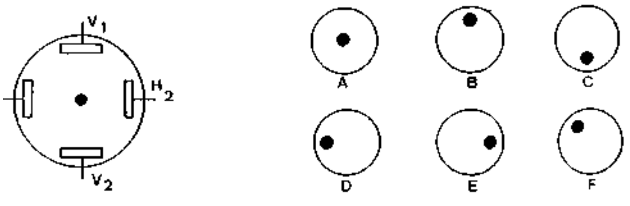


Figura 2-4 Placas de desvio eletrostático

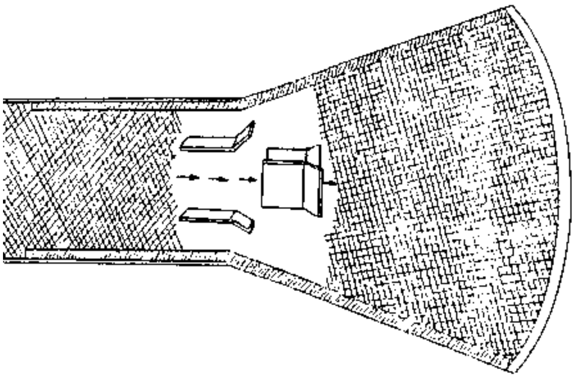


Figura 2-5 Disposição das placas

O desvio eletrostático utiliza dois pares de placas de desvio, colocadas em ângulo reto entre si e o feixe de elétrons passa entre elas, como mostrado na figura 2-4.

A figura 2-5 mostra a vista de topo do TRC mostrando a disposição das placas defletoras ao feixe eletrônico, que é visto como um ponto no centro.

Se não for aplicada uma tensão externa a nenhum par de placas, o feixe permanecerá no centro da tela produzindo um ponto luminoso.

Se a placa vertical V1 se torna positiva, em relação a V2, o feixe será atraído em direção a V1 e o ponto luminoso consequentemente também subirá.

Se a placa vertical V1 é negativa com respeito a V2, o ponto se desloca para baixo. Estas três situações são ilustradas na figura 2-4 A, B e C. As três ilustrações pressupõem que não exista tensão alguma nas placas defletoras horizontais (H1 e H2).

Se as placas verticais estiverem a zero volts e a placa horizontal H1 foi tornada positiva em relação a H2, o feixe será atraído em direção a H1e o ponto se moverá para a esquerda da tela. Finalmente se a placa H2 é positiva em relação a H1, o ponto será desviado para a direita da tela. Estas três situações são mostradas na figura 2-4D, E e F.

Em qualquer caso, a distância em que o ponto é afastado do centro da tela é diretamente proporcional à tensão às placas defletoras.

Se forem aplicadas tensões positivas e iguais, simultaneamente às placas V1 e H1, o feixe será atraído para cima e para a esquerda, por forças idênticas.

O resultado é um desvio do ponto luminoso para uma posição de 45º do centro da tela. Outras combinações de tensões aplicadas às placas defletoras farão com que o ponto se desloque para posições diferentes da tela do TRC.

Até agora só estudamos os efeitos de tensões contínuas (CC) aplicadas nas placas defletoras verticais e horizontais.

A corrente alternada, ao contrário da corrente contínua, está variando constantemente de polaridade e valor.

Assim ao ser aplicada uma CA às placas defletoras, o ponto luminoso se moverá rapidamente para várias posições na tela, à proporção que a tensão varia de polaridade e valor. Isto ocorre da seguinte maneira:

Se uma CA é aplicada às duas placas de deflexão vertical (V1 e V2), o ponto luminoso se movimentará para cima e para baixo. Se a freqüência da tensão aplicada for baixa, talvez seja possível ver o ponto subir e descer.

Dois fatores, porém não permitem que isso ocorra. A inércia do olho humano e também a reação da camada do fósforo que reveste o interior da tela do TRC.

Ambos os fatores fazem com que se tenha a sensação de persistência luminosa na tela, em forma de um traço luminoso.

Se a placa V1 for polarizada positiva em relação a V2, durante o primeiro semiciclo positivo, o ponto luminoso se movimentará para cima e novamente para baixo, até retornar ao centro. O semiciclo negativo movimentará o ponto luminoso par baixo e novamente para cima, até retornar ao centro.

A distância que o ponto se afasta do centro para cima e do centro para baixo, depende do valor da tensão de pico.

Em virtude da velocidade com que se move o ponto luminoso, associado aos fatores de inércia do olho humano e persistência luminosa da tela do TRC, fazem com que aquele ponto surja como um traço reto.

Quando uma CA é aplicada às placas horizontais H1 e H2, teremos, pelas mesmas razões já explicadas, um traço horizontal. Este processo é ilustrado na figura 2-6 A e B.

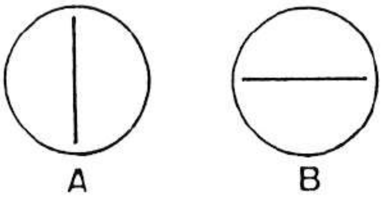


Figura 2-6 Aplicação de CA

Se forem aplicadas tensões alternadas iguais, de maneira que V1 e H1 tenham a mesma polaridade, assim como V2 e H2, teremos um traço na tela em uma posição de 45° entre a vertical e a horizontal.

Porém se V1 e H2 forem polarizados igualmente, assim como V2 e H1, o traço ficará também a 45° mas em direção invertida. Este processo descrito está ilustrado na figura 2-7.

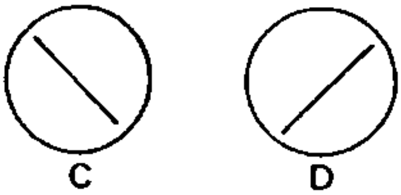


Figura 2-7 Aplicação de tensões alternadas iguais

Desvio Eletromagnético

O desvio eletromagnético é usado onde não é possível obter uma tensão adequada para o desvio eletrostático.

O desvio eletromagnético deve-se ao campo magnético estabelecido dentro do tubo de raios catódicos pelo conjunto de bobinas que estão colocadas ao redor do tubo. O desvio eletromagnético é mais sensível do que o eletrostático.

As bobinas estão colocados proporcionalmente à corrente, como é mostrado na figura 2-8.

O deslocamento do feixe de elétrons é afastado pelo campo magnético da mesma forma que é afetado pelo campo eletrostático.

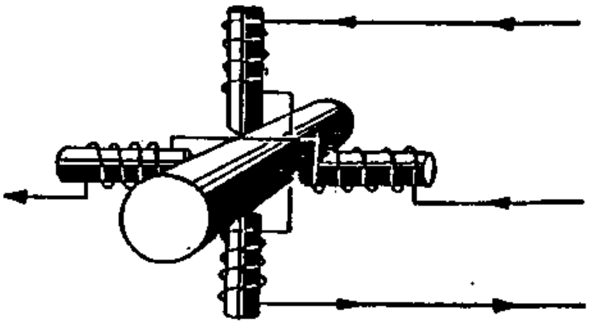


Figura 2-8 Conjunto de bobinas

CIRCUITO GERADOR DE BASE DE TEMPO

Para reproduzir as formas de onda que surgem na tela de um osciloscópio é necessário que este tenha, além do TRC, um circuito gerador de base de tempo, também conhecido como gerador dente de serra.

Sua finalidade é fazer com que o feixe eletrônico se mova da esquerda para a direita da tela a uma velocidade uniforme e logo regresse rapidamente ao lado esquerdo. Este movimento é chamado de varredura linear.

Para se dar a varredura no feixe eletrônico, o gerador produz uma tensão que cresce uniformemente de zero até um certo ponto e decai rapidamente ao nível zero, como mostra a figura 2-9.

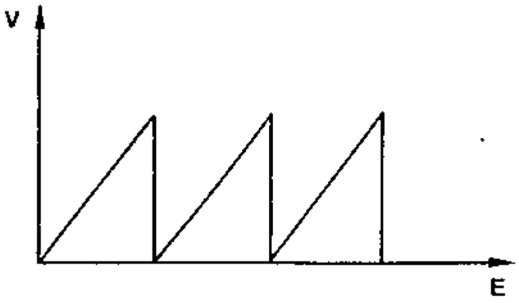


Figura 2-9 Tensão dente de serra

Este perfil é denominado dente de serra ou triangular. Esta tensão é aplicada às placas de deflexão horizontal.

O aumento gradual de tensão faz com que a placa H1 se torne cada vez mais negativa e H2 cada vez mais positiva.

Assim, o feixe eletrônico vai se deslocando da esquerda para a direita com velocidade uniforme. A queda rápida da tensão faz com que o feixe regresse em muito pouco tempo, e esse tempo é denominado tempo de retorno.

Dependendo da freqüência da tensão de varredura teremos na tela um traço horizontal.

Se bem que uma tensão alternada aplicada às placas horizontais produza também um traço horizontal, esta não é adequada com base de tempo linear porque não possui as características desejáveis de uma tensão que se eleva de zero ao máximo de modo linear e volta a zero quase instantaneamente.

Para se examinar qualquer forma de onda por intermédio do osciloscópio, é necessário que apliquemos a tensão que se deseja analisar em suas placas de deflexão vertical e mantenhamos a tensão que se deseja analisar em suas placas de deflexão vertical e mantenhamos a tensão de dente de serra em suas placas horizontais. Isto fará com que o feixe eletrônico se desloque para cima ou para baixo e ao mesmo tempo para frente.

Quando a freqüência da tensão de varredura for igual à freqüência da tensão aplicada nas suas placas verticais, surge um ciclo na tela do TRC.

Diz-se que a relação da freqüência entre a tensão de varredura e o sinal é de 1:1 (um para um).

Quando a freqüência da tensão de varredura é metade da freqüência do sinal aplicado, teremos dois ciclos na tela do TRC, conforme mostra a figura 2-10.

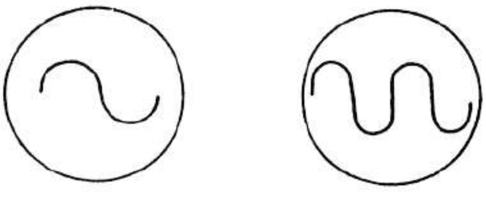


Figura 2-10

Portanto, para se calcular o número de ciclos que aparecem na tela de um osciloscópio devemos empregar a seguinte equação:

$$\text{Número de ciclos: } \frac{\text{Freq. aplicada}}{\text{Freq. de varredura}}$$

FUNÇÕES BÁSICAS DOS CONTROLES

a) Intensidade: varia a quantidade de elétrons que chega à tela.

b) Focalização: os ânodos ajustam a focalização do feixe na tela por meio deste comando.

c) Posição vertical e horizontal: desloca o feixe para cima, para baixo, para esquerda ou para direita respectivamente.

d) Entrada vertical: nessa entrada aplicam-se os sinais a serem medidos pelo aparelho.

e) Entrada horizontal: normalmente às placas horizontais está aplicado um sinal periódico gerado internamente no osciloscópio, o sinal dente da serra, que tem uma velocidade de varredura constante na tela e faz com que o feixe vá de um lado à outro e o regresso não seja observado.
Injetando-se nessa entrada um sinal estaremos modificando a varredura; este procedimento é empregado em alguns casos, como na medida de fase entre dois sinais.

f) Atenuador vertical:

O sinal aplicado à entrada vertical antes de ser levado às placas defletoras, poderá ter sua amplitude reduzida de múltiplos de 10.

g) Ganho vertical: permite variar de maneira contínua a amplitude do sinal, antes que ele seja levado às placas defletoras.

h) Ganho horizontal: permite variar a amplitude ao longo do eixo X.

i) Seletor de varredura: permite a variação discreta na freqüência da varredura interna.

j) Varredura externa: usada quando pretende-se atuar externamente nas placas horizontais.

k) Seletor de sincronismo: o sinal estará sincronizado quando tivermos uma configuração estável do mesmo na tela, o que corresponde a um sincronismo de varredura com o sinal aplicado às placas de deflexão vertical. O seletor deverá ser colocado na posição LINHA para o sincronismo com a rede; INTERNO para a varredura interna e EXTERNO para a varredura externa de um sinal colocado na entrada horizontal.

l) Chave de sincronismo: uma vez escolhida a referência de sincronismo, a chave de sincronismo permite o ajuste desejado.

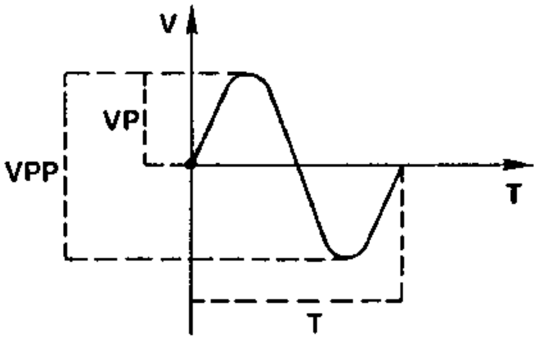


Figura 2-11 Exemplo de leitura com o osciloscópio

Onde:

Vp = valor de pico de tensão

Vpp = Valor pico a pico da tensão

T = Período do sinal.

CAPÍTULO 3

REQUISITOS PARA ANÁLISE DE CIRCUITOS

INTRODUÇÃO

O estudo referente à análise de circuitos sob um ponto de vista completo, normalmente envolve cálculos complicados e são muitos os livros que podem ser encontrados tratando desse assunto.

Aqui, abordaremos a análise de alguns circuitos que empregam somente corrente contínua, onde as impedâncias são essencialmente resistências lineares e as tensões são constantes.

Para o estudo de circuitos elétricos, dois objetivos principais são importantes: um, é determinar a impedância (ou resistência, para circuitos de CC) de um dado circuito, entre dois pontos quaisquer; outro é determinar a corrente ou tensão através de um elemento qualquer do circuito, quando uma tensão é aplicada a uma outra parte do referido circuito.

FONTES OU GERADORES DE TENSÃO CONSTANTE

Uma fonte de tensão é, na verdade, um gerador de tensão que possui uma resistência interna **muito baixa,** entregando em sua saída um valor de tensão constante, para uma extensa gama de valores de carga a ele conectado.

Existe o gerador de tensão ideal e o gerador de tensão real. No primeiro caso, a diferença de potencial é mantida constante, qualquer que seja a caga à qual esteja ligado. Um gerador de tensão ideal, na prática, não existe, pois todo gerador possui uma resistência interna fazendo, com que a tensão nos seus terminais dependa da carga, atuando, portanto, com um gerador de tensão real. Nas figuras 3-1 e 3-2 ilustramos esquematicamente os dois tipos de geradores de tensão acima mencionados.

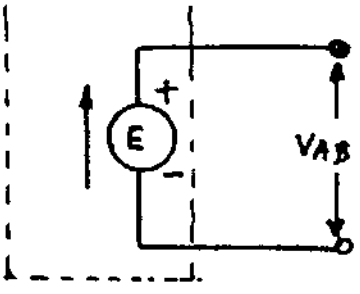


Figura 3-1 Gerador de tensão ideal

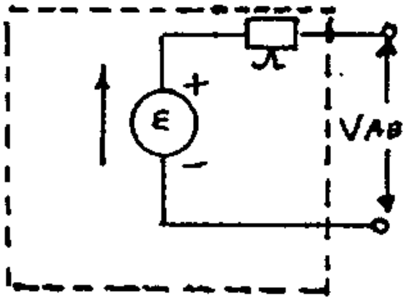


Figura 3-2 Gerador de tensão real

Nota-se, em ambos os circuitos, uma seta colocada ao lado da f. e m. A posição da seta é para indicar que, caso a fonte atuasse sozinha, provocaria o movimento de cargas positivas no sentido mostrado, indicando desta forma, o sentido da f. e. m. do gerador.

São vários os tipos de geradores de tensão e poderíamos citar, como exemplos típicos desses geradores encontrados na prática, as fontes de C C reguladas, uma bateria ou circuitos seguidores de emissor etc.

Os geradores de tensão constante têm grandes aplicações em circuitos onde desejamos que a tensão de saída seja estável ou constante. É o caso, por exemplo, dos reguladores de tensão eletrônicos, cuja finalidade é manter uma tensão constante nos seus terminais de saída, embora varie a tensão de entrada, ou o valor da carga.

Ocorre, entretanto, que geradores de tensão constante, a exemplo dos reguladores de tensão eletrônicos, são constituídos de dispositivos semicondutores, tais como: diodos comuns, diodos zener e transistores, isto sem falar de vários dispositivos totalmente integrados, os chamados CI (circuitos integrados). Portanto, uma análise, agora, destes circuitos, certamente estaria fora dos nossos objetivos iniciais. Circuitos dessa natureza poderão ser abordados, quando tivermos alguns conhecimentos básicos de dispositivos semicondutores, numa fase mais adiantada do nosso curso de eletrônica.

No nosso estudo referente à análise de circuitos, faremos utilização de um dispositivo gerador de tensão constante, chamado "Equivalente de Thévenin", muito empregado na resolução de circuitos considerados complexos.

Este dispositivo eletrônico representa o circuito equivalente de qualquer circuito eletrônico, que tenha características de manter uma tensão constante de saída.

FONTES OU GERADORES DE CORRENTE CONSTANTE

Podemos definir fontes de corrente constante como sendo dispositivos capazes de fornecer uma corrente de valor constante a qualquer carga, desde um circuito aberto (carga infinita) até um curto-circuito (resistência de carga zero).

Um gerador de corrente constante ideal, na prática, não existe. O que existe é o gerador de corrente real, possuindo certas limitações, e sendo capaz de manter constante a corrente nos terminais da carga, dentro de uma faixa de variações desta referida carga.

As figuras 3-3 e 3-4 ilustram os dois tipos de geradores, que acabamos de mencionar. Naturalmente, trata-se de uma representação simbólica.

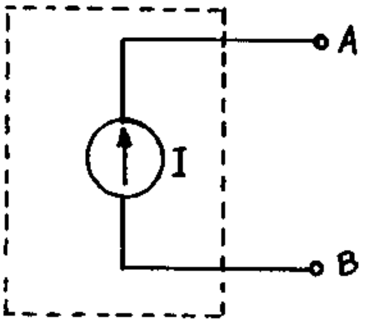


Figura 3-3 Gerador de corrente ideal

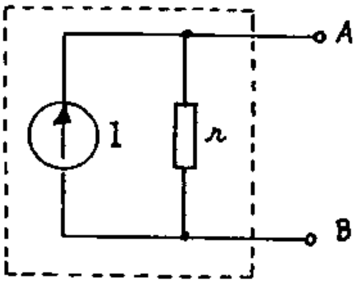


Figura 3-4 Gerador de corrente real

O gerador de corrente ideal teria uma altíssima resistência interna (idealmente infinita). Um gerador de corrente real compõe-se de um gerador ideal em paralelo com sua resistência interna.

Outro símbolo muito empregado para as fontes de corrente constante é o da figura 3-5.

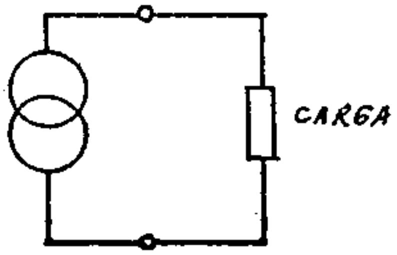


Figura 3-5 Representação simbólica de um gerador de corrente real

Um gerador de corrente constante prático é, portanto, aquele capaz de estabilizar a corrente em uma carga que varia dentro de uma grande faixa de valores.

Queremos chamar a atenção dos nossos leitores, para o seguinte: embora o assunto em pauta não se trate propriamente de geradores de corrente constante e geradores de tensão constante, achamos por bem, dar alguns conceitos básicos, os quais julgamos de grande utilidade para que, juntando aos demais assuntos que se seguirão, nos dêem uma melhor idéia daquilo que pretendemos expor.

Na prática, os geradores de corrente podem assumir diversas configurações. O que vemos aqui, entretanto, serão alguns circuitos de caráter puramente didáticos. Ocorre que, como no caso dos geradores de tensão, os geradores de corrente constante, na prática, envolvem dispositivos semicondutores, tais como: transistores, diodos, zener, etc. Uma análise, agora, destes circuitos, estaria fora de nossas cogitações iniciais. O leitor poderá ter uma noção bem melhor de fontes de corrente constante (fontes práticas), no assunto referente a dispositivos semicondutores.

Conhecemos pelo circuito da figura 3-6

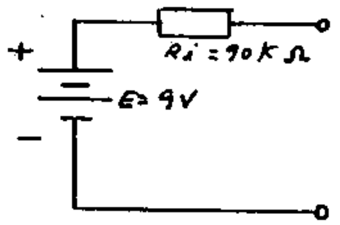


Figura 3-6 Circuito básico de um gerador de corrente constante

O circuito da figura 3-6 é constituído de um gerador de tensão, que tem conectado um resistor em série. Este dispositivo se aproxima relativamente bem de um gerador de corrente constante.

A bateria apresenta uma resistência interna muito baixa. Nós levamos em conta o valor dessa resistência interna.

Mas é necessário levarmos em conta a resistência interna do conjunto, ou seja, do nosso gerador. Essa resistência consideraremos, a título de exemplo, como sendo igual a 90 KΩ ($Ri = 90K\Omega$).

Agora, vamos supor que uma carga foi ligada ao nosso gerador. Esta carga é representada por RL, que neste exemplo assume um valor inicial de 0 (zero)Ω, conforme nos mostra o circuito da figura 3-7.

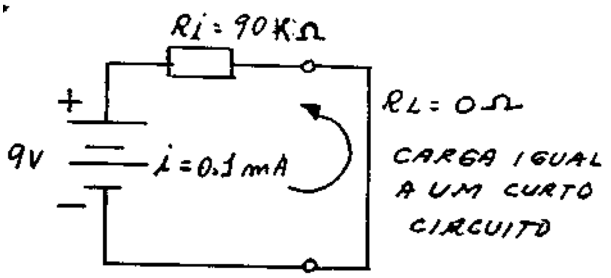


Figura 3-7 Circuito simplificado de um gerador de corrente constante, com a saída em curto-circuito.

Conforme vemos na figura 3-7, o valor da corrente que circula na carga, pode, facilmente ser obtido pela lei de OHM: $i = \frac{9V}{90K\Omega} = 0{,}1mA$. Agora, substituamos RL (0Ω), por que uma RL de 90Ω. Aplicando a lei de OHM, teremos: $i = \frac{90v}{90K\Omega + 90\Omega}$.

Observemos o circuito da figura 3-8.

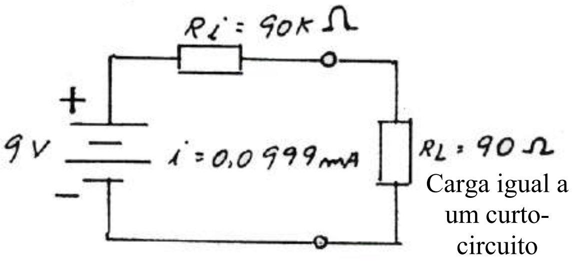


Figura 3-8 Gerador de corrente constante RL= 90 Ω

Calculando, então, a corrente, temos i = 0,0999 mA. Este valor mudou pouco, em relação ao anterior (0,1mA).

Para fins práticos, dizemos que a corrente praticamente se manteve constante.

Aumentemos, novamente nossa resistência de carga, agora de 10 de vezes (RL = 900Ω). Aplicando a fórmula $i = \frac{9V}{90K\Omega + 900\Omega}$ teremos $i = 0{,}099mA$, que, também, é um valor bem próximo de 0,1mA.

Se quisermos calcular o erro quando utilizarmos a RL de 90Ω a de 900Ω, em relação à corrente obtida para a condição de curto-circuito, é só utilizarmos a seguinte fórmula:

$$\%\ \text{Erro} = \frac{\text{I curto} - \text{I carga}}{\text{I curto}} \times 100$$

Para fixarmos melhor esta nossa seqüência de raciocínio observemos a tabela da figura 3-9.

RI	RL	I CARGA	ERRO
90K Ω	Curto	0,1 mA	0 %
90K Ω	90 Ω	0,0999 mA	0,1%
90K Ω	900 Ω	0,099 mA	1,0%
90K Ω	9000 Ω	0,0909 mA	9,1%

Figura 3-9 Percentagem de erro da corrente de carga, em função de RL e em relação a corrente de curto-circuito.

Se usarmos a fórmula, seguindo os dados da tabela da figura 3-9, vamos notar que, no caso do 90Ω, o erro é de 0,1% enquanto que com RL igual a 900Ω temos 1% de erro. Entretanto, se aumentarmos a carga para 9kΩ, a corrente será 0,0909 mA, que corresponde a um erro de 9,1%.

É importante observarmos que com uma RL de até 900Ω, seu valor é bem pequeno quando comparado ao valor de Ri (90 kΩ). Neste caso, a variação de corrente entregue pelo gerador se situa em 1%.

Com isso, podemos facilmente deduzir que um bom critério para se obter uma fonte de corrente constante, é fazer com que sua resistência interna seja, no mínimo, 100 vezes o valor da maior carga a ser utilizada. Isto nos assegura um erro máximo de 1%.

É importante observarmos, aqui, que não é o valor absoluto da resistência interna do gerador, que irá qualifica-lo como um “bom” gerador de corrente, e sim sua resistência interna (Ri) comparada à resistência de carga RL.

Ainda, com referência aos dados da tabela, podemos observar que, se quiséssemos utilizar uma RL = 9KΩ, teríamos que dispor de uma Ri = 900 KΩm no mínimo. Entretanto, para que a corrente fosse mantida em 0,1 mA, necessitaríamos de uma fonte de 90 V, o que nos levaria a uma solução não muito prática.

Queremos lembrar, aqui aos nossos leitores, que qualquer circuito capaz de manter uma corrente constante, independente do valor da carga (dentro de certos limites) estará sendo representado por um circuito chamado "Equivalente de Norton".

Este será, portanto, nosso gerador de corrente constante. A exemplo do "Equivalente de Thévenin", o "Equivalente de Norton" encontra muita aplicação na resolução de circuitos considerados complexos, conforme veremos mais tarde nesse assunto referente a análise de circuitos.

ELEMENTOS DE CIRCUITOS

Denomina-se elemento de um circuito o menor componente individual, que é considerado na resolução de um problema. Tal elemento pode ser uma simples resistência, uma f. e. m., ou ainda um valor equivalente à associação de diversas resistências ou tensões. Na figura 3-10 temos uma representação esquemática para ilustrar os elementos de um circuito.

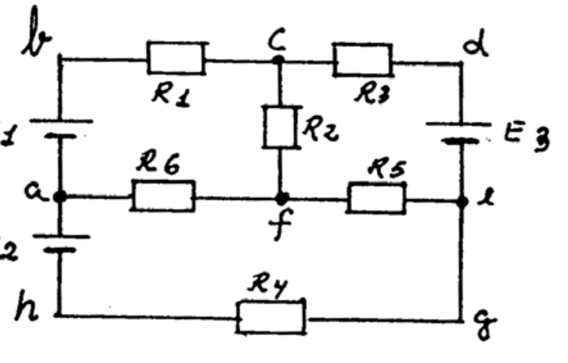


Figura 3-10 Diagrama para ilustrar os elementos de um circuito

Na figura 3-10, E1, E2, E3, R1, R2, R3 e R4 são elementos do circuito. É importante ressaltarmos que E1, E2 e E3 podem representar uma simples pilha, um gerador, ou mesmo uma fonte eletrônica (um retificador, por exemplo).

Da mesma forma, R!, por exemplo, tanto pode ser um simples resistor, quanto a resistência à CC de um indutor, etc.

Terminologia usual

Como propósito de facilitar a análise de circuitos elétricos, existem certos termos com os quais devemos nos familiarizar.

a) Rede ou Circuito

Dá-se o nome de rede a um conjunto de condutores, geradores e receptores ligados de uma maneira qualquer, ou seja, em série em triângulo, em paralelo, etc.

A figura 3-10 nos mostra um exemplo de uma rede ou circuito.

b) Nó de Intensidade ou Nó (ou ainda NODO)

Nó pode ser definido como a junção de três ou mais elementos componentes de uma rede. Se observarmos o circuito da figura 3-10, vamos notar que existem pontos comuns a diversos condutores, ou geradores, ou receptores. A exemplo temos os pontos **a**, **c**, **e** e **f**. Portanto, o Nó é o ponto de concorrência de três ou mais braços.

c) Braço ou Ramo

Qualquer porção de uma estrutura (de um circuito), ligando diretamente dois nós, sem passar através de um terceiro, chama-se **braço** ou **ramo**. Na figura 3-10, podemos observar que os elementos E1 e R1, por exemplo, constituem um ramo que une os nós **a** e **c;** da mesma forma, o elemento R2 forma o ramo que une os nós **c** e **f.** Em um **braço ou ramo,** todos os elementos que nele figuram estão em série. Neste circuito temos seis braços.

d) Laço de Circuito

Observando a figura 3-10, notamos um circuito fechado **a, b, c, f, a**, incluindo E1, R1, R2 e R6. Isto constitui exemplo do laço ou "loop". Desta forma podemos dizer que o laço é a combinação de todos os elementos formadores de um circuito fechado. Outros exemplos de laço: **abcdefa**, **fcdef**, etc.

e) Malha

Podemos dizer que a malha é o menor laço. A malha nada mais é do que um laço, que não pode ser subdividido em outros. São exemplos de malhas: **abcfa**, **fcdef** e **afegha**.

Portanto, a malha é todo circuito fechado que possa ser considerado dentro da rede, **que não pode ser dividido**.

TEOREMAS DAS ESTRUTURAS ELÉTRICAS

Os teoremas a serem abordados aqui, serão enumerados sem qualquer comprovação. Existem quatro teoremas largamente empregados na análise de circuitos, e que constituem a base para muitos outros teoremas existentes, São eles: Leis de Kirchoff, Teorema de Thévenin, Teorema de Norton e Teorema de Superposição.

1. Leis de Kirchoff

Fundamentalmente existem duas Leis de Kirchoff para o estudo das estruturas:

a) Primeira Lei de Kirchoff ou Lei dos Nós

"A soma das correntes que entram em um nó, é igual à soma das correntes que saem do nó". É o que nos ilustra a figura 3-11.

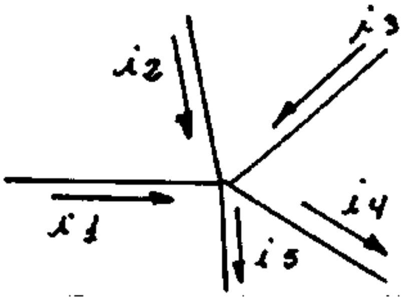


Figura 3-11 Ilustração da primeira Lei de Kirchoff

Da mesma forma, é válido enunciar que: "a soma algébrica das correntes que entram e saem de um nó é nula". Então podemos escrever inicialmente, que:

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 + i_5$$

ou então:

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

b) Segunda Lei de Kirchoff ou Lei das Malhas

Esta lei é relativa às tensões, podendo ser enunciada da seguinte maneira:

"Em qualquer circuito elétrico fechado, a soma algébrica das quedas de potencial deve ser igual à soma algébrica das elevações de potencial".

R . I (Queda de potencial) = **E** (Elevação de potencial)

Em outras palavras: "a soma algébrica de todas as quedas de potencial e a f.e.m. devem ser iguais a zero". R x I – E = 0

2. Aplicação das Leis de Kirchoff

Para aplicarmos as leis de Kirchoff aos circuitos elétricos, levamos em conta o sentido do fluxo de elétrons através desses circuitos. Em conseqüência usamos normalmente sentidos arbitrários de circulação, desde que não sejam evidentes os sentidos reais.

Devemos empregar, por exemplo, a lei das correntes ou lei dos nós, a fim de reduzirmos o número das correntes desconhecidas. Em seguida escrevemos uma equação de Kirchoff relativa á segunda lei, ou lei das malhas, para cada circuito fechado do conjunto; e assim prosseguimos, escrevendo equações de modo que cada elemento do conjunto seja usado pelo menos uma vez em uma das equações. Deste modo, resolveremos as equações resultantes, determinando, em seguida, o valor de cada corrente.

De um modo geral, é possível prescrever várias regras que nos levem a escrever equações de tensão, ou mesmo de corrente, para qualquer circuito, todas conduzindo-nos a um resultado correto. Entretanto, para atender nossos objetivos, iremos nos limitar às seguintes regras:

a) uma rede contendo **b** ramos, necessita de **b** equações para a solução do problema, já que, para cada ramo há uma corrente.

b) começamos sempre aplicando inicialmente a lei dos nós.

c) se houver **n** nós aplicamos a primeira lei **n-1** vezes, conseguindo **n-1** equações independentes entre si.

d) em virtude de serem necessárias **b** equações e a primeira lei ser utilizada n-1 vezes, podemos aplicar a segunda lei, b-(n-1) vezes, ou seja, igual ao número de malhas.

e) devemos atribuir, arbitrariamente, um sentido para a corrente em cada braço ou ramo do circuito.

f) é necessário atribuirmos, também, um sentido de percurso para cada malha.

g) a força eletromotriz terá sinal positivo, desde que não se oponha ao sentido de percurso adotado; isto é , terá sinal positivo quando o sentido do percurso bater no pólo positivo da bateria.

h) quando um resistor for percorrido por uma corrente que tenha o mesmo sentido que aquele arbitrado para o percurso, o produto I x R será positivo. Em caso contrário, esse produto será negativo.

i) se obtivermos um resultado negativo de corrente, isto significará que o sentido arbitrado inicialmente é oposto ao verdadeiro; entretanto, o valor numérico não se alterará.

(1) Exercícios de fixação

(a) Seja o circuito da figura 3-12 no qual queremos aplicar as leis de Kirchoff.

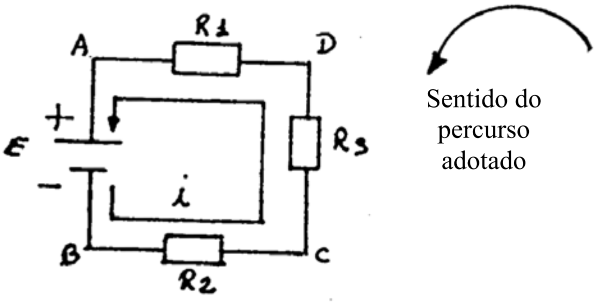


Figura 3-12 Circuito para análise das Leis de Kirchoff

Observando o circuito da figura 3-12, vemos que se trata de um circuito bastante simples. Trata-se de um circuito série contendo um único gerador.

Agora, precisamos atribuir um sentido arbitrário para a corrente, dentro da malha, conforme ilustração na figura 3-12. É necessário que atribuamos, também, um sentido de percurso, para o nosso circuito.

Suponhamos, então que o nosso percurso seja este: ABCDA. Deste modo, partindo do ponto A, e movendo-se na direção ABCDA, encontramos, inicialmente, a tensão E, que é positiva no ponto A. Daí, dizemos que a fonte E tem sinal positivo, porque ela não se opõe ao sentido arbitrado para o percurso. Portanto, o primeiro termo de nossa equação é +E.

Vejamos, em seguida, as quedas do potencial (i.R): ora, no nosso exemplo, a corrente que passa pelos resistores tem o mesmo sentido que o arbitrado para o percurso. Logo, os produtos iR_2 e iR_1 são todos antecedidos de um sinal positivo.

Assim, podemos afirmar, para o circuito da figura 3-12, que: $+E = +iR_1 + iR_2 + iR_3$.

Isto está de acordo com a 2ª Lei de Kirchoff, que diz: "Em qualquer circuito fechado, a soma algébrica das quedas de potencial deve ser igual à soma algébrica das elevações de potencial".

Conforme já dissemos anteriormente, as "elevações de potencial" são as fontes E. No nosso exemplo, em questão, só existe uma fonte, embora pudesse haver mais de uma, como teremos oportunidade de ver em exemplos subseqüentes.

(b) Seja, agora, o circuito da figura 3-13.

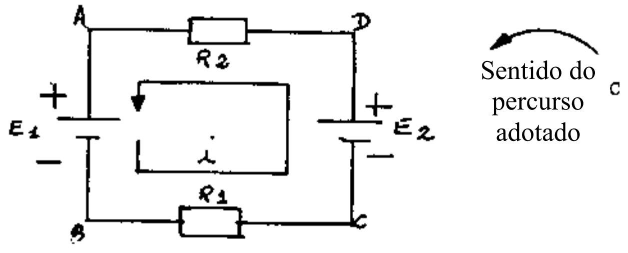


Figura 3-13 – Circuito para análise das leis de Kirchoff

O circuito da figura 3-13 ainda é relativamente simples, contendo dois geradores: E_1 e E_2. Observemos o sentido de percurso adotado. É o sentido ABCDA. Partindo do ponto A, seguindo a direção ABCDA, notamos que a ponta da seta indicadora do percurso aponta para o positivo da fonte E_1. Esta seta não vai de encontro ao negativo de E_1. Assim sendo, encontramos, a partir do ponto A, a primeira tensão E_1, que é positiva, e vai ser o primeiro termo da nossa equação. Continuando nosso movimento de acordo com a orientação indicada, vamos encontrar o segundo termo do primeiro membro de nossa equação. Trata-se da fonte E_2. Só que tem um detalhe: a ponta da seta vai de encontro ao negativo da fonte.

Então, nós dizemos que a f.e.m. está se opondo ao sentido de percurso adotado. Por este motivo o 2º termo de nossa equação é negativo $(-E_2)$. Quanto aos produtos iR, todos serão positivos, pois a corrente i, que passe pelos resistores, tem sentido igual ao arbitrado para o percurso.

Portanto, de acordo com a 2ª Lei de Kirchoff, podemos dizer que:

$$+E_1 - E_2 = iR_1 + iR_2$$

Invertendo as posições dos membros da equação e colocando o fator i em evidência, temos:

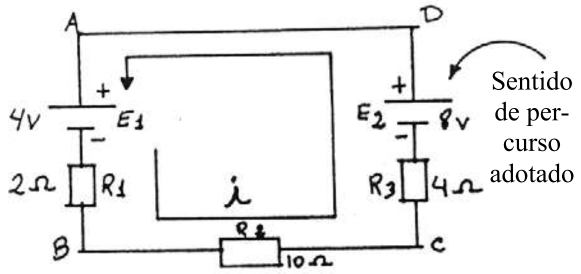
$$iR_1 + iR_2 = E_1 - E_2$$

$$i\,(R_1 + R_2) = E_1 - E_2$$

Agora, tirando o valor de i, vem:

$$i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

(c) Vejamos na figura 3-14 um circuito idêntico ao anterior, sendo que seus elementos têm valores numéricos.



Sentido de percurso adotado

Figura 3-14 Circuito para comprovação das Leis de Kirchoff

Adotando o sentido ABCDA para o percurso, bem como o sentido adotado para a corrente, e aplicando a segunda lei de Kirchoff, teremos:

$$+E_1 - E_2 = iR_1 + iR_2 + iR_3$$

Colocando "i" em evidência e tirando o seu valor na equação, teremos:

$$i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

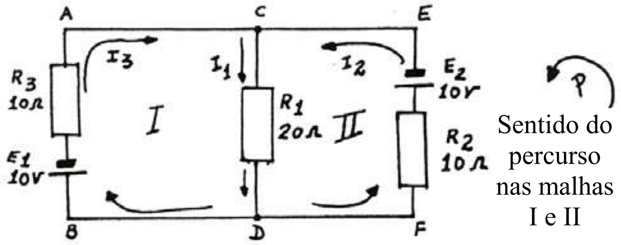
Substituindo o numerador e o denominador por seus respectivos valores, vem:

$$i = \frac{4V - 8V}{2\Omega + 10\Omega + 4\Omega} \qquad i = -0{,}25A$$

Uma vez achada a corrente, as quedas de potencial podem ser facilmente encontradas.

É importante observarmos que, se o sentido da corrente fosse arbitrado ao contrário, certamente teríamos um resultado positivo para a corrente, indicando, desta forma, que o sentido arbitrado anteriormente para "i", estaria errado. Em ambos os casos, o resultado da corrente, em módulo é o mesmo.

(d) O circuito que analisaremos, agora, já não é tão simples quanto os três primeiros.



Sentido do percurso nas malhas I e II

Figura 3-15 Circuito para cálculo das leis de Kirchoff

Cabem aqui, algumas considerações importantes, a saber:

1. Como existem dois nós, D e C, temos uma equação para a primeira lei, ou Lei dos Nós. Observando o circuito notamos que a corrente I_1 se subdivide em I_2 e I_3 ; portanto: $I_1 = I_2 + I_3$ (primeira equação).
2. No circuito temos 2 malhas, portanto a segunda lei será escrita duas vezes.
3. Como no circuito há três ramos, teremos 3 equações: uma para a corrente e duas para as tensões.
4. Aplicando a segunda lei na malha I, adotando o percurso ABDCA, obtemos:

   $-E_1 = -I_1R_1 - I_3R_3 \therefore$

   $-10V = -20I_1 - 10I_3$ (segunda equação)
5. Aplicando a segunda lei na malha II, adotando o percurso CDFEC, obtemos:

   $+E_2 = +I_1R_1 + I_2R_2 \therefore$

   $+10V = 20I_1 + 10I_2$ (terceira equação)

6 Temos então três equações com incógnitas. Para resolvermos devemos fazer uso de um método simples conforme se segue.

(a) Substituímos a primeira equação (corrente) em uma das equações de tensão, obtendo uma quarta equação de tensão. Substituímos o valor de I_3 na segunda equação teremos:

$I_3 = I_1 - I_2$

$+10 = +20I_1 + 10(I_1 - I_2) \therefore$

$+10 + 30I_1 - 10I_2$ (quarta equação). Esta quarta equação possui as mesmas incógnitas que a terceira equação, assim podemos compara-las, arranja-las e soma-las, obtendo:

$20 = 50I_1 \quad \therefore \quad 2 = 5I_1 \quad \therefore$

$I_1 = 2/5\ A = 0{,}4\ A$

(b) Substituímos I_1 na segunda equação e obtemos:

$10 = 20 \times 0{,}4 + 10I_3 \quad \therefore$

$10 = 8 + 10I_3 \quad \therefore \quad I_3 = \frac{10-8}{10}$

$I_3 = 0{,}2A$

(c) Como $I_1 = I_2 + I_3$

$I_2 = I_1 - I_3 = 0{,}4 - 0{,}2 = 0{,}2A$

ou substituindo I_1 na terceira equação obtemos:

$+10 = 20I_1 + 10I_2 \ \therefore$

$+10 = 20 \times 0{,}4 + 10I_2 \ \therefore$

$I_2 = 0{,}2A$

7 Verificando a primeira equação $I_1 = I_2 + I_3$ então $0{,}4 = 0{,}2A + 0{,}2A$. Esta equação está correta com o resultado que obtemos. Podemos também verificar a igualdade de todas as equações e chegamos à conclusão que estão corretas.

e) Analisemos, agora, o circuito da figura 3-16.

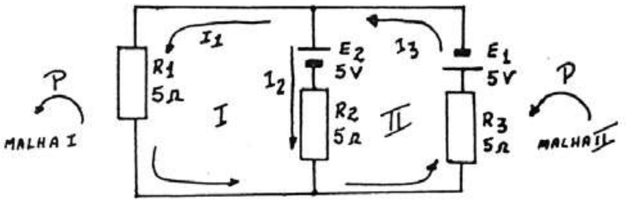


Figura 3-16 Circuito para análise das leis de Kirchoff

Para encontrarmos os valores de I_1, I_2 e I_3, seguiremos os sete passos seguintes.

1 Pela primeira Lei de Kirchoff, ou Lei dos Nós, obtemos a seguinte equação: $I_3 = I_1 + I_2$ (equação I)

2 Na malha I, pela segunda Lei de Kirchoff, obtemos:

$-E_2 = I_1R_1 - I_2R_2$

$-5V = 5I_1 - 5I_2$ (equação II)

3 Na malha II, pela segunda Lei de Kirchoff, obtemos:

$E_1 + E_2 = I_2R_2 + I_3R3$

$10V = 5I_2 + 5I_3$ (equação III)

4 Substituímos a equação I na equação III:
$10V = 5I_2 + 5(I_1 + I_2)$
$10V = 5I_2 + 5I_1 + 5I_2$
$10V = 5I_1 + 10I_2$ (equação IV)
Comparamos a equação IV com a equação de tensão que ainda não foi usada, que é a II, que possui as mesmas incógnitas que a equação IV. Se multiplicarmos a equação II por –1 podemos cancelar I_1 e encontrar o valor de I_2.

Somando II com IV, obtemos:

$$\begin{array}{l} 5V = -5I_1 + 5I_2 \\ \underline{10V = +5I_1 + 10I_2} \\ 15V = \qquad\quad 15I_2 \end{array}$$

$\therefore \ I_2 = 1A$

5 Aplicando o valor de I_2 na equação II obtemos o valor de I_1:

$-5V = 5I_1 - 5I_2$

$-5V = 5I_1 - 5$

$5I_1 = 0 \quad \therefore \quad I_1 = 0$

6 Aplicando o valor de I_2 na equação III obtemos o valor de I_3

$10V = 5I_2 + 5I_3$

$10V = 5V + 5I_3$

$5I_3 = 10V - 5v$

$5I_3 = 5V \quad \therefore \quad I_3 = 1A$

7 Fazendo a verificação de cada equação teremos:

a. $I_3 = I_2 + I_1 \therefore 1A = 1A + 0$

b. $-5V = 5I_1 - 5I_2$

$-5V = 5 \text{ x } 0 - 5 \text{ x } 1A$

$-5V = -5V$

c. $10V = 5I_2 + 5I_3$

$10V = 5 \text{ x } 1A + 5 \text{ x } 1A$

$10V = 5V + 5V$

$10V = 10V$

d. $10V = 5I_1 + 10I_2$

$10V = 5 \text{ x } 0 + 10 \text{ x } 1A$

$10V = 10V$

Todas as equações formam uma igualdade e chegamos à conclusão que estão corretas.

Método para resolver Kirchoff com duas malhas:

1- Tirar uma equação para as correntes;

2- Tirar duas equações para a tensão, uma equação para cada malha;

3- Substituir a equação das correntes em uma das equações de tensão obtendo uma quarta equação;

4- Esta quarta equação possui as mesmas incógnitas que a equação de tensão que não foi usada;

5- Preparamos esta quarta equação e somamos com a equação ainda não usada eliminando uma das incógnitas e encontrando o valor de uma das correntes;

6- Por substituição obtemos os outros valores de corrente do circuito;

7- Fazemos a verificação de todas as equações da resolução do problema e se todas formarem uma igualdade os resultados estarão corretos;

8- Observação: Em todas as substituições considere o módulo e o sinal encontrados.

DIVISOR DE TENSÃO E DIVISOR DE CORRENTE

Afim de melhor compreender como surgirão as fórmulas de tensão e corrente nos teoremas de Thévenin e Norton analisaremos os divisores de tensão e corrente, conforme demonstrado a seguir.

Divisor de tensão

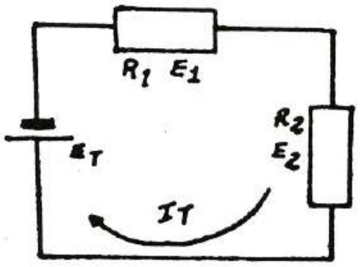


Figura 3-17 Divisor de tensão

No circuito da figura 3-17 temos:

$E_T = E_1 + E_2$ e $I_T = I_1 = I_2$

$$I_T = \frac{E_T}{R_1 + R_2} \; ; \; I_1 = \frac{E_1}{R_1} \; ; \; I_2 = \frac{E_2}{R_2}$$

$$\frac{E_T}{R_1 + R_2} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{E_2}{R_2}$$

a) Cálculo de E_1 :

$$\frac{E_T}{R_1 + R_2} = \frac{E_1}{R_1} \quad \therefore \quad E_1 = \frac{E_T \text{ x } R_1}{R_1 + R_2}$$

b) Cálculo de E_2 :

$$\frac{E_T}{R_1 + R_2} = \frac{E_2}{R_2} \quad \therefore \quad E_2 = \frac{E_T \text{ x } R_2}{R_1 + R_2}$$

c) A finalidade do divisor de tensão é nos proporcionar o cálculo de queda de tensão nos resistores sem o uso da corrente do circuito.

Divisor de corrente

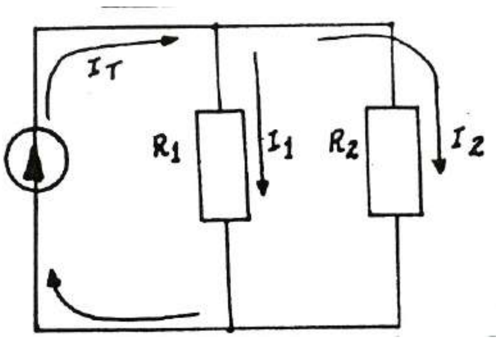


Figura 3-18

No circuito da figura 3-18 temos:

$I_T = I_1 + I_2$ e $E_T = E_1 = E_2$

$$E_T = I_T \bullet \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} \; ; \; E_1 = I_1 R_1 \; ; \; E_2 = I_2 R_2 \; \therefore$$

$$I_T \bullet \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

a) Cálculo de I_1

$$I_T \bullet \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} = I_1 R_1$$

$$I_1 = \frac{\frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} \bullet I_T}{\frac{R_1}{1}} = \frac{R_1 \bullet R_2 \bullet I_T}{R_1 + R_2} \bullet \frac{1}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{I_T \bullet R_2}{R_1 + R_2}$$

b) Cálculo de I_2

$$I_T \bullet \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} = I_2 \bullet R_2$$

$$I_2 = \frac{I_T \bullet \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{1}} = \frac{R_1 \bullet R_2 \bullet I_T}{R_1 + R_2} \bullet \frac{1}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{I_T \bullet R_1}{R_1 + R_2}$$

c) A finalidade do divisor de corrente é nos proporcionar o cálculo da corrente que passa por um braço do circuito sem o uso da tensão do circuito.

TEOREMA DA SUPERPOSIÇÃO

Enunciado

O teorema da superposição estabelece que "em qualquer rede contendo uma ou mais fontes de tensão (e/ou corrente), a corrente em qualquer elemento do circuito é a soma algébrica das correntes que seriam causadas por cada fonte individualmente, estando as demais substituídas por suas respectivas resistências internas".

Aplicação

Para ilustrar a aplicação do teorema vamos analisar o circuito da figura 3-19, onde desejamos encontrar o valor e o sentido das correntes em R_1, R_2 e R_3.

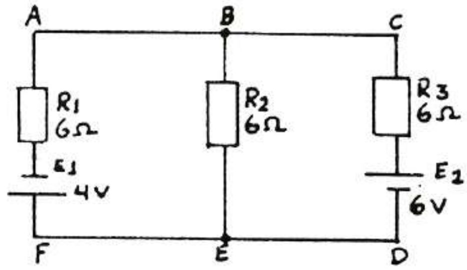


Figura 3-19

Primeiramente usaremos E_1 e substituiremos E_2 por um curto (consideramos E_2 com $R_i = 0$).

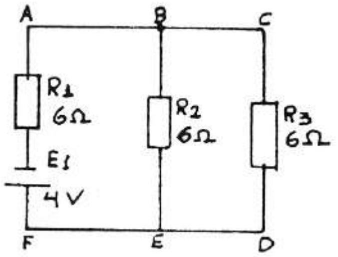


Figura 3-20

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 \bullet R_3}{R_2 + R_3} = 6 + 3 = 9\Omega$$

$E_T = R_1 = 4V$

$$I_T = I_{R1} = \frac{4V}{9\Omega} = 0{,}444\,A$$

As correntes no circuito ficam como distribuídas a seguir:

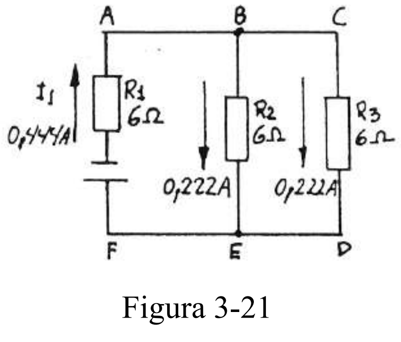


Figura 3-21

Em seguida usaremos E_2 e substituiremos E_1 por um curto (também consideramos R_1 de $E_1 = 0$).

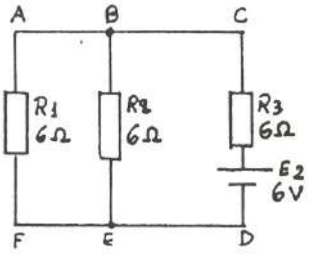


Figura 3-22

$$R_T = R_3 + \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2} = 6 + 3 = 9\Omega$$

$E_T = E_2 = 6$ V

$$I_T = I_{R3} = \frac{6V}{9} = 0{,}666\,A$$

As correntes no circuito ficam como distribuídas na figura 3-23:

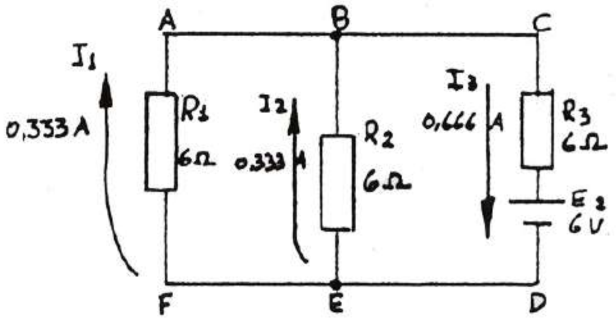

A
B
C
I1
0,333 A
R1
6Ω
I2
0,333 A
R2
6Ω
I3
0,666 A
R3
6Ω
E2
6V
F
E
D

Figura 3-23

Como último passo fazemos a superposição das correntes causadas por E_1 e por E_2.

Em R_1 a corrente real será a soma algébrica de 0,444A e 0,333A no mesmo sentido, de F para A, de onde I_{R1} = 0,777 A.

Em R_2 obtemos 0,333A de E para B, e 0,222A de B para E;. O resultado final é de 0,111A no sentido de E para B.

Em R_3 obtemos 0,222A e 0,666A no mesmo sentido, de C para D, de onde I_{R3} = 0,888A.

O resultado final está mostrado a seguir na figura 3-24.

Verificação:

$I_{R3} = I_{R1} + I_{R2}$

0,888A = 0,777A + 0,111A.

De acordo com a primeira Lei de Kirchoff está correto.

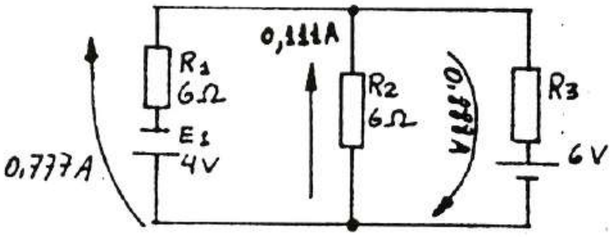

0,111A
R1
6Ω
E1
4V
0,777A
R2
6Ω
0,888A
R3
6V

Figura 3-24

TEOREMA DE THÉVENIN

Nem sempre as leis de Ohm e de Kirchoff constituem a ferramenta necessária para a resolução de circuitos mais complexos.

O teorema de Thévenin faz parte de um grupo de teoremas sobre estruturas elétricas complexas, possibilitando-nos meios mais eficazes para a análise simplificada de circuitos dessa natureza.

A técnica utilizada possibilita a redução de um circuito complexo a um circuito equivalente simples, que passa a atuar como a rede original.

O teorema de Thévenin pode ser enunciado da seguinte maneira: "qualquer rede de dois terminais pode ser substituída por um circuito equivalente simples, constituído por um gerador, chamado gerador de Thévenin, cuja tensão E_{TH}, atuando em série com sua resistência interna R_{TH}, obriga a corrente a fluir através de uma carga" (Ver a figura 325 b).

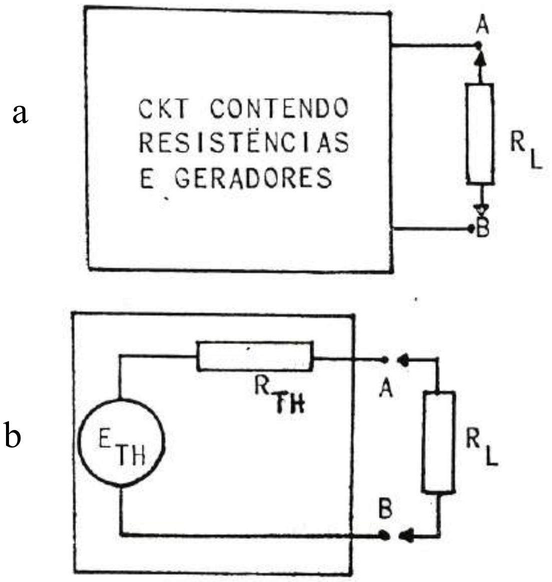
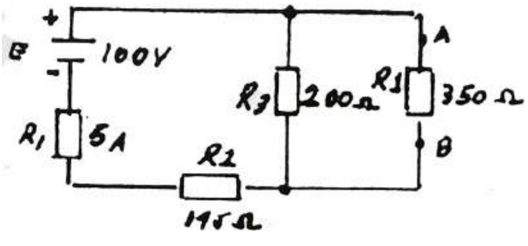
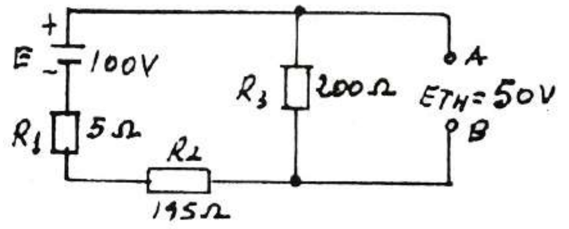

a
CKT CONTENDO RESISTÊNCIAS E GERADORES
A
RL
B
b
ETH
RTH
A
RL
B

Figura 3-25

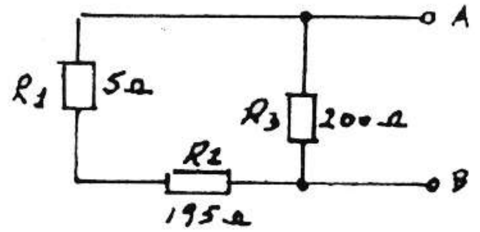
Os circuitos a seguir nos mostram uma sequência de operações, que visam a determinar os dois elementos fundamentais constituintes do teorema de Thévenin, ou seja, ETH e RTH.


+
E
100V
-
R1
5A
R2
145Ω
R3
200Ω
R1
350Ω
A
B

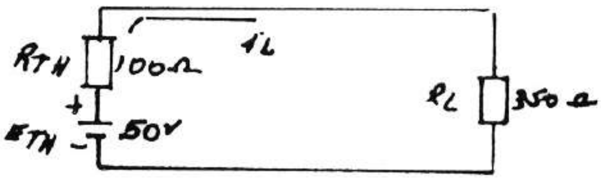
(a)



(b)



(c)



(d)

$$R_{TH} = \frac{200\ (195 + 5)}{200 + 195\ \ 5} = 100\Omega$$

Figura 3-26

Vejamos agora, algumas regras usadas na determinação de ETH e RTH:

1 – Entendemos por tensão de Thévenin (ETH) aquela tensão vista nos terminais de carga, no circuito original, estando a resistência de carga removida, isto é, tensão em circuito aberto. É o que nos ilustra a figura 3-26 b.

Conforme observamos na figura 3-26 b, para calcularmos a tensão de Thévenin (ETH), removemos a carga RL. Neste caso a tensão de Thévenin é a tensão vista nos terminais em circuito aberto A-B. Isto significa que a tensão de Thévenin é a própria queda de tensão em R_3. Assim, basta calcularmos a corrente total do circuito e multiplicamos por R_3:

$$VR_3 = it \bullet R_3 = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} \bullet R_3 =$$

$$= \frac{100V}{5\Omega + 195\Omega + 200\Omega} \bullet 200\Omega = 50V$$

Portanto, temos que: $V_{R3} = V_{AB} =$

ETH = 50 V

2 – Quanto à resistência de Thévenin (RTH), trata-se da resistência vista dos terminais de carga aberta, quando olhamos para a rede original, estando as fontes de tensão do circuito substituídas por suas resistências internas.

A figura 3-26c, ilustra o que acabamos de mencionar. Neste caso, a fonte foi curto-circuitada e o circuito passou a ter: R_1 em série com R_2; e as duas em paralelo com R_3. Deste modo, a resistência equivalente entre os pontos A e B é 100Ω, que é a resistência de Thévenin.

3 – Agora, resta-nos fazer o equivalente de Thévenin, para o circuito da figura 3-26 a. É o que nos mostra a figura 3-26d.

Aí temos uma fonte de tensão de 50V, que é o gerador de Thévenin; em série com esta fonte temos uma resistência, que é a de Thévenin (100Ω).

Este circuito, portanto, é capaz de fazer fluir uma corrente (iL) através de uma carga (RL), substituindo o circuito da figura 20a.

Para calcularmos a corrente iL no circuito da figura 3-26d é só empregar a Lei de Ohm:

$$iL = \frac{ETH}{RTH + RL} = \frac{50V}{100\Omega + 350\Omega} \cong 0{,}111\text{A}$$

Bem, agora, perguntamo-nos: que vantagem seria empregarmos tal método na resolução dos circuitos, uma vez que, aparentemente as coisas se tornaram mais complicadas, pois se trata de um circuito muito simples, podendo ser resolvido pela aplicação das leis de Ohm e de Kirchoff ?

Realmente, para o circuito que acabamos de analisar, isto constitui uma verdade. Entretanto a veracidade do teorema de Thévenin torna-se evidente se modificarmos o circuito.

Para isto, vamos supor que quiséssemos achar o valor da corrente I_L quando RL assumisse diversos valores, como por exemplo:

RL1 = 20Ω
RL2 = 50Ω
RL3 = 100Ω
RL4 = 1200Ω

Se fôssemos aplicar as leis de Ohm e de Kirchoff, por exemplo para calcular a I_L em cada RL diferente, não resta dúvida que seria um trabalho bem laborioso. Entretanto, calculando o equivalente de Thévenin, facilmente determinamos os valores de corrente para cada valor diferente de RL, uma vez que

ETH e RTH, são grandezas independentes do valor de RL.

Vejamos mais um exemplo bem simples, de aplicação do teorema de Thévenin, para em seguida entrarmos na análise de circuitos mais complexos.

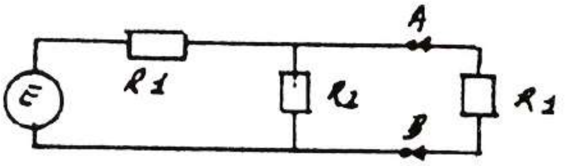


Figura 3-27

Para calcularmos a tensão de Thévenin (ETH), basta acharmos a tensão entre os pontos A e B. Portanto, ao retirarmos RL do circuito, a tensão V_{AB} =ETH = $\frac{E}{R_1+R_2}\bullet R_2 =$

$= \frac{E\bullet R_2}{R_1 + R_2}\bullet ETH$ sendo igual a $\frac{E\bullet R_2}{R_1+R_2}$

equivale à f.e.m. do gerador equivalente de Thévenin.

Agora, com a fonte “E” em curto-circuito, passemos ao cálculo de RTH, que por natureza do circuito, será: $R_{AB} = RTH = \frac{R_1\bullet R_2}{R_1+R_2}$

Finalmente, teremos o circuito equivalente de Thévenin, seguido dos seus elementos fundamentais, (RTH e ETH), conforma a figura 3-28 a seguir.

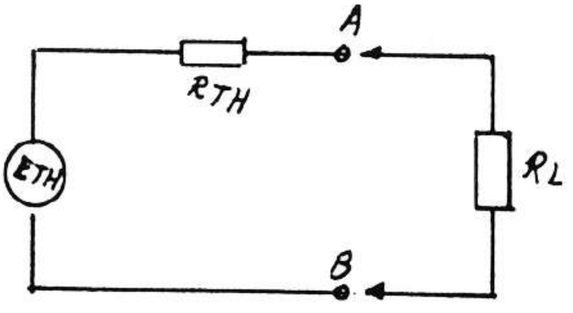


Figura 3-28

$$RTH = \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1+R_2} \qquad ETH = \frac{E\bullet R_2}{R_1+R_2}$$

Vamos supor que quiséssemos calcular a potência dissipada no resistor R_2 do circuito da figura 3-29, aplicando o teorema de Thévenin.

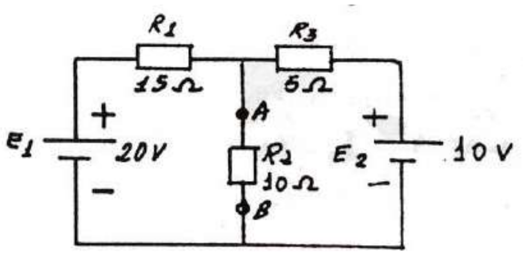


Figura 3-29 Ilustração do teorema de Thévenin

Precisamos encontrar o equivalente de Thévenin para o circuito da figura 3-29. Vamos abrir o circuito nos pontos A e B, pois R_2 representa nossa RL. O circuito passa a ser como o da figura 3-30.

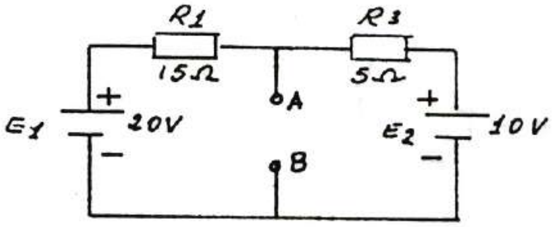


Figura 3-30 R_2 removida do circuito

As fontes E_1 e E_2 estão em oposição. Logo a corrente total será:

$$I_t = \frac{20V-10V}{15\Omega+5\Omega} = \frac{10V}{20\Omega} = 0,5\,A$$

Esta corrente, passando em R_3 produzirá uma queda de tensão de 2,5,V; e passando em R_1 produzirá uma queda de tensão de 7,5 V. Assim, já podemos achar a tensão V_{AB} que será 12,5 V, conforme ilustrado na figura 3-31.

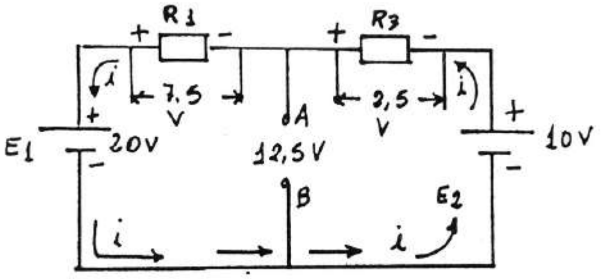


Figura 3-31 Potencial entre os pontos A e B, igual a 12,5 V

Pelo exposto no circuito da figura 3-31, observamos que a fonte E_1 é que determina o fluxo de corrente, pois esta fonte tem valor maior que E_2. Assim sendo, de acordo com o sentido de corrente estabelecido, temos que, pelo lado de E_2, a tensão $V_{AB} = E_2 + V_{R3}$, pois estas duas tensões estão em série e se somam, dando V_{AB} = 12,5 V.

Pelo lado de E_1, a tensão $V_{AB} = E_1 - V_{R1}$, pois estas duas tensões estão se opondo.

Logo: V_{AB} = 20V – 7,5V; ou V_{AB} = 12,5V. Portanto, sendo V_{AB} = 12,5V, concluímos que a tensão de Thévenin é 12,5V.

Agora vamos calcular a resistência de Thévenin. E só abrir o circuito da figura 3-29 nos terminais A e B e curto-circuitar as fontes E1 e E2.

O circuito ficará como o da figura 3-32a e 3-32b.

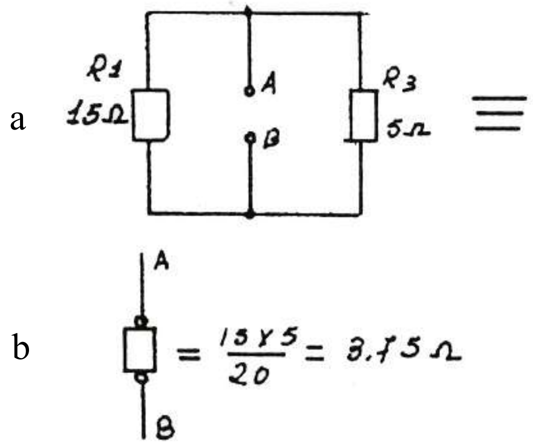

a
R1
15Ω
A
B
R3
5Ω
≡
b
A
= 15x5/20 = 3.75 Ω
B

Figura 3-32

Assim, podemos fazer o equivalente de Thévenin para o circuito da figura 3-29, usando o circuito da figura 3-33.

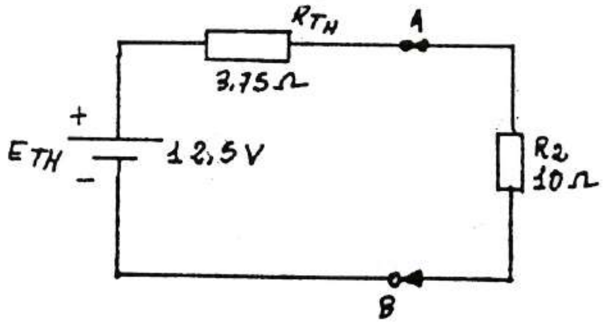

RTH
A
3.75Ω
+
ETH
-
12,5V
R2
10Ω
B

Figura 3-33 Equivalente de Thévenin

Deste modo, ficou fácil calcularmos a potência de R_2 É só achar a corrente total, elevar ao quadrado e multiplicar por R_2. Isto pode ser feito da seguinte maneira:

$$It = \frac{ETH}{RTH + R_2}\text{; } (It)^2 \text{ x } R_2 = P_2\text{. Ou seja:}$$

$$P_2 = \left(\frac{12{,}5V}{13{,}75\Omega}\right)^2 x\ 10\Omega = 8{,}28W.$$

Outros exemplos

Exemplo 1

Vamos encontrar o equivalente de Thévenin do circuito da figura 3-34 a.

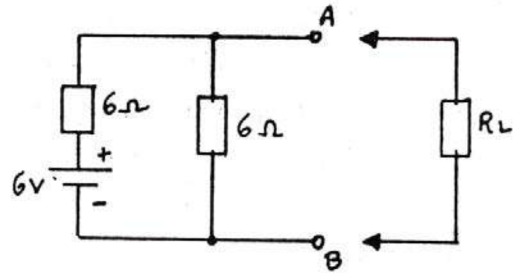
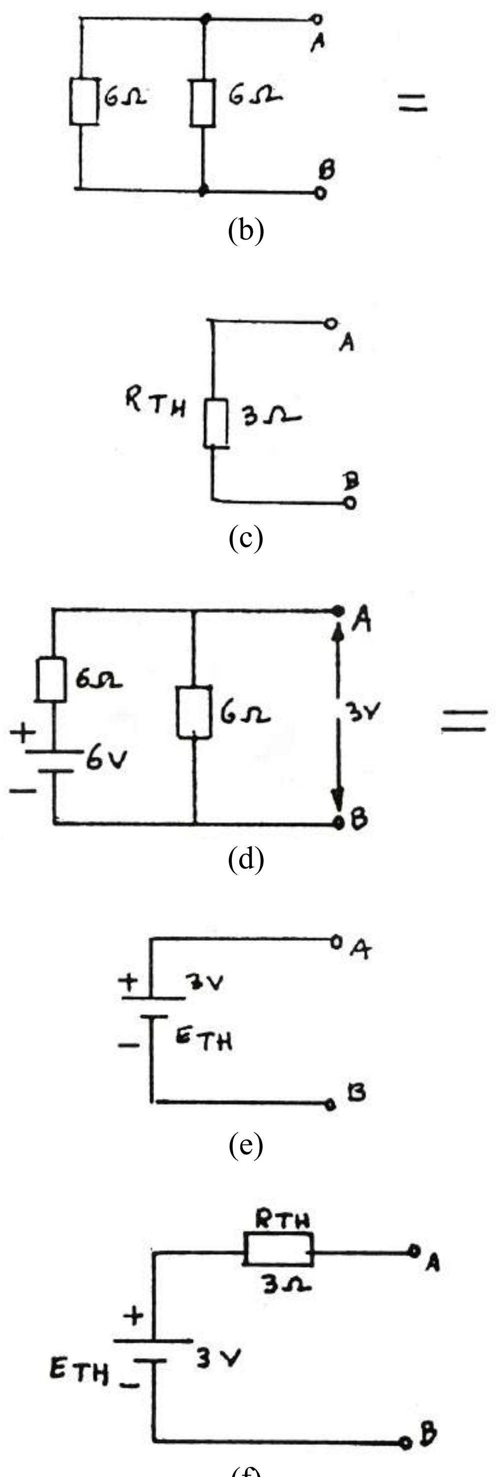

A
6Ω
6Ω
RL
+
6V
-
B

Figura 3-34 a


6Ω
6Ω
A
B
=
RTH
3Ω
A
B
6Ω
6Ω
+
6V
-
A
3V
B
=
+
3V
-
ETH
A
B
RTH
3Ω
+
ETH
-
3V
A
B

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

Figura 3-34 Ilustração do teorema de Thévenin

Solução:

Primeiro removemos a carga. Então, determinamos a Resistência de Thévenin (RTH), substituindo o gerador pela sua resistência interna, conforme nos mostra a parte "b". A rede fica então simplificada (parte c).

A tensão em circuito aberto, ETH, é determinada deixando-se a carga desconectada (circuito aberto em A-B). Nestas condições temos 3V em A-B (parte d).

Esta tensão de circuito aberto é representada como um gerador de tensão constante (parte e). Finalmente, temos os circuitos das partes "c" e "e", que são combinados para produzir o Equivalente de Thévenin, conforme a parte "f".

Exemplo 2

Vamos encontrar o Equivalente de Thévenin do circuito da figura 3-35 a.

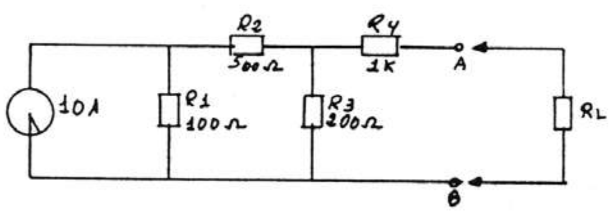


Figura 3-35 a

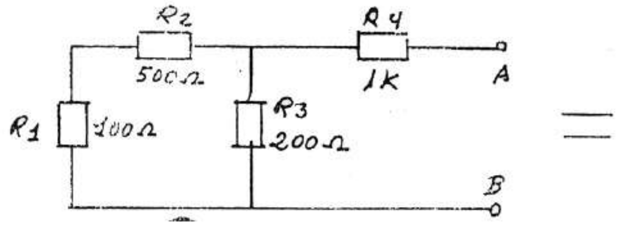


Figura 3-35 b

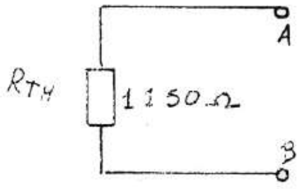


Figura 3-35 c

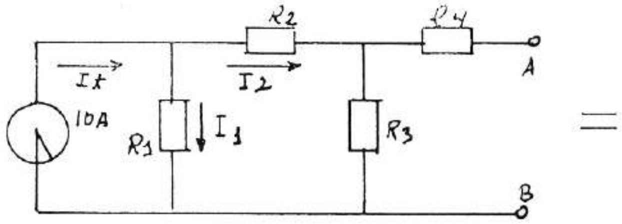


Figura 3-35d

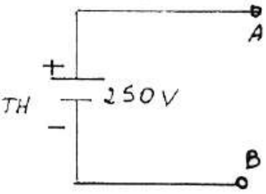


Figura 3-35 e

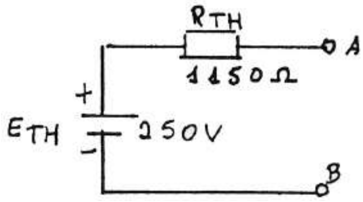


Figura 3-35f

Figura 3-35 Ilustração do Teorema de Thévenin

Solução ;

Vamos remover a carga. Em seguida, olhando para dentro dos terminais A e B, determinemos a resistência de Thévenin (b). Deste modo, o gerador de corrente de 10A foi substituído por uma resistência infinita (circuito aberto). Utilizando a fórmula a seguir, $RTH = R_4 + \frac{(R_1 + R_2) R_3}{(R_1 + R_2) + R_3}$, podemos encontrar a resistência equivalente, que é a resistência de Thévenin. Pela parte "b" podemos observar que R_1 e R_2 estão em série, e ambas estão em paralelo com R_3.. A resultante deste conjunto está em série com R_4. Então, substituindo na fórmula os valores das resistências, teremos (na parte "c"):

$$RTH = 1K + \frac{(100+500)200}{(100+500)+200} =$$

$$= 1000 + \frac{600x200}{800} = 1000 + 150 \therefore \text{RTH} = 1150\Omega$$

Na parte "d" observamos que uma porção da corrente do gerador produz uma queda de voltagem em R_3. Aliás, não flui corrente em R_4, pois o circuito está aberto neste ponto. Em consequência, a corrente de R_2 é a mesma de R_3. Assim, a queda de tensão em R_3 é a tensão de Thévenin, pois é a tensão em circuito aberto. Observando, portanto, a parte "d", notamos que 10A entram no circuito pelo gerador. Temos dois ramos de corrente, I_1 e I_2, uma vez que A-B está aberto, conforme já mencionamos.

O ramo de I_2 possui uma resistência de 700Ω e o outro 100Ω. O ramo de R_3 é o que nos interessa, uma vez que precisamos conhecer a queda de tensão em R_3. Sabemos que correntes em ramos paralelos se dividem inversamente proporcionais às resistências. Portanto, podemos afirmar que em R_1 passa uma corrente sete vezes maior que a do ramo de R_2 com R_3, pois R_1 = 100Ω, e $R_2 + R_3$ = 700Ω. Isto nos leva a escrever o seguinte:

$$I_1 + I_2 = I_t = 10A$$

$$I_1 = 7 I_2$$

$$7 I_2 + I_2 = 10A; \; 8 I_2 = 10A \;\therefore\; I_2 = \frac{10}{8} = 1{,}25A$$

Mas, $I_2 = I_3 = 1{,}25A$. Então, $V_{R3} = I_3 \times R_3 =$

$= 1{,}25 \times 200 = 250V$. Assim, $V_{R3} = V_{AB} =$

$= E_{TH} = 250V$.

Na parte “f” temos o equivalente de Thévenin, constituído por um gerador de tensão constante e sua resistência interna.

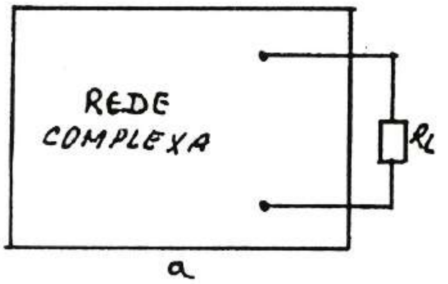
TEOREMA DE NORTON

Até aqui observamos o uso do teorema de Thévenin na simplificação da análise dos circuitos de malhas complexas, pela substituição do circuito original por um circuito equivalente envolvendo uma fonte de tensão constante, e o gerador de Thévenin (E_{TH}), atuando em série com uma resistência interna (R_{TH}).

O gerador de Thévenin fornece corrente à resistência de carga RL.

Estudaremos agora, o teorema de Norton, que emprega uma técnica bem semelhante à empregada pelo teorema de Thévenin, e que pode ser enunciado do seguinte modo: “Dois terminais de uma rede podem ser substituídos por um circuito equivalente, que consiste de um gerador de corrente constante In, em paralelo com sua resistência interna Rn”.

Na figura 3-36 vemos uma malha original atuando como um bloco bem como seu circuito equivalente.



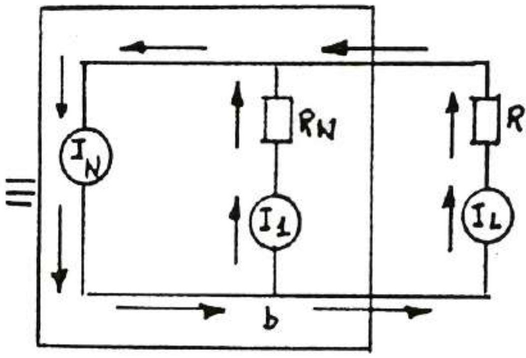


Figura 3-36

Pela figura 3-36b observamos que a corrente de Norton (In) é distribuída entre a resistência de Norton (Rn) e a resistência de carga (RL). Podemos observar pelo circuito da figura 3-36b, que: ERL = ERn. Ora, ERL = IL x RL; ERn = I1 x Rn e In = I1 + IL. Assim sendo , podemos estabelecer a seguinte proporção: $\frac{Rn}{RL} = \frac{IL}{I1}$.

Aplicando uma das propriedades das proporções, teremos:

$\frac{Rn + RL}{Rn} = \frac{IL + I1}{IL}$ ou, então, IL(Rn + RL) =

= Rn(IL + I1) ∴ IL = $\frac{Rn(IL + I1)}{Rn + RL} = \frac{Rn \, x \, In}{Rn + RL}$.

Portanto, para calcularmos a corrente em RL, basta usarmos a fórmula:

$$IL = \frac{In \, x \, Rn}{Rn + RL}$$

Seja agora, o circuito da figura 3-37

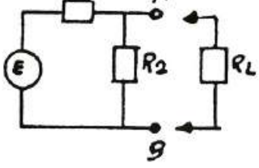


Figura 3-37a

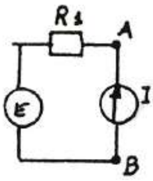


Figura 3-37b

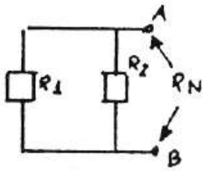


Figura 3-37c

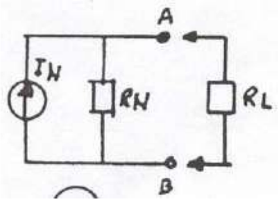


Figura 3-37d

Vamos determinar o equivalente de Norton para o circuito da figura 3-37.

Para isto, inicialmente, coloquemos A e B em curto-circuito, ou seja, daremos um curto em RL.

Deste modo, a corrente externa será: $I_{AB} = I_N = \frac{E}{R_1}$. Em seguida achemos a resistência de Norton: $R_{AB} = \frac{R_1 \, x \, R_2}{R_1 + R_2}$, estando a fonte em curto-circuito (3-37c).

Assim, podemos escrever duas regras simples, para determinação da corrente e da resistência de Norton:

a) A corrente de Norton I_N é uma corrente constante que flui num curto-circuito entre os terminais da resistência de carga, quando esta é substituída por um curto-circuito (figura 3-37b).

b) A resistência de Norton R_N é aquela resistência vista dos terminais da carga aberta, olhando-se para a malha, quando sua fonte de tensão é substituída por sua resistência interna (R_N é definida da mesma maneira que a resistência de Thévenin – RTH), conforme a figura 3-37c. Na figura 3-37d temos o equivalente de Norton: um gerador de corrente constante I_N com sua resistência interna, em paralelo R_N.

Consideremos o circuito da figura 3-38, no qual desejamos calcular a I_N, R_N e I_L.

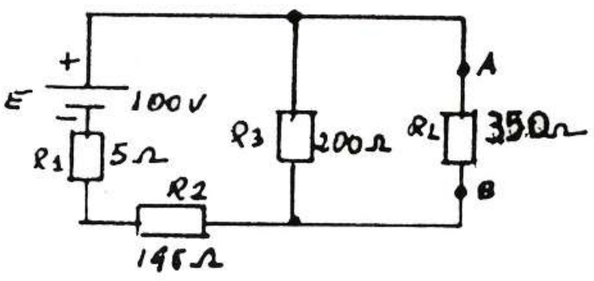


Figura 3-38

Inicialmente, estabelecendo um curto-circuito em R_L, forçosamente R_3 ficará em curto, o que nos permite empregar a seguinte fórmula:

$$I_N = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{100V}{5\Omega + 195\Omega} = \frac{100V}{200\Omega} = 500m\,\mathrm{A}$$

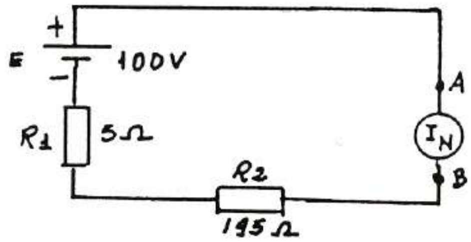


Figura 3-39

O circuito da figura 3-39 ilustra o que acabamos de mencionar. A corrente I_N é a corrente que flui no curto-circuito ($R_L = 0$).

Em seguida, calculamos a resistência de Norton. Para tal, podemos utilizar o circuito da figura 3-40.

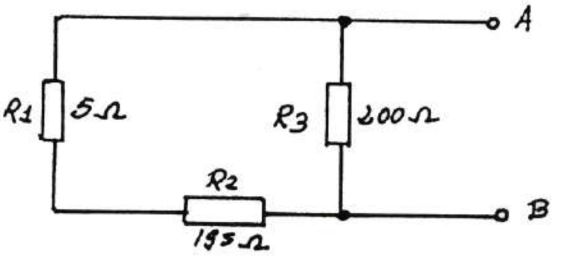


Figura 3-40

Desta forma, teremos:

$$R_N = R_{AB} = \frac{200(5+195)}{200+(5+195)} = 100\,Ohm$$

Finalmente, observando o circuito da figura 3-41, temos o circuito equivalente, contendo a corrente de Norton, a resistência de Norton e a corrente I_L.

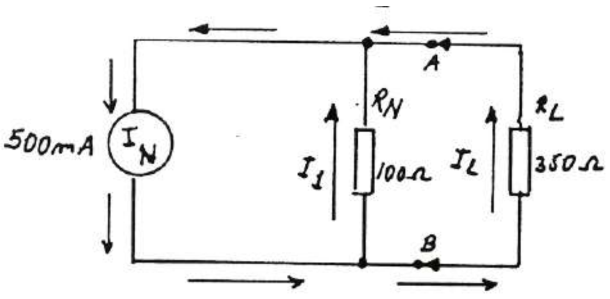


Figura 3-41

Pelo que já conhecemos, I_L facilmente pode ser calculada da seguinte maneira:

$$I_L = \frac{I_N \; x \; R_N}{R_N + R_L} = \frac{500 \; x \; 10^{-3} \; x \; 100}{100 + 350} 111 mA$$

Vejamos mais um exemplo simples de aplicação do Teorema de Norton, ilustrado na figura 3-42.

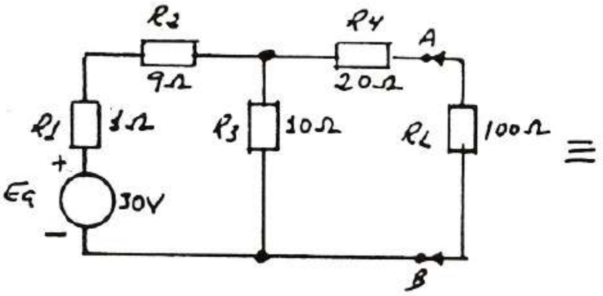


Figura 3-42a

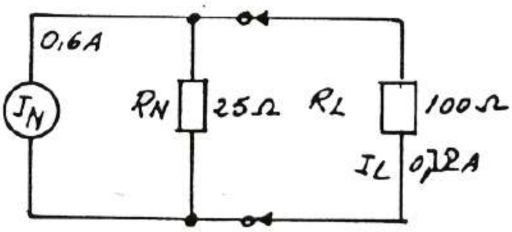


Figura 3-42b

Primeiramente daremos um curto-circuito em R_L, no circuito da figura 3-42a, para calcularmos a I_N. Deste modo, teremos R_3 em paralelo com R_4 e a resultante das duas, em série com R_1 e R_2.

Assim, teremos uma Rt =

$$R_1 + R_2 + \frac{R_3 \; x \; R_4}{R_3 + R_4} = 1 + 9 + \frac{10 \; x \; 20}{10 + 20} =$$

$$10 + 6{,}67 = 16{,}67 Ohms. \therefore Rt = 16{,}67 Ohms,$$

Portanto, I t = $\frac{Ea}{It} = \frac{30}{16{,}67} = 1{,}8 A$

A corrente de Norton, na realidade, é a corrente que passa em R_4, estando R_L em curto. Sendo It = 1,8 A, I_N será: It – I_{R3}. Ou então,

$$I_N = \frac{E_{R3}}{R_4} = \frac{12V}{20\Omega} = 0{,}6 A.$$

Passemos agora ao cálculo de R_N, que é a resistência vista dos terminais da carga aberta:

$$R_N = R_4 + \frac{(R_1 + R_2) \; x \; R_3}{R_2 + R_1 + R_3} =$$

$$= 20 + \frac{10 \; x \; 10}{20} = 25 Ohms$$

E, agora, de acordo com a figura 3-42b, passemos ao cálculo de It. Portanto, I_L =

$$\frac{0{,}6 \; x \; 25}{25 + 100} = 0{,}12 A$$

Outros exemplos:

Vamos achar o equivalente de Norton da figura 3-43a.

Solução: Inicialmente vamos encontrar a resistência de Norton que, conforme já mencionamos anteriormente, é definida da mesma maneira que a resistência de Thévenin (RTH). Portanto, abrindo o circuito da parte"a" nos pontos A e B, temos dois resistores de 6Ω em paralelo, conforme nos mostra a figura 3-43b. Na figura 3-43c temos a resistência equivalente (R_N).

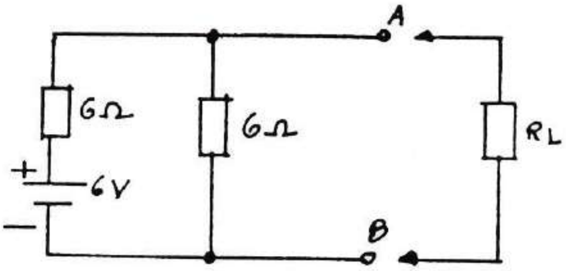


Figura 3-43a

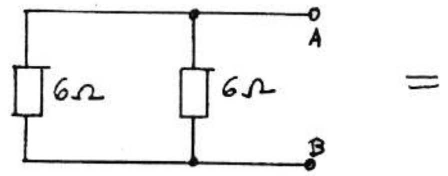


Figura 3-43b

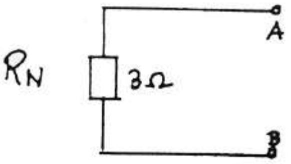
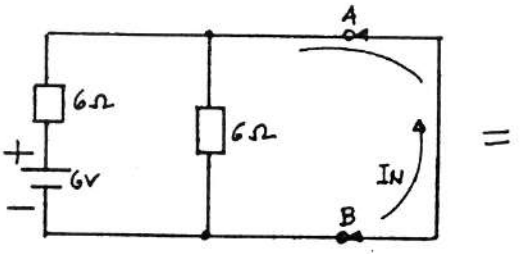


Figura 3-43c



A
6Ω
6Ω
+
6V
−
I_N
B
=

Figura 3-43d

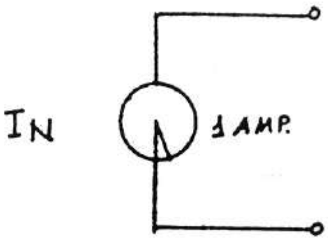


Figura 3-43e

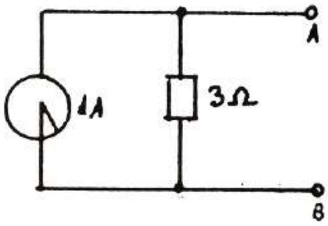
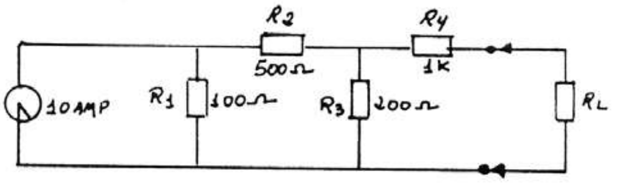


Figura 3-43f

Figura 3-43 Ilustração do Teorema de Norton

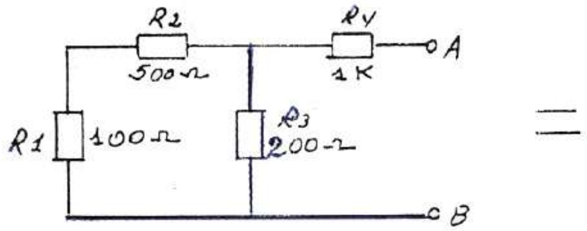
Para calcularmos a corrente de Norton (I_N) basta colocarmos um curto entre os pontos A e B da figura 3-43d. A corrente no curto-circuito é a corrente de Norton. Neste caso, I_N é igual à corrente total, podendo ser calculada assim: $I_N = \frac{6V}{6} = 1A.$ Então, na parte"c" temos a corrente equivalente de Norton (I_N). Juntando a resistência equivalente (parte "c") à corrente equivalente (parte "e"), formamos o equivalente de Norton (figura 3-43 f).

Vamos encontrar o equivalente de Norton da figura 3-44a.



R_2
500Ω
R_4
1K
10 AMP
R_1
100Ω
R_3
200Ω
R_L

Figura 3-44a



R_2
500Ω
R_4
1K
A
R_1
100Ω
R_3
200Ω
B
=

Figura 3-44b

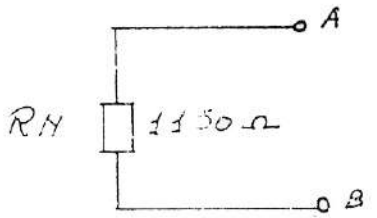
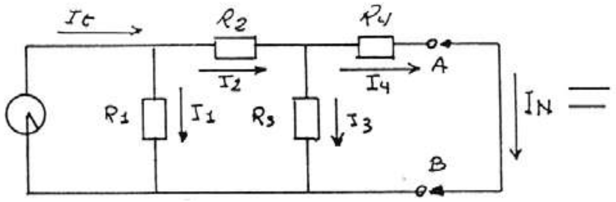


Figura 3-44c



I_t
R_2
R_4
I_2
I_4
A
R_1
I_1
R_3
I_3
B
I_N
=

Figura 3-44d

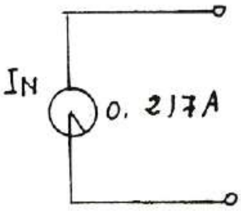
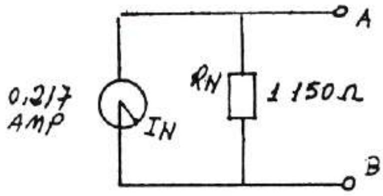


Figura 3-44e



A
0,217 AMP
R_N
1 150Ω
I_N
B

Figura 3-44f

Figura 3-44 Ilustração do Teorema de Norton

Solução: Na figura 3-44b a carga foi removida. Aí, temos R_1 em série com R_2. Estes dois resistores estão em paralelo com R_3. Este conjunto está em série com R_4. Portanto, o cálculo da resistência equivalente de Norton (R_N) pode ser feito do seguinte modo:

$$R_N = R_4 + \frac{(R_1 + R_2) \bullet R_3}{(R_1 + R_2) + R_3} =$$

$$1K + \frac{600\ x\ 200}{800} = 1K + 150\Omega = 1150\Omega$$

A parte"c" nos mostra o que acabamos de demonstrar.

Ao colocarmos a fonte de corrente no circuito (10A), e substituirmos RL por um curto-circuito(figura 3-44d), vamos procurar a corrente de Norton (I_N). A corrente de Norton é a mesma que flui nos terminais da carga em curto.

Fazendo uma observação da figura 3-44d vemos que a corrente total “It” se distribui do seguinte modo: It = $I_1 + I_2$. E que $I_2 = I_3 + I_4$.

Ocorre que $I_4 = I_N$, ou seja, I_4 é igual à corrente de curto-circuito equivalente. Resolvendo, inicialmente, o circuito da figura 3-44d por I_2, temos:

$$I_2 = It\frac{R_1}{R_1 + (R_2 + \frac{R_3\ x\ R_4}{R_3 + R_4})} =$$

$$= 10\frac{100}{100 + 500 + \frac{200\ x\ 1K}{1200}} \quad \therefore$$

$$I_2 = 10\frac{100}{100 + 500 + 166{,}67} = 1{,}305\,A$$

Agora, resolvendo por I_4, teremos:

$$I_4 = I_2\frac{R_3}{R_3 + R_4} = 1{,}305\ \frac{200}{200 + 1K} = 0{,}217\,A$$

Logo, I_4 = I_N = 0, 217 A

O gerador equivalente de Norton é mostrado na figura 3-44 f.

CONVERSÃO DO EQUIVALENTE DE NORTON PARA O DE THÉVENIN E VICE-VERSA

Às vezes, por questões de conveniência, torna-se mais fácil solucionar certos problemas de análise de circuitos empregando um método de equivalência entre geradores de corrente e de tensão.

Para isto, é recomendável adotarmos uma equivalência entre uma fonte de tensão e uma fonte de corrente.

Considerando os circuitos da figura 3-45, vamos observar que em “a” temos um gerador de tensão e em “b”, um gerador de corrente.

Nestes dois circuitos, há uma carga R_L que é alimentada, portanto, por um gerador de tensão e por um gerador de corrente.

Recordemos, agora, as fórmulas já vistas anteriormente para o cálculo de I_L, em ambos os circuitos da figura 3-41.

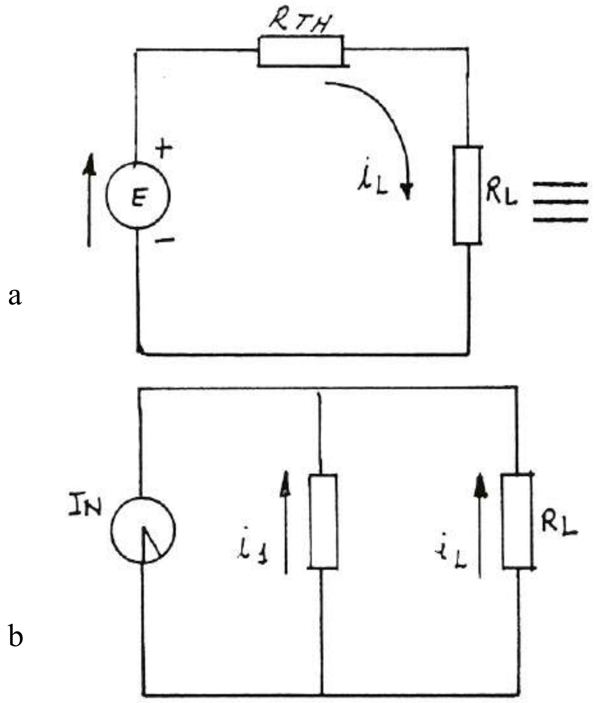


Figura 3-45 Conversão Norton para Thévenin e vice-versa

Na figura 3-45, por exemplo, temos na parte “a” I_L = $\frac{E}{R_{TH} + R_L}$,

e na parte “b” temos: $I_L = \frac{I_N\ x\ R_N}{R_N + R_L}$

Uma vez que nos propomos a estabelecer uma equivalência entre “a” e “b” da figura 3-45, teremos:

$$\frac{E}{R_{TH} + R_L} = \frac{I_N\ x\ R_N}{R_N + R_L}.$$

Fazendo $R_{TH} = R_N = r$, teremos:

$$\frac{E}{r + R_L} = \frac{I_N\ x\ r}{r + R_L}$$

Agora, eliminando o denominador da equação, vem:

$(I_N\ x\ r)\,(r + R_L) = E\,(r+R_L)$.

Tirando o valor de I_N , temos:

$$I_N = \frac{E(r + R_L)}{r(r + R_L}.$$

Simplificando o numerador e o denominador, temos: $I_N = \frac{E}{r}$. Esta fórmula nos dá o valor da corrente de Norton, em função da tensão de Thévenin, não esquecendo que, para tal, consideraremos as resistências internas iguais, isto é: $R_{TH} = R_N = r$.

Portanto, da fórmula $I_N = \frac{E}{r}$, podemos também tirar o valor de "E", ou seja: $E = I_N \times r$, que é a fórmula que nos dará o valor da tensão de Thévenin, em função da corrente de Norton.

Exercícios de aplicação

Suponhamos, um gerador de tensão, cuja "E" (E_{TH}), seja igual a 20V sabendo-se que $R_{TH}(r)$ é igual a 10Ω. Queremos saber o valor do equivalente de Norton.

Solução: neste caso, a fonte ou o gerador de corrente equivalente será:

$$I_N = \frac{E}{r} = \frac{20V}{10\Omega} = 2A$$

Seja o circuito da figura 3-48 que queremos converter num equivalente de Norton.

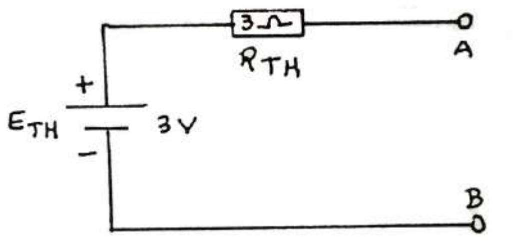
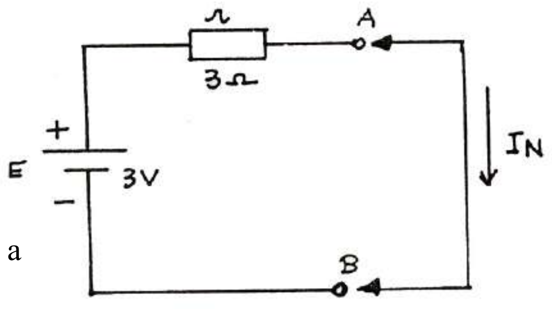
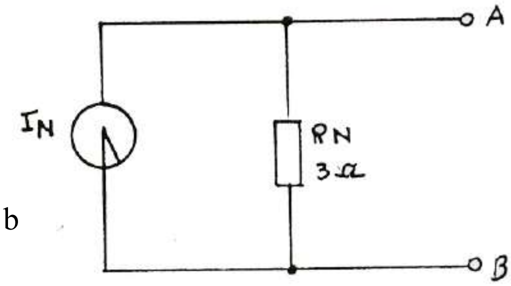


Figura 3-46 Equivalente de Thévenin

Solução: vamos colocar um curto-circuito nos terminais A e B do circuito da figura 3-47 obtendo, assim, o circuito da figura 3-47a.



a



b

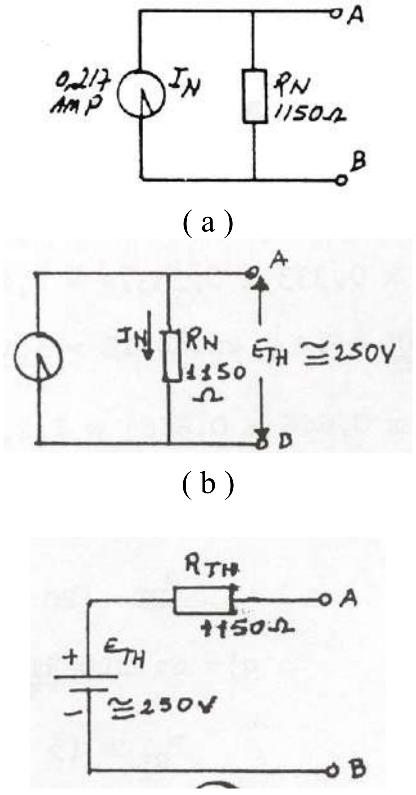
Figura 3-47 Convertendo o equivalente de Thévenin para o de Norton

Resolvendo para I_N o circuito da figura 3-47A, temos:

$$I_N = \frac{E}{r} = \frac{3V}{3\Omega} = 1A.$$

Agora, é só colocarmos a resistência do equivalente de Thévenin (R_{TH} = r) em paralelo com o gerador de corrente constante (I_N = 1 A), e teremos a solução, que é o circuito da figura 3-47b.

Vamos converter o equivalente de Norton da figura 3-48a para o de Thévenin.



(a)

(b)

(c)

Figura 3-48 Convertendo Norton para Thévenin

Solução: vamos computar a queda de tensão através de R_N (figura 3-48b). Esta queda I_N x R_N, nos dará R_{TH}, que é aproximadamente 250 V. Agora, colocamos a resistência equivalente ($R_N = r = R_{TH}$) em série com o gerador de tensão constante (E_{TH}).

Assim, obtemos o equivalente de Thévenin, conforme a figura 3-48c.

TEOREMA DA MÁXIMA TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Este teorema estabelece que "a máxima potência transferida por uma fonte a uma determinada carga ocorre quando a impedância da carga for igual a impedância da fonte".

Uma vez que qualquer circuito ou fonte pode ser representado por um circuito equivalente de Thévenin, utilizaremos este como base para os cálculos demonstrativos deste teorema. Ver a figura 3-49.

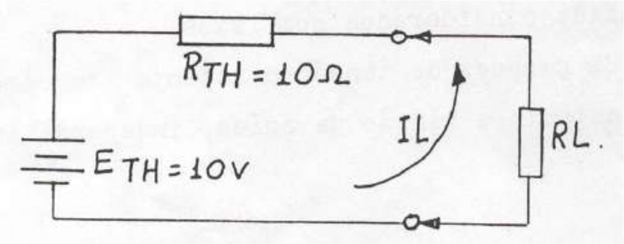


Figura 3-49

$$I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH} + R_L} \qquad P_{RL} = I_R^2 \; x \; R_L$$

Pelas fórmulas apresentadas podemos fazer as seguintes verificações:

a) Se $R_L = R_{TH} = 10\Omega$,

então, $I_L = \dfrac{10V}{10+10} = 0{,}5A$

e $P_{RL} = (10 \text{ x } 0{,}5 \text{ x } 0{,}5)$ w = 2,5w

b) Se $R_L = 2 \bullet R_{TH} = 20\Omega$,

então, $I_L = \dfrac{10V}{10+20} = 0{,}333A$

e $P_{RL} = (20 \text{ x } 0{,}333 \text{ x } 0{,}333)$ w $\cong$ 2,20w

c) Se $R_L = \dfrac{R_{TH}}{2} = 5\Omega$,

então, $I_L = \dfrac{10V}{10+5} = 0{,}666A$

e $P_{RL} = (5 \text{ x } 0{,}666 \text{ x } 0{,}666)$ w $\cong$ 2,21w

d) Pelos cálculos executados fica demonstrado que a maior potência sobre R_L foi obtida quando R_L foi igual a R_{TH}.

A compreensão deste teorema é muito importante para a futura aplicação deste conceito em circuitos amplificadores, quando se falar em casamento de impedâncias.

APÊNDICE

Sumário

-Uma fonte de tensão constante deve ter uma resistência interna muito baixa.

-Não existe, na prática, um gerador de tensão ideal; o que existe é o gerador de tensão real.

-Existem vários tipos de geradores de tensão. Entre eles, temos uma bateria, uma fonte de CC regulada ou um seguidor de emissor.

-O equivalente de Thévenin é um dispositivo que atua como um gerador de tensão constante.

-O equivalente de Thévenin é muito empregado na resolução de circuitos considerados complexos.

-Um gerador de tensão constante tem como finalidade manter constante a tensão de saída, independente do valor da carga.

-O gerador de corrente constante é capaz de fornecer uma corrente de valor constante a qualquer carga.

-Um gerador de corrente ideal, na prática, não existe.

-Um gerador de corrente ideal teria resistência interna idealmente infinita.

-O circuito equivalente de Norton, é um gerador de corrente constante, muito empregado na simplificação de circuitos complexos.

-Um gerador de corrente constante é considerado "bom" quando o valor da sua resistência interna for no mínimo 100 vezes maior que o valor de R_L.

-Existem diversos métodos que visam solucionar redes de correntes contínuas, cujas impedâncias são essencialmente resistências lineares e as tensões são constantes.

-Quatro teoremas largamente empregados na análise de circuitos são: Leis de Kirchoff, teorema de Thévenin, teorema de Norton e teorema de Superposição.

-No fornecimento de energia aos circuitos, temos a considerar as fontes de tensão e as fontes de corrente.

-Os geradores de tensão têm por finalidade manter constante a diferença de potencial entre dois pontos aos quais estejam ligados.

-Um gerador de corrente é aquele que mantém constante a corrente em seus terminais.

-É importante na análise de circuitos, a familiarização com os seguintes termos: Rede, Nó, Braço ou Ramo, Laço e Malha.

-As leis de Kirchoff empregadas na solução de redes complexas são duas: 1ª Lei ou "Lei dos Nós" e 2ª Lei ou "Lei das Malhas".

-A 1ª Lei de Kirchoff diz o seguinte: "A soma das correntes que entram em um nó, é igual à soma das correntes que saem do nó".

-A 2ª Lei de Kirchoff, no seu enunciado diz: "Em qualquer circuito elétrico fechado, a soma algébrica das quedas de potencial deve ser igual à soma algébrica das elevações de potencial".

-Quando as leis de Ohm e Kirchoff já não dispõem dos recursos necessários para a resolução de circuitos mais complexos, lançamos mão de outras ferramentas.

-O teorema de Thévenin é uma das formas utilizadas na resolução de malhas complexas.

-O teorema de Thévenin pode ser assim enunciado: "Qualquer rede de dois terminais pode ser substituída por um circuito equivalente simples, constituído por um gerador, chamado de gerador de Thévenin, cuja tensão E_{TH}, atuando em série com sua resistência interna R_{TH}, obriga a corrente a fluir através da carga".

-Outro teorema que emprega uma técnica semelhante à do teorema de Thévenin, é o teorema de Norton.

-Este teorema dez que:"Uma malha de dois terminais, pode ser substituída por um circuito equivalente, que consiste de um gerador de corrente constante I_N, em paralelo com sua resistência interna $R_{N.}$

-É possível fazermos uma equivalência entre geradores de corrente e de tensão.

-Para isto tomamos as duas fórmulas de I_L, para cada gerador (de tensão e de corrente), igualamos estas fórmulas e consideramos iguais as resistências internas ($R_{TH} = R_N = r$).

-O Teorema da Superposição facilita os cálculos de circuitos com duas ou mais fontes.

-Os estudos de divisores de tensão e de corrente podem facilitar em muito a resolução dos cálculos nos teoremas de Thévenin e de Norton.

CAPÍTULO 4

DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES

INTRODUÇÃO

Os materiais semicondutores são elementos cuja resistência situa-se entre a dos condutores e a dos isolantes.

Dependendo de sua estrutura qualquer elemento pode ser classificado como isolante, semicondutor ou condutor. Atualmente os principais componentes dos equipamentos eletrônicos são dispositivos semicondutores tais como: diodos, transistores e circuitos integrados. Seu emprego deve-se à habilidade de controlar o fluxo de corrente, executando as mesmas funções das válvulas eletrônicas, porém com grandes vantagens como tamanho, peso e durabilidade.

Por estas razões o emprego dos dispositivos semicondutores trouxe um grande desenvolvimento à eletrônica. Os primeiros conceitos de dispositivos semicondutores datam do início do século.

Em 1906 descobriu-se que determinados cristais, em contato com uma ponta metálica, tinham a propriedade de conduzir corrente elétrica somente numa direção criava-se então, o diodo sólido. Com o desenvolvimento da teoria atômica, os cientistas aperfeiçoaram o diodo sólido até que durante a Segunda Grande Guerra, em 1948 os cientistas W. Shockley, J. Bardeen e W. H Brattain apresentaram um pequeno dispositivo construído com cristal de germânio, que tinha a capacidade de controlar e amplificar a corrente elétrica. Este dispositivo que foi chamado de transistor, foi aperfeiçoado e seu desenvolvimento deu origem ao aparecimento de muitos outros dispositivos que hoje formam a grande família dos semicondutores.

Devido ao funcionamento dos semicondutores estar ligado às características da estrutura dos materiais, faremos um estudo destas estruturas.

ESTRUTURA DA MATÉRIA

Como se sabe, podemos dividir um material em porções cada vez menores, até que chegamos a menor das porções, que recebe o nome de molécula. Podemos definir a molécula como sendo a menor porção que um material pode ser dividido. Se da molécula partirmos a uma nova divisão, chegaremos ao átomo, que por sua vez não conservará mais as propriedades do material subdividido.

Muitos modelos de átomos foram apresentados, mas coube a Rutherford e Neil Bohr o modelo do átomo atual.

Segundo este modelo o átomo é constituído de um núcleo que contém partículas denominadas prótons e nêutrons.

Em torno do núcleo giram, em órbitas distintas, outras partículas denominadas elétrons. Este modelo está representado na figura 4-1.

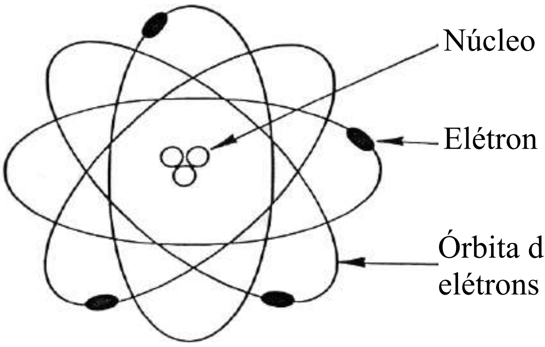


Figura 4-1 Desenho representativo de um átomo

Pela tabela periódica dos elementos pode-se ver que existem 105 tipos de átomos. A quantidade de partículas que contém um átomo varia de espécie para espécie. Eletricamente, os prótons e os elétrons têm a mesma carga, porém de sinais contrários, sendo que a carga do próton é positiva e a do elétron é negativa. Diz-se que o átomo está eletricamente em equilíbrio, quando o número de elétrons for igual ao número de prótons. Caso contrário, o átomo é chamado de íon.

Um íon pode ser de dois tipos: íon positivo quando o átomo perdeu um ou mais elétrons e íon negativo quando o átomo ganhou um ou mais elétrons. Como citado anteriormente, no átomo, os prótons e nêutrons estão concentrados formando o núcleo, porém os elétrons agrupam-se ao redor do núcleo, em forma de camadas. Estas camadas têm um número máximo de 7, e são designadas pelas letras K, L, M, N, O, P, Q. Cada camada pode ter um número máximo de elétrons e esses são mostrados na figura 4-2.

Nº da camada	Designação	Nº máximo de elétrons
1	K	2
2	L	8
3	M	18
4	N	32
5	O	32
6	P	18
7	Q	8

Figura 4-2 Camadas atômicas

Devido ao fato do átomo ter a forma esférica, muitas vezes ele é representado em forma circular para facilitar o raciocínio.

Definição de Número Atômico: Como já foi dito, átomos diferentes possuem diferentes números de partículas. Por exemplo, o átomo de oxigênio possui 8 prótons e 8 elétrons, já o átomo de alumínio possui 13 prótons e 13 elétrons. Para podermos identificar e classificar os vários átomos existentes foi criado um número que indica quantos prótons existem em cada átomo.

Esse número é chamado de"número atômico".

LIGAÇÃO ATÔMICA

Vimos que com exceção da camada K que se completa com dois elétrons, a camada mais externa dos átomos pode conter oito elétrons, no máximo.

Os átomos que não possuem este número de elétrons tendem a se completarem doando ou recebendo a fim de terem oito elétrons na última camada.

A capacidade de combinação dos átomos é chamada de valência. Os elétrons da última camada dos átomos são chamados de elétrons de valência, pois é através deles que a ligação química se processa.

De acordo com a valência os elementos podem ser: monovalentes, divalentes, trivalentes etc.

Uma ligação covalente é uma combinação química em que os elétrons são compartilhados entre os átomos.

Um exemplo simples de ligação covalente é a combinação de dois átomos de hidrogênio, como mostrado na figura 4-3.

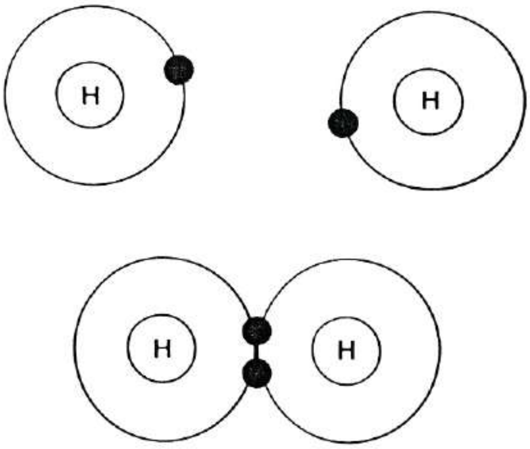


Figura 4-3 Ligação covalente

Os átomos de silício e de germânio, que são os mais importantes no estudo de semicondutores, também se ligam covalentemente e embora tenham números atômicos diferentes possuem valências iguais.

Esses átomos podem combinar-se covalentemente formando uma estrutura cristalina que pode ser representada num plano conforme a figura 4-4. Cada átomo compartilha seus elétrons de valência com outros quatro, obtendo uma estrutura eletricamente estável.

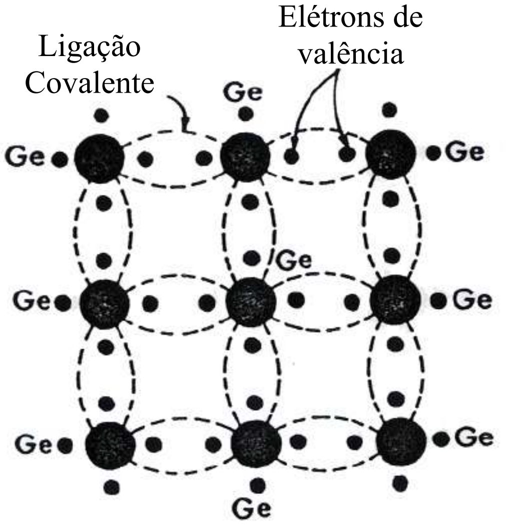


Figura 4-4 Ligação covalente, estrutura cristalina

MATERIAIS SEMICONDUTORES

Como já foi dito, semicondutores são materiais cuja resistência se situa entre a dos condutores e a dos isolantes. Cabe ressaltar agora o conceito de condutores e a dos isolantes.

Um material condutor é caracterizado por apresentar os elétrons de valência de seus átomos fracamente ligados ao núcleo e, devido a essa ligação não ser muito forte, esses elétrons podem ser considerados livres.

Sendo assim, se aplicarmos uma diferença de potencial à esse material ele conduzirá facilmente uma corrente elétrica. Exemplos de materiais condutores: cobre, ouro, prata, ferro etc.

Quando os elétrons de valência do átomo estão fortemente ligados ao núcleo, de tal modo que não podem ser considerados elétrons livres no material, este é dito "isolante". Os materiais isolantes apresentam então uma forte oposição a passagem da corrente elétrica. Exemplos de materiais isolantes: borracha, porcelana, vidro etc.

Dos materiais semicondutores existentes o germânio e o silício são atualmente os mais empregados.

Esses átomos ao se unirem entre si formam uma estrutura do tipo cristalina. Uma estrutura é dita "cristalina" quando sua forma é bem definida (sempre em forma de cristais). São exemplos de materiais com estrutura tipo cristalina: cobre, diamante, silício, germânio etc.

Quando a forma da estrutura formada pela união dos átomos não é bem definida esta é dita "amorfa". São exemplos de materiais com estrutura tipo amorfa: plásticos, gases, borracha etc.

A figura 4-5 mostra a estrutura cristalina do germânio e do silício.

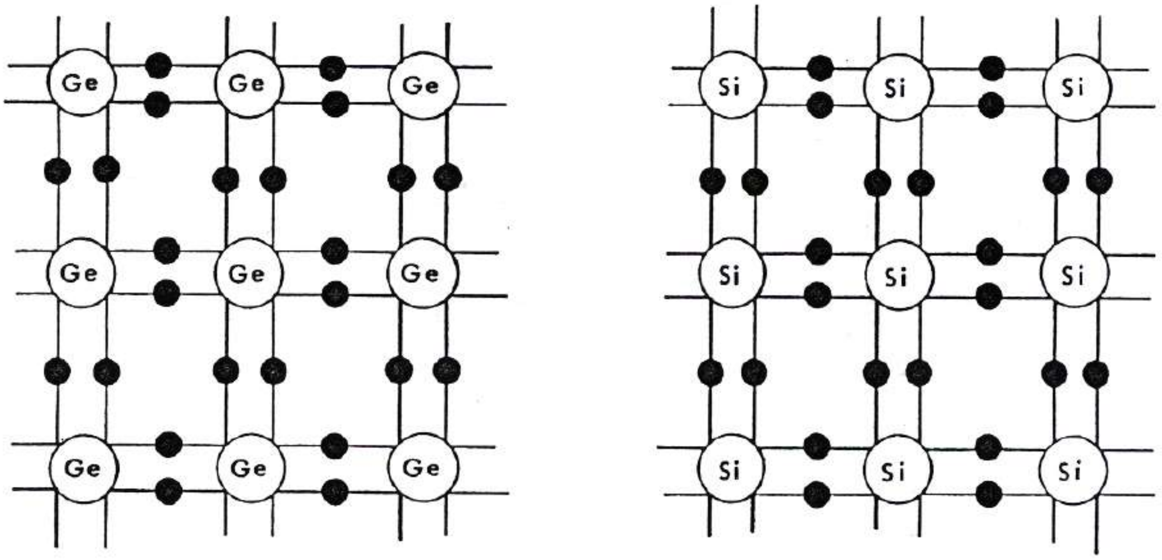


Figura 4-5 Rede cristalina plana do Germânio (Ge) e do Silício (Si)

Nas duas estruturas, os átomos se combinam covalentemente.

Cada átomo combina-se com mais quatro, tomando e fornecendo seus elétrons de valência. Observando as duas estruturas vemos que cada elétron de valência no material está preso a dois átomos, nessa condição não deverá haver elétrons livres no material, logo as suas características elétricas são de isolante. Na realidade, isto só acontece se estes materiais estiverem a uma temperatura de 0^o absoluto.

Processo de formação de portadores na rede cristalina.

Apesar das ligações covalentes entre os átomos de cristais puros de silício e de germânio serem rígidas, quando o cristal é submetido a qualquer tipo de energia algumas delas chegam a se romper.

O rompimento entre as uniões ocorre quando o elétron de valência que pertence aos dois átomos adquire energia suficiente para se liberar.

Ligações covalentes são interrompidas quando um dos cristais é submetido a certos campos de energia como: calor, luz, raios X, raios cósmicos etc.

O número de rompimentos é diretamente proporcional à intensidade do campo de energia aplicado ao cristal.

Cada rompimento gera um portador de carga elétrica negativa e uma carga elétrica positiva.

Pela figura 4-6 podemos observar que com o rompimento da ligação covalente ocorre a liberação do elétron, ficando no lugar deste um buraco ou lacuna.

Esta lacuna tem característica positiva, porque qualquer elétron próximo poderá ser atraído por ela.

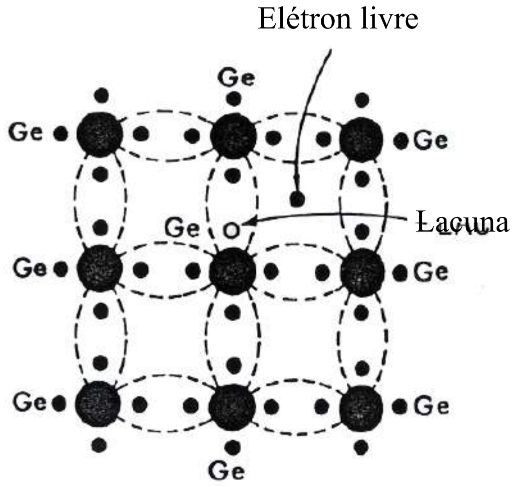


Figura 4-6 Geração de lacuna

Como já foi dito, vários fatores podem contribuir para a geração de portadores em cristais de germânio e de silício, porém, a variação de temperatura é o fator que mais os afeta.

A 0^o absoluto, o germânio e o silício têm condições de serem isolantes, porém, na temperatura ambiente, aproximadamente 25^o C, ambos cristais apresentam em suas estruturas milhares de rompimentos entre as ligações, criando milhares de portadores positivos e negativos, lacunas e elétrons respectivamente.

Nesta situação tanto o germânio quanto o silício tem características de semicondutores intrínsecos, isto é possuem características próprias.

Na temperatura ambiente de 25^0 C, um cristal puro de silício apresenta aproximadamente 10^{10} lacunas e 10^{10} elétrons por cm^3 e uma resistividade de $2,4 \times 10^4$ ohms/ cm^3.

Para a mesma temperatura, um cristal puro de germânio apresenta, aproximadamente, 10^{13} lacunas e 10^{13} elétrons por cm^3 e uma resistividade de 47 ohms/cm^3.

Pelos valores de resistividade vemos que na mesma temperatura a estrutura do silício tem ligações covalentes mais estáveis que as do germânio, ou seja, são mais difíceis de serem rompidas.

Fluxo de lacunas

Quando uma ligação perde um elétron de tal forma que exista uma lacuna, esta é fácil de ser preenchida por um elétron de valência que deixa uma ligação covalente de um átomo vizinho; este elétron ao sair da ligação covalente, deixa outra lacuna. Assim, efetivamente, a lacuna se move na direção oposta à direção do elétron. Esta lacuna, nesta nova posição, pode ser agora preenchida por um outro elétron proveniente de outra ligação covalente. Temos assim um mecanismo para a condução de eletricidade.

Um modo conveniente de ilustrar esse movimento é mostrado na figura 4-7, em forma de esferas.

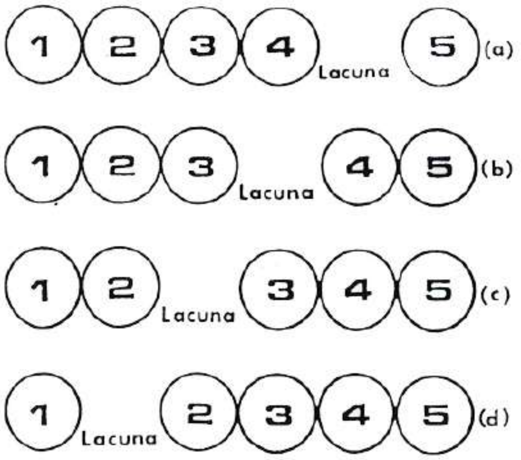


Figura 4-7 Fluxo de lacunas

JUNÇÃO PN – FORMAÇÃO

Até agora estudamos os cristais de silício e de germânio em suas formas puras. Porém, partindo-se de um cristal puro, através de técnicas específicas, consegue-se introduzir neste cristal, átomos de um outro metal, de tal modo a se conseguir o comportamento elétrico desejado.

Esta operação é denominada “dopagem” e o metal a ser introduzido no cristal é chamado de impureza. Os metais usados como impureza podem ter átomos trivalentes ou pentavalentes, isto é, com três ou cinco elétrons na última camada.

Se na dopagem usarmos impurezas trivalentes (ou aceitadoras), cria-se no cristal portadores de carga positiva ou lacunas, pois, para participar da ligação covalente o átomo da impureza necessita de um elétron para completar sua última camada com quatro elétrons. Este cristal é chamado de positivo ou P..

Porém, se na dopagem usarmos impurezas pentavalentes ou doadoras, cria-se no cristal elétrons livres, pois para participar da ligação covalente o átomo da impureza doa um elétron que estava em excesso. Este elétron pode então ser considerado livre. Este cristal é chamado de negativo ou N.

Para a criação de um cristal tipo N as impurezas geralmente utilizadas são: fósforo, arsênio, bismuto e antimônio.

A figura 4-8 mostra um bloco representativo do elemento N.

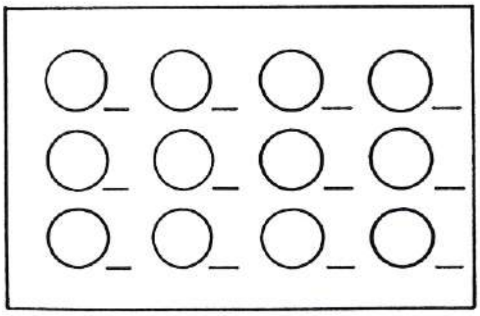


Figura 4-8 Cristal tipo N (representação)

Os círculos pequenos representam os átomos pentavalentes, o sinal negativo é o quinto elétron do átomo pentavalente, que não entrou na combinação.

Para a criação de um cristal tipo P as impurezas normalmente utilizadas são: bário, alumínio, gálio e índio.

A figura 4-9 mostra um bloco representativo do elemento P.

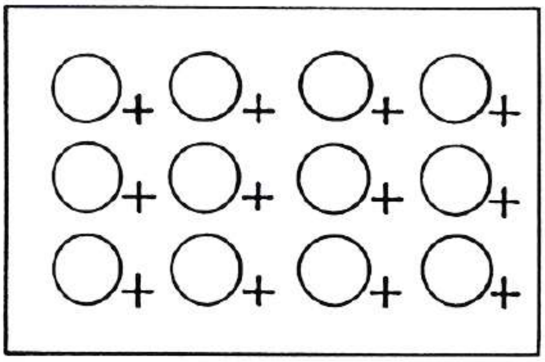


Figura 4-9 Cristal do tipo P (representação)

Os pequenos círculos representam os átomos trivalentes e os sinais positivos fora dos círculos são as lacunas criadas por eles.

Facilmente, entendemos que a dopagem criará, no cristal, tantos elétrons livres ou lacunas quantos forem os átomos de impurezas doadoras ou aceitadoras introduzidos.

Polarização do elemento N

Ao polarizarmos um elemento N, conforme a figura 4-10, teremos o aparecimento de uma corrente elétrica, cujos portadores são elétrons e cujo sentido é o indicado na figura. A intensidade desta corrente é limitada pela resistividade do elemento N, que depende da quantidade de portadores, que, por sua vez depende da quantidade de átomos da impureza.

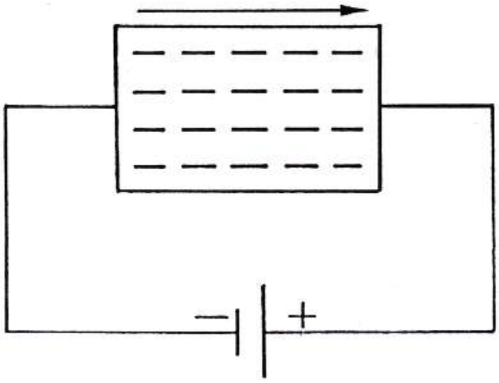


Figura 4-10 Polarização do elemento N

Por serem portadores de carga negativa, os elétrons livres no elemento são atraídos pelo potencial positivo da fonte de tensão, dando à corrente o sentido indicado na figura 4-10.

Polarização do elemento P

A figura 4-11 mostra a polarização de um elemento P. Ao polarizarmos um elemento P conforme indicado na figura 4-11, haverá uma corrente de lacunas no cristal no sentido mostrado.

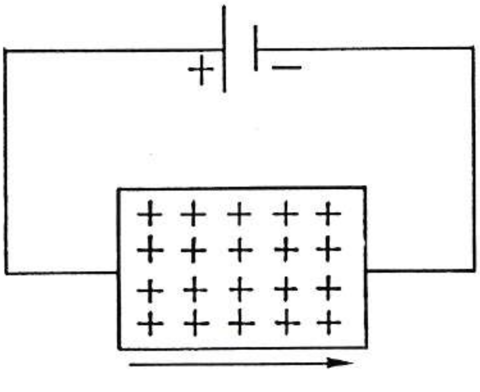


Figura 4-11 Polarização do elemento P

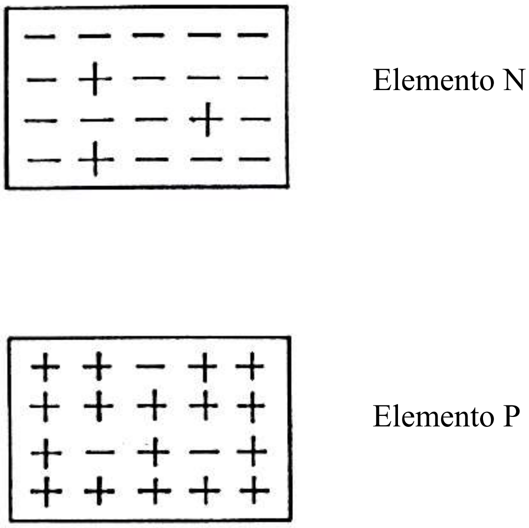
As lacunas, que são positivas, são repelidas pelo seu positivo da fonte de tensão e atraídas pelo pólo negativo da mesma.

Um elétron entra no cristal no lado negativo da fonte e se combina com uma lacuna, completando a união, estes já não existem mais como portadores elétricos. Em seguida a bateria que perdeu um elétron no lado negativo da fonte, tira um elétron do cristal no lado positivo da fonte, gerando assim, uma lacuna que é imediatamente repelida pelo pólo positivo da fonte e atraído pelo pólo negativo. Temos assim uma corrente elétrica constante que é limitada pela resistividade do elemento, que por sua vez, depende do número de portadores criados na dopagem do mesmo.

Portadores Majoritários e Minoritários nos elementos

Como vimos anteriormente, se adicionarmos impurezas pentavalentes à um cristal surgem nesse cristal tantos elétrons livres quantos forem os átomos de impurezas adicionados.

Sabemos que na temperatura ambiente o cristal puro apresenta portadores positivos e negativos em números iguais. Porém, com a dopagem essa igualdade é alterada e o material que possuía igual quantidade de portadores, possui agora, maior número de elétrons do que de lacunas. Dizemos então que os elétrons são portadores majoritários e as lacunas portadores minoritários no elemento N.



Elemento N

Elemento P

Figura 4-12 Concentração de portadores nos elementos P e N

Quando se une um elemento P a um elemento N, há uma combinação natural de portadores ou seja, elétrons do elemento N e lacunas do elemento P, em toda a estrutura das superfícies unidas.

Porém, nem todos os elétrons e lacunas se recombinam porque as primeiras recombinações criam íons, que fazem uma barreira ao processo de recombinação. Isto pode ser visto na figura 4-13.

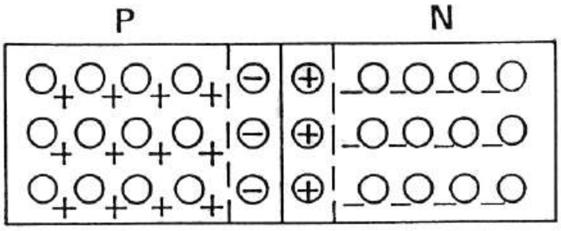


Figura 4-13 Formação de íons na junção PN

No elemento P os átomos que se ionizam são os das impurezas aceitadoras e no elemento N os das impurezas doadoras. Esta região ionizada entre os elementos P e N é dotada de um campo eletrostático negativo, no lado P e positivo no lado N.

Esse campo é considerado como se fosse um campo de força, cujo potencial negativo, da região P, repele os portadores de elétrons, do lado N e cujo potencial positivo, da região N, repele as lacunas do lado P.

Por isso, embora os portadores de elétrons e lacunas estejam em movimento, à temperatura ambiente, eles não se difundem por toda estrutura cristalina.

A figura 4-14 mostra uma junção PN com os portadores de carga e as forças de repulsão.

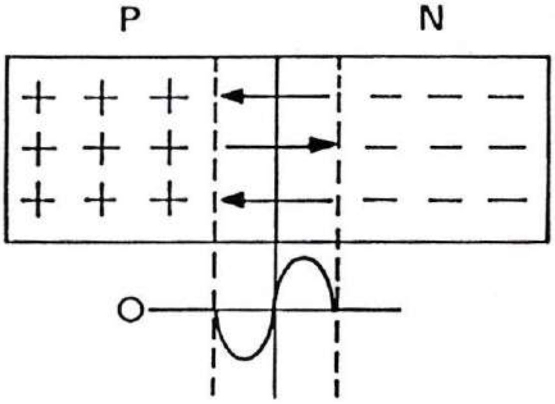


Figura 4-14 Campo eletrostático e forças de repulsão na junção PN

Devido a falta de portadores de carga nessa região a mesma recebe o nome de região de "depleção".

POLARIZAÇÃO DE UMA JUNÇÃO PN

De acordo com a polaridade dos elementos P e N da junção tem-se um comportamento diferente da mesma.

A junção PN pode ser polarizada de duas maneiras: direta ou inversa.

Junção PN diretamente polarizada

Diz-se que a junção PN está diretamente polarizada quando tem-se o positivo da fonte de tensão ligado ao elemento P e o negativo ao elemento N, como mostra a figura 4-15.

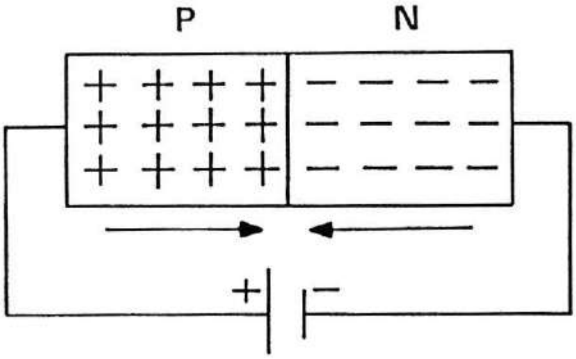


Figura 4-15 Junção PN diretamente polarizada

Na polarização direta da junção PN, temos uma diminuição da barreira de potencial pois as lacunas, do lado P, são repelidas pelo potencial positivo e os elétrons do lado N são repelidos pelo potencial negativo da fonte de tensão.

A região agora apresenta uma baixa resistência, cerca de dezenas de ohms.

Os átomos pertencentes ao lado N tornam-se íons positivos, porque seus elétrons foram deslocados em direção da junção, tendo agora condições de receberem elétrons da fonte de tensão.

Por sua vez os átomos do lado P, tornam-se íons negativos, porque suas lacunas foram deslocadas para a junção, tendo condições de fornecer elétrons para o lado positivo da fonte de tensão.

Vemos que com essa polarização, temos elétrons entrando no lado N e saindo no lado P.

Na região da junção, há um processo constante de recombinação de elétrons e lacunas. Assim uma corrente elétrica é estabelecida numa junção PN.

Esta corrente é denominada corrente direta.

Junção PN inversamente polarizada

Diz-se que a junção PN está inversamente polarizada quando tem-se o positivo da fonte de tensão no lado N e o negativo no lado P, como mostra a figura 4-16.

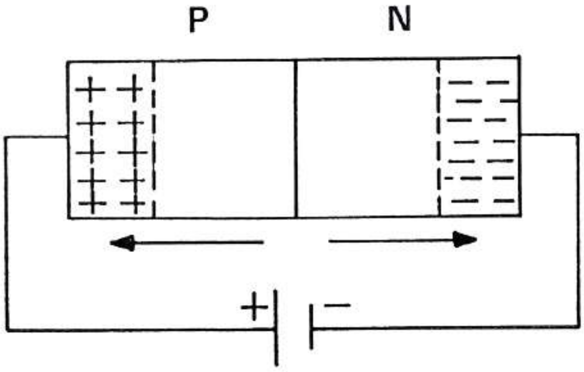


Figura 4-16 Junção PN inversamente polarizada

Podemos observar que o potencial positivo, no lado N, é uma força de atração para os elétrons e que o potencial negativo, no lado P é uma força de atração para as lacunas.

A ação dessa força faz com que os portadores se desloquem, temos então um aumento na barreira de potencial, como é mostrado na figura 4-16.

Este aumento é diretamente proporcional ao aumento da tensão aplicada à junção PN. Nesta situação não deve circular corrente normal no circuito, porém, devido às características do cristal, haverá uma pequena corrente que é denominada corrente de fuga.

DIODO SEMICONDUTOR

Vimos anteriormente que podemos polarizar uma junção PN de duas maneiras distintas, direta e inversamente.

Na primeira condição temos uma corrente circulando pela junção e na segunda esta corrente pode ser considerada desprezível. vemos então que esse dispositivo possui características de condução elétrica unidirecional. Tal elemento pelas características acima descritas será amplamente empregado na Eletrônica, principalmente na retificação de sinais recebendo para tanto o nome de diodo de junção ou diodo semicondutor.

DIODO RETIFICADOR

Existem muitos tipos de diodos, tais como o diodo Zener, o SCR, o fotodiodo etc.

Porém, entre os vários tipos de diodos existentes um dos mais usados na eletrônica é o diodo retificador cujo símbolo é mostrado na figura 4-17.

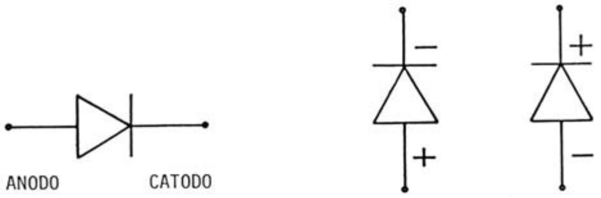


Figura 4-17 Símbolo e polarização dos diodos

Polarização direta do diodo

Como já foi visto, na polarização direta da junção PN o lado N está ligado ao pólo negativo da fonte de tensão e o lado P no pólo positivo da mesma.

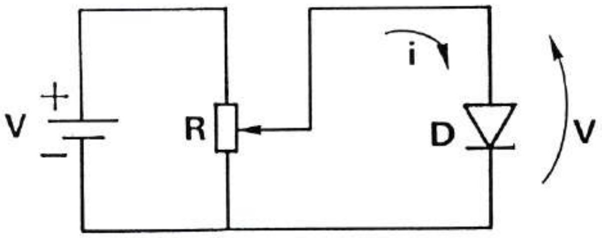


Figura 4-18 Circuito do diodo semicondutor polarizado diretamente

Pelo circuito da figura 4-18 podemos observar que, através do potenciômetro R, conseguimos variar, a partir de zero volt, a tensão aplicada ao diodo.

Como a variação de corrente é diretamente proporcional à variação de tensão veremos que ao aumentarmos a tensão sobre o diodo a corrente também aumentará proporcionalmente.

Até um determinado valor de tensão este comportamento é válido, a partir de tal ponto a corrente cresce bruscamente e a tensão no diodo tende a ficar constante.

Afigura 4-19 mostra a curva de polarização direta de um diodo.

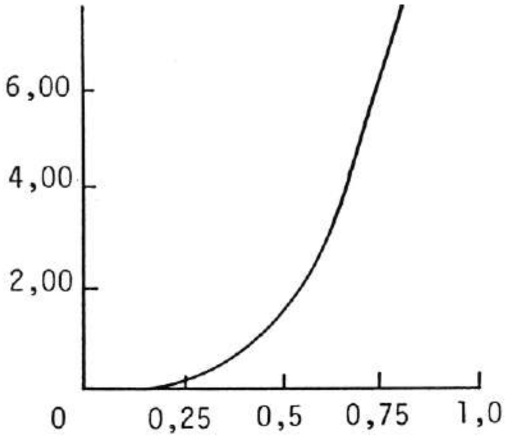


Figura 4-19 Curva da polarização direta do diodo

Polarização inversa do diodo

A figura 4-20 mostra o circuito de um diodo polarizado inversamente.

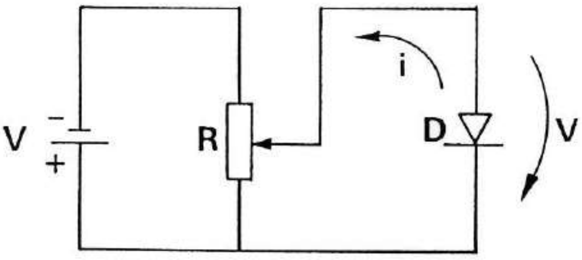


Figura 4-20 Diodo polarizado inversamente

Na polarização inversa da junção PN, o lado N está ligado no pólo positivo da fonte de tensão e o lado P no pólo negativo da mesma.

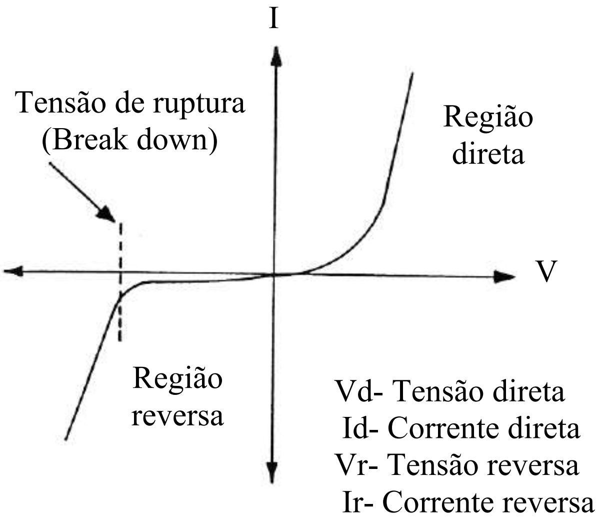


Figura 4-21 Curva de polarização inversa do diodo

Pelo circuito vemos que, através do potenciômetro R, fazemos com que a tensão negativa no elemento P aumente lentamente. Nesta situação a corrente que flui no circuito é desprezível, porém, se aumentarmos ainda mais o valor da tensão sobre o diodo atingiremos um valor em que há um aumento brusco da corrente reversa, comprometendo até mesmo a integridade da junção PN. Este valor de tensão é denominado tensão de ruptura.

A curva de polarização reversa do diodo semicondutor é mostrada na figura 4-21.

RUPTURA DA JUNÇÃO PN

A ruptura da junção ocorre quando a corrente reversa atinge um nível suficiente para romper as ligações entre os átomos do cristal, danificando a mesma.

O valor da tensão de ruptura é de suma importância no projeto de circuitos utilizando diodos polarizados inversamente. Os diodos construídos com cristais de silício suportam maiores tensões inversas do que os diodos de germânio.

A ruptura da junção de um diodo pode ser causada por vários fatores como tensão inversa (ou avalanche) e por efeito térmico.

Ruptura por tensão inversa (efeito Avalanche)

Quando a tensão inversa atinge um valor alto o suficiente para provocar o rompimento das ligações entre os átomos do cristal diz-se que a ruptura se dá por tensão inversa ou por efeito avalanche, porque esses rompimentos geram portadores, que por sua vez vão romper, por choque, outras ligações e assim por diante como numa avalanche.

Este processo de quebra e geração de portadores diminui rapidamente a resistência da junção aumentando bruscamente a corrente por ela, podendo inclusive danifica-la.

Ruptura por efeito térmico

Como visto anteriormente, existe na junção PN a geração de portadores minoritários devido à temperatura.

A ruptura por efeito térmico se dá quando os portadores minoritários provocam uma corrente inversa que resulte numa potência maior que a da capacidade de dissipação da junção.

Para uma tensão inversa constante, a corrente inversa pode ser aumentada pelo efeito térmico, o que aumenta a potência da junção. Com o aumento dessa potência haverá também um aumento de temperatura o que resulta num novo aumento da corrente inversa, esse aumento de corrente tende a aumentar ainda mais a potência e essa por sua vez a temperatura. E assim sucessivamente até a ruptura.

APLICAÇÃO DO DIODO RETIFICADOR

Pelo que foi visto até aqui notamos que o diodo pode ser considerado como sendo uma chave eletrônica. Quando em polarização direta, a corrente sobre ele fica limitada somente pelos elementos do circuito externo. Porém, quando está polarizado inversamente, a corrente do circuito fica limitada por ele mesmo, tendo assim, o comportamento de um circuito aberto. A figura 4-22 mostra dois circuitos com diodos polarizados direta e inversamente.

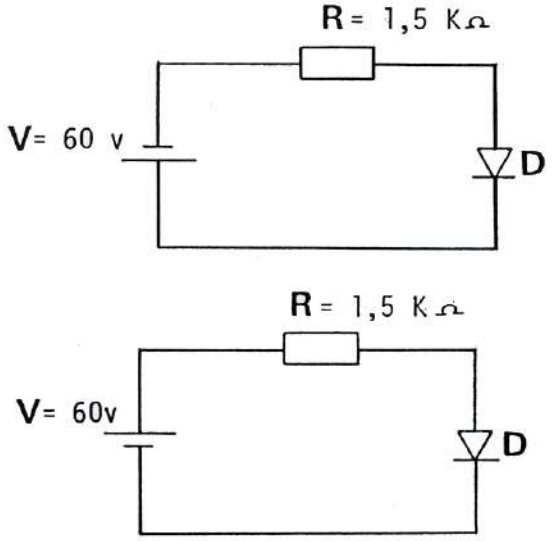


Figura 4-22 Diodos polarizados inversa e diretamente

No circuito com a polarização direta a corrente que flui pelo circuito é uma junção da tensão de 60 V e da tensão sobre o diodo, que é muito pequena, pois em polarização direta o diodo é praticamente um curto-circuito. Tem-se então quase toda tensão (59,3 V) sobre a resistência de 1,5 KΩ, restando apenas uma pequena tensão (0,7 V) sobre o diodo. No circuito com a polarização inversa não há praticamente corrente fluindo, portanto não haverá queda de tensão sobre R. Tem-se então toda a tensão da fonte sobre o diodo o qual pode ser considerado um circuito aberto.

DIODO EM TENSÃO ALTERNADA

Quando polarizado com tensão alternada o diodo retificador conduz somente durante o semiciclo em que está polarizado diretamente, ou seja, durante o semiciclo em que a tensão de anodo for maior que a de catodo, permanecendo cortado no outro semiciclo.

A figura 4-23 apresenta um circuito com um diodo operando em tensão alternada e também as formas de onda de entrada e de saída.

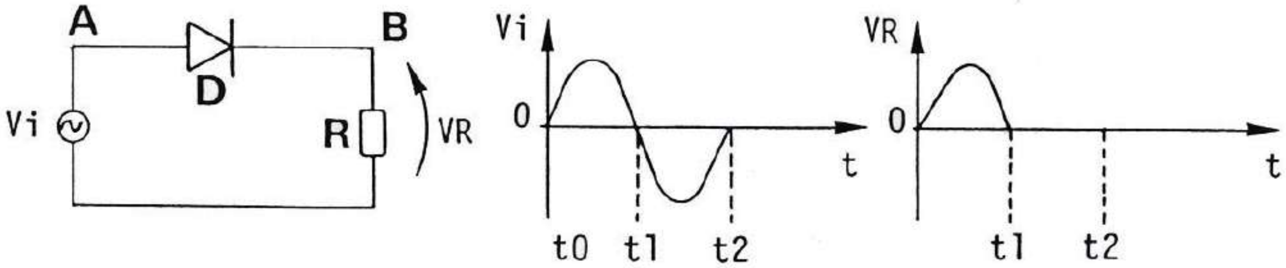


Figura 4-23 Circuito retificador com tensão senoidal

Durante o semiciclo positivo de Vi (de t0 a t1), o ponto A fica positivo em relação ao ponto B, polarizando o diodo diretamente.

Nesta condição, o diodo é praticamente um curto-circuito e a corrente no circuito determina em R uma queda de tensão proporcional à tensão entre os tempos t 0 e t 1 da tensão de entrada.

Durante o semiciclo negativo de Vi (de t1 a t2),, o ponto A fica negativo em relação ao ponto B, polarizando o diodo inversamente.

Nestas condições, o diodo pode ser considerado um circuito aberto.

A ação descrita acima é chamada retificação, e é onde o diodo tem a sua mais importante aplicação.

Como outras aplicações do diodo retificador podemos citar: em detectores de pico, circuitos limitadores, circuitos de proteção etc.

CAPÍTULO 5

FONTES DE FORÇA ELETRÔNICA

TIPOS DE FONTES DE FORÇA

Os circuitos que usam transistores, diodos ou circuitos integrados geralmente precisam de uma fonte de força CC para sua operação. Existem basicamente três tipos de fonte de força CC:

- Pilhas e baterias
- Geradores CC
- Fontes de força eletrônica

As pilhas e baterias produzem tensão CC através da ação química. Os geradores CC usam movimento mecânico para girar um condutor em seu campo magnético e assim produzir uma tensão CC pulsante.

Pilhas e baterias são atualmente muito utilizadas, pois os modernos circuitos em estado sólido requerem potências muito baixas comparadas com as necessárias aos antigos equipamentos à válvula. Pilhas e baterias são essenciais aos equipamentos portáteis e aos equipamentos instalados em locais distantes da energia CC.

Porém um equipamento mais potente, nos quais o uso de pilhas ou baterias seria impraticável, a energia CC é fornecida por uma fonte de força eletrônica.

Uma fonte de força eletrônica é um circuito que fornece uma tensão CC para a operação de outros circuitos eletrônicos. Existem as fontes eletrônicas que convertem tensão CA em CC e as que convertem tensão CC em CA, sendo a primeira a mais utilizada.

A energia primária para a maioria das fontes de força eletrônica é a tensão CA de 60 Hz que encontramos nas tomadas. A fonte converte esta tensão em tensão CC, à ser utilizada pelos circuitos eletrônicos, de acordo com as seguintes etapas:

- Ajuste da amplitude da tensão CA
- Retificação
- Filtragem
- Regulagem

A amplitude da tensão CA é ajustada usando-se um transformador de núcleo de ferro. Este transformador pode ser projetado para elevar a tensão CA aplicada quando uma alta tensão CC de saída for necessária, ou pode ser projetado para reduzir a tensão CA quando uma baixa tensão de saída é requerida.

Após efetuado o ajuste da amplitude da tensão CA, a mesma é convertida em tensão CC. Este processo é chamado de retificação.

A retificação é efetuada por diodos retificadores que, como já sabemos, são dispositivos que oferecem alta resistência ao fluxo de corrente em uma direção(de catodo para anodo) e baixa resistência no sentido oposto (de anodo para catodo).

A tensão de saída no retificador pode ser chamada de tensão CA retificada ou tensão CC pulsante. Como na saída da fonte necessitamos de uma tensão CC sem variações, um circuito de filtro é empregado logo após o estágio retificador. Este circuito eliminará as pulsações existentes na saída do retificador. O filtro normalmente consiste de um capacitor, uma combinação de capacitores e indutores ou uma combinação de capacitores e resistores.

A tensão obtida na saída do filtro pode ser aplicada diretamente à carga. Porém essa tensão poderá variar devido a variações da tensão CA de entrada e da carga. Essas variações poderiam prejudicar o desempenho do circuito em operação.

Para obtermos uma tensão de saída constante um circuito regulador é colocado entre o estágio de filtragem e a carga. O regulador efetua as compensações necessárias causadas pelas variações da tensão CA de entrada e as variações de carga, mantendo a tensão de saída constante.

O regulador é normalmente um circuito de controle por realimentação, composto por transistores e outros semicondutores.

Ao utilizarmos uma pilha ou bateria como fonte de energia a tensão fornecida pode não ser adequada ao circuito a ser alimentado.

Neste caso é necessária uma fonte que converta a tensão disponível na utilizável.

Essas fontes são chamadas de conversores CC–CC. Essa conversão da tensão CC de uma dada bateria em um valor mais alto, implica na conversão da tensão CC da bateria em tensão CA, através de um dispositivo de chaveamento eletrônico.

Esta tensão é elevada ao valor desejado por meio de um transformador.

A tensão alternada do secundário do transformador é então retificada para a tensão CC pulsante, filtrada e aplicada à carga através de um regulador. Por último, existe o tipo de fonte de força que converte energia CC em CA, este é chamado de conversor.

Este dispositivo é necessário quando se necessita de energia CA e só se dispõe de baterias e pilhas como fonte de energia, ou seja, só de energia CC. Como no caso de conversor CC-CC a energia CC é transformada em CA, por meio de chaveamento eletrônico, em seguida é elevada ao valor desejado, retificada e filtrada.

Os inversores são muito empregados em aeronaves, onde existem equipamentos que são alimentados com energia CA.

A figura a seguir mostra o diagrama básico em blocos de uma fonte de força eletrônica.

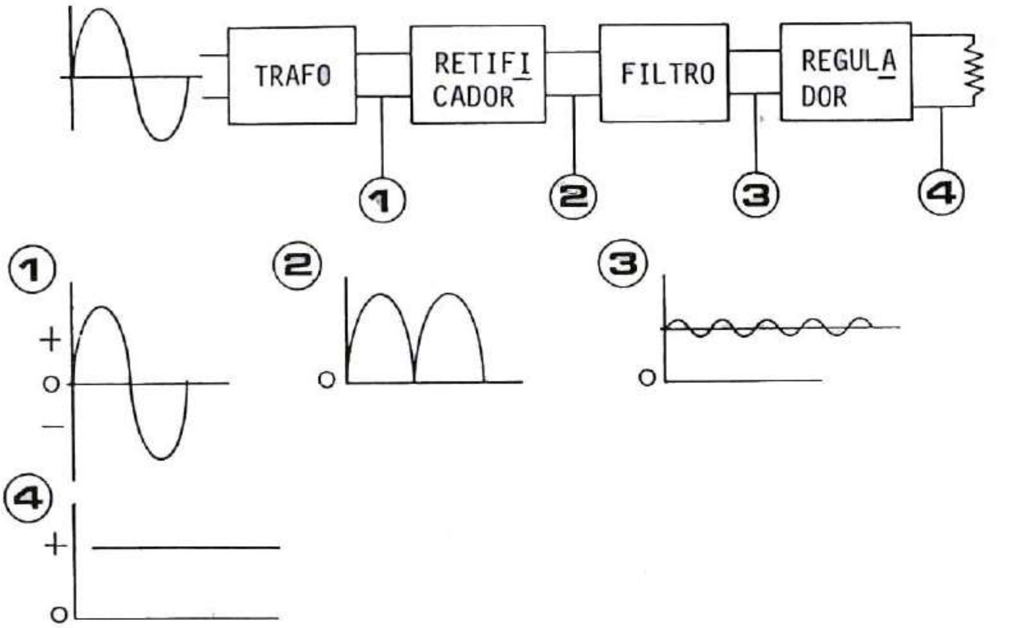


Figura 5-1 Diagrama básico de uma fonte de força eletrônica

CIRCUITOS RETIFICADORES

O retificador é aquela parte da fonte de força que, através de diodos retificadores converte a tensão CA do transformador em CC pulsante.

No retificador os diodos semicondutores, atuam como chaves unidirecionais, sensíveis à polaridade e que permitem o fluxo de corrente através da carga em apenas uma direção.

Existem vários tipos de circuitos retificadores como veremos a seguir.

Retificador de meia onda

No circuito retificador de meia onda apenas um diodo é usado no processo de retificação.

A figura 5-2 mostra o circuito retificador de meia onda.

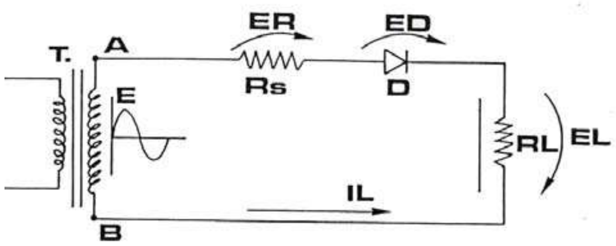


Figura 5-2 Circuito retificador de meia onda

Quando a polaridade da tensão no secundário polariza diretamente o diodo D, ocorre um fluxo de corrente através de RL. Quando a polaridade se inverte no ciclo seguinte, o diodo é polarizado inversamente e não há fluxo de corrente na carga como mostra a figura 5-3.

Pelas formas de onda da figura 5-3 podemos observar que durante o período de t1 a t2, em que o diodo está conduzindo, parte da tensão aparece através do retificador e da resistência do secundário do transformador, porém sua maior parte aparece sobre a resistência de carga RL. O diodo e o secundário do transformador apresentam uma resistência pequena quando estão conduzindo. A queda de tensão sobre o diodo é de aproximadamente 0,7 V, quando este está conduzindo para diodos de silício e 0,2 V para os diodos de germânio.

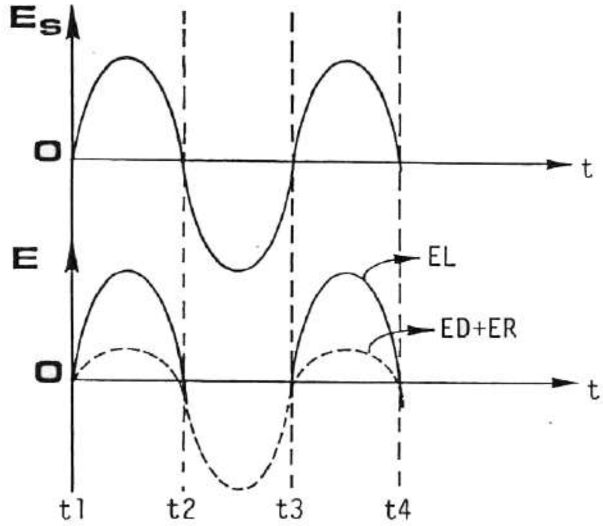


Figura 5-3 Formas de onda em um retificador de meia onda

No período de t2 a t3 o diodo está cortado pois, o ponto A no secundário do transformador (figura 5-2) é negativo em relação ao ponto B, o que polariza o diodo inversamente. Nesta situação nenhuma corrente fluirá através da carga, não havendo também queda de tensão sobre a mesma, e toda a tensão do secundário do transformador cairá sobre o diodo.

No período seguinte, de t3 a t4, o diodo conduzirá novamente e a operação será a mesma verificada no período de t1 a t2, analogamente, a operação de t4 a t5 será a mesma verificada de t2 a t3. Com isso, teremos sobre RL uma tensão que consistirá de uma série de meias ondas senoidais de mesma polaridade. A corrente através da carga RL será uma série de pulsos que ocorrem na mesma frequência da tensão CA da rede.

No circuito da figura 5-2 vemos que a polaridade da tensão de saída através da carga é positiva em relação à terra, porém, se o diodo fosse invertido a saída seria negativa em relação à terra, pois a corrente fluirá em direção oposta à da análise anterior.

Se considerarmos o diodo e o transformador como elementos ideais, ou seja, o diodo apresenta uma queda de tensão igual a zero quando está diretamente polarizado e se comporta como um circuito aberto, quando está inversamente polarizado e o transformador tem uma resistência de enrolamento igual a zero.

Durante os períodos t1, a t2 e t3 a t4, toda a tensão do secundário do transformador seria aplicada sobre a carga RL com estas condições ideais e durante os períodos t2 a t3 e t4 a t5, nenhuma tensão apareceria sobre RL.

O valor médio da forma de onda da corrente ou tensão na saída do retificador de meia onda é igual a 0,318 vezes o valor da corrente ou tensão de pico. Esta seria a tensão ou corrente indicada por um típico medidor CC de D'Arsonval conectado à RL, se todos os componentes fossem ideais. No entanto, na prática esse valor é um pouco menor devido às perdas no diodo e na resistência do enrolamento secundário do transformador.

Retificador de onda completa

Como visto anteriormente o circuito retificador de meia onda produz uma série de pulsos a partir da tensão CA de entrada. Mesmo com o uso de filtros, é difícil de se obter uma tensão CC sem flutuações na saída do mesmo. Um circuito retificador de onda completa utiliza os dois semiciclos da tensão CA de entrada, de tal modo a obter uma tensão de saída mais estável.

Este circuito utiliza um transformador com *center-tape*, dois diodos retificadores e um resistor de carga, como mostra a figura 5-4.

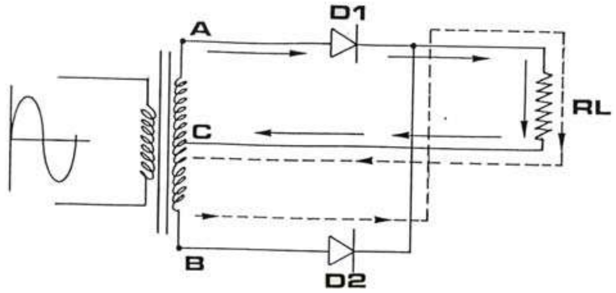


Figura 5-4 Circuito retificador de onda completa

Quando o ponto A, no secundário do transformador é positivo em relação ao ponto C, o ponto B será negativo em relação ao mesmo. Esta condição ocorre de t1 a t2 na figura 5-5. Durante este período o diodo D1 conduzirá e o diodo D2 não. A corrente será como indicado pelas setas cheias da figura 5-4.

Note que a corrente flui somente na metade do enrolamento do secundário do transformador..

Durante o período de t2 a t3, o diodo D2 conduz e D1 não. A corrente é indicada pelas setas tracejadas na figura 5-4.

A figura 5-5 mostra as formas de onda das tensões nos pontos A, B e C.

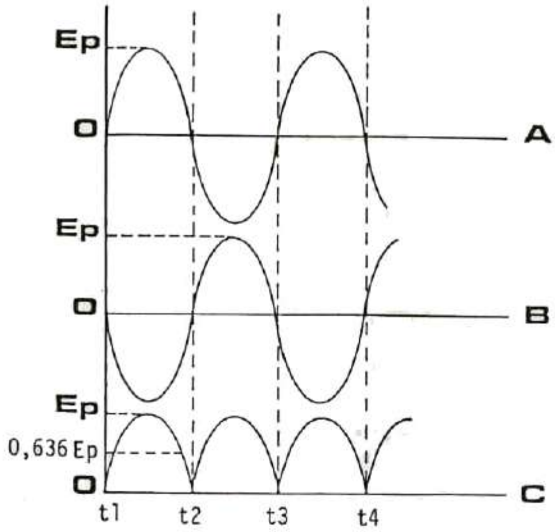


Figura 5-5 Formas de onda em um retificador de onda completa

Vemos na figura 5-5 que a tensão CC através da carga é uma série de pulsos unidirecionais, porém há o dobro de pulsos que havia no retificador de meia onda.

Portanto, os pulsos de saída ocorrem em uma frequência que é o dobro da de entrada.

Com isso temos que a tensão média através do resistor de carga será o dobro da tensão que era produzida no circuito retificador de meia onda, ou seja, será 0,636 vezes o valor de pico.

Um ponto importante a ser observado no circuito é que apenas um diodo conduz de cada vez, um no semiciclo positivo e outro no semiciclo negativo da tensão de entrada. O diodo que não conduz sofre uma polarização reversa de todo enrolamento, portanto, ambos os diodos devem ser capazes de suportar esta tensão para garantir o bom funcionamento do circuito.

Retificado em ponte

Um retificador em ponte é um circuito formado por quatro diodos conectados de tal forma que é desnecessário o uso de um transformador com *center-tape*. Com essa configuração obtem-se a retificação de onda completa com um enrolamento simples de secundário. A figura 5-6 mostra o circuito retificador em ponte.

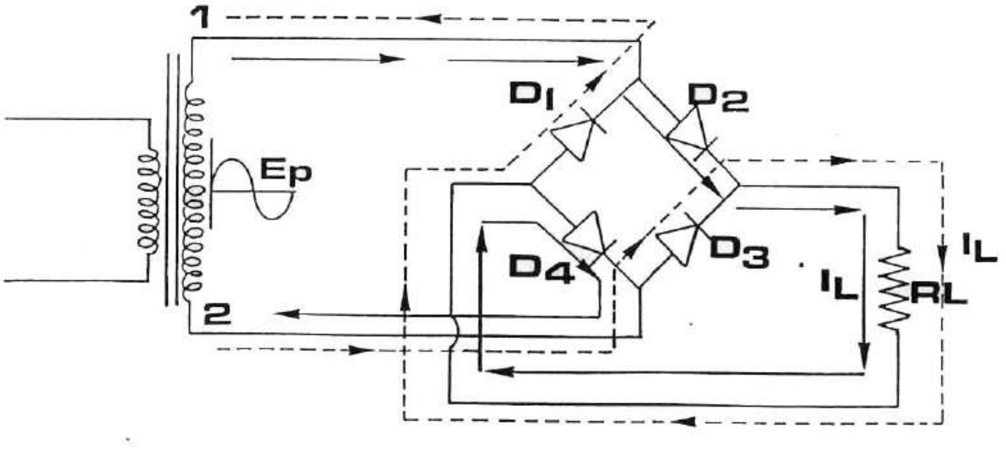


Figura 5-6 Circuito retificador em ponte

No instante em que temos Ep positivo, ou seja o ponto 1 positivo em relação ao ponto 2, os diodos D2 e D4 conduzem (ficam em série) pois, as tensões que aparecem sobre eles propiciam um efeito como é mostrado na figura 5-7.

Estes diodos conduzindo farão com que circule uma corrente no circuito, no sentido indicado pelas setas cheias na figura 5-6.

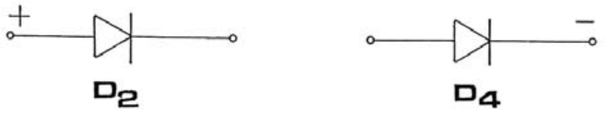


Figura 5-7 Polarização de D2 e D4 no semiciclo positivo da tensão de entrada

Quando Ep inverte a polarização, o ponto 1 será negativo em relação ao ponto 2, devido a estes potenciais os diodos D1 e D3 conduzem (ficam em série) como mostra a figura 5-8.

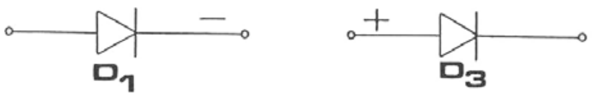


Figura 5-8 Polarização de D1 e D3 no semiciclo negativo da tensão de entrada

Uma vez conduzindo, os diodos D1 e D3 propiciarão a circulação de uma corrente cujo sentido é o indicado pelas setas tracejadas na figura 5-6.

É fácil verificar que mesmo Vs mudando de polaridade a corrente na carga circula sempre no mesmo sentido, isto quer dizer que a corrente I1 possue somente uma polaridade, ou seja, esta corrente é contínua pulsante e conseqüentemente a tensão sobre a carga também o será.

A figura 5-9 mostra as formas de onda no retificador em ponte.

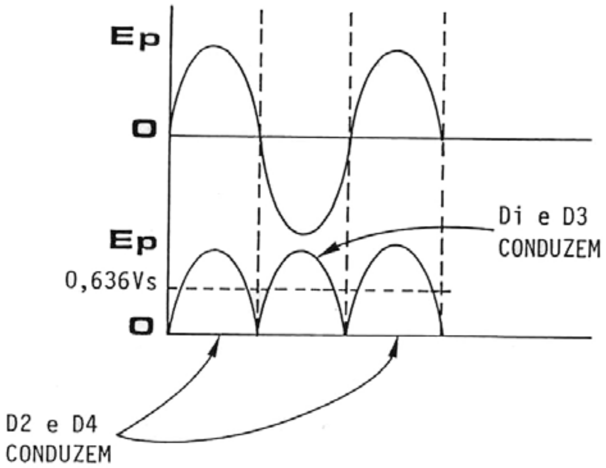


Figura 5-9 Formas de onda da tensão de saída no retificador em ponte

Quando os diodos D2 e D4 conduzem, os diodos D1, D3, o secundário do transformador e a carga R1 estão em paralelo. Desta maneira o circuito comporta-se como mostra o esquema da figura 5-10.

Da maneira que os diodos D1 e D3 se encontram na figura 5-10, eles estão polarizados inversamente e a tensão máxima que ficará sobre eles é a tensão máxima fornecida pelo secundário do transformador.

A tensão na carga também será igual à tensão Vs. Analogamente, quando a tensão Vs muda de polaridade, a tensão reversa sobre os diodos D2 e D4 será a mesma tensão que aparece no secundário do transformador, e a mesma na carga.

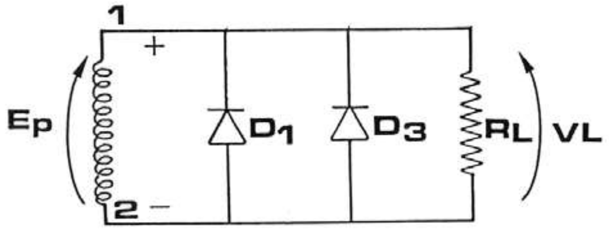


Figura 5-10 Esquema equivalente do circuito em ponte no semiciclo positivo da tensão de entrada

Logo, pode-se concluir que a tensão de pico reversa sobre os diodos terá o mesmo valor da tensão máxima fornecida pelo secundário do transformador.

FILTROS

Como vimos, a saída de qualquer circuito retificador a diodos é uma corrente CC pulsante. Este tipo de corrente é inadequado para alimentar a maioria dos circuitos eletrônicos, os quais geralmente requerem uma tensão CC constante para funcionar.

Numa fonte de força eletrônica, é usado um circuito de filtro para converter a onda CC pulsante em uma onda CC pura. A seguir veremos a definição de Ripple e os filtros mais comumente usados bem como o seu dimensionamento.

Fator de Ripple

A saída CC pulsante produzida pelos circuitos retificadores é uma forma de onda complexa que pode ser dividida em componentes CA e CC.

A finalidade do filtro é remover a componente CA que é chamada de ondulação ou *ripple.*

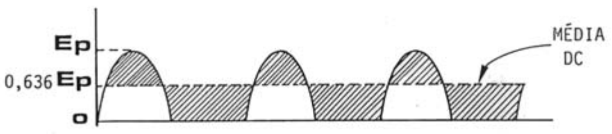


Figura 5-11 Forma de onda de saída de um retificador de meia onda

A figura 5-11 mostra a forma de onda CC pulsante da saída do retificador de meia onda.

A tensão CC média é 0,318 vezes o valor de pico da tensão de entrada CA. O *ripple* ou correspondente CA, é indicado pelas áreas sombreadas abaixo e acima da média CC.

Podemos considerar o *ripple* como sendo uma forma de onda não senoidal sobreposta ao nível médio CC. Note que se a fonte de força opera com uma tensão de linha cuja frequência é 60 Hz, a frequência de oscilação do retificador de meia onda é 60 Hz.

Portanto, o período de oscilação é igual a $\frac{1}{60}=0{,}01667$ segundos ou 16,67 milisegundos

A forma de onda da tensão de saída em um retificador de onda completa é mostrada na figura 5-12.

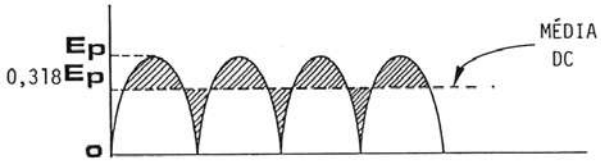


Figura 5-12 Forma de onda de saída de um retificador de onda completa

Pela figura podemos observar que no retificador de onda completa a média CC de saída é o dobro da de um retificador de meia onda ou seja, 0,636 Ep. Isso se deve ao fato de termos mais um pulso CC de saída por ciclo de entrada.

Novamente podemos considerar a ondulação como sendo um sinal não senoidal sobreposto ao nível CC médio.

O valor pico-a-pico da ondulação é igual a Ep, entretanto, a frequência de ondulação é de 120 Hz, quando a frequência da tensão da linha é de 60 Hz.

O período de oscilação é, portanto igual a $\frac{1}{120} = 0{,}00833$ *ou* 8,33 ms. O filtro reduzirá a amplitude pico-a-pico da ondulação e aumentará a tensão média CC de saída.

O filtro mais simples e também mais comumente empregado é o filtro a capacitor, que consiste de um capacitor ligado diretamente à carga RL tanto no retificador de meia onda como no de onda completa.

A figura 5-13 mostra o filtro a capacitor.

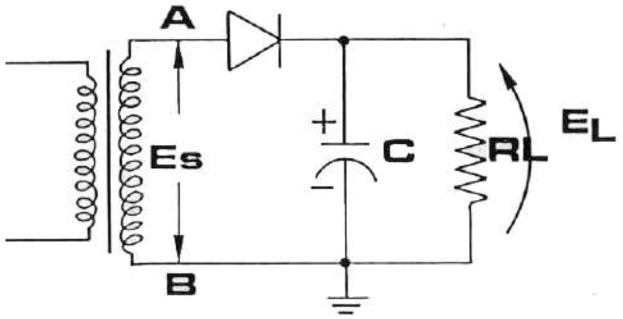


Figura 5-13 Filtro a capacitor

As formas de onda de um circuito retificador com filtro são mostradas na figura 5-14.

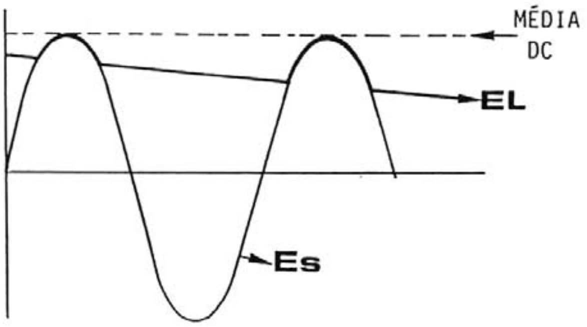


Figura 5-14 Forma de onda de tensão num circuito retificador com filtro

Na figura 5-14 vemos a tensão do secundário do transformador bem como a tensão de saída da fonte de força EL. Inicialmente o capacitor C está descarregado, porém quando nele é aplicada a energia, se carrega rapidamente com o valor da tensão de pico do secundário durante o período de condução do diodo. Sempre que a tensão do secundário excede a tensão de carga do capacitor o diodo conduz.

Quando a tensão do secundário cai abaixo do valor da carga do capacitor, o diodo fica polarizado inversamente e não conduz, com isso o capacitor se descarrega através da resistência RL. Se a constante de tempo RC do capacitor for suficientemente grande, a quantidade de energia que o capacitor descarregará durante os picos da tensão CA será pequena.

Como resultado teremos uma tensão CC na saída aproximadamente constante. O capacitor reduz bastante a ondulação bem como aumenta a tensão média nos terminais de saída. A tensão CC de saída se aproxima do valor de pico do secundário. A redução na ondulação é proporcional ao tamanho do capacitor. Quanto maior a capacitância, menor será a descarga do capacitor durante o tempo em que o diodo não conduzir. O processo de filtragem da tensão de saída do retificador de onda completa é idêntico ao usado no retificador de meia onda, entretanto no retificador de onda completa o capacitor de filtro tem um tempo de descarga menor, antes de ser carregado novamente, visto que neste circuito cada semiciclo da entrada CA produz um pulso através da carga.

No circuito de meia onda, o tempo de descarga é aproximadamente igual a um período completo da onda senoidal de entrada, ou seja, aproximadamente 16 ms, para uma entrada CA de 60 Hz.

Com isso temos que no circuito retificador de onda completa, para a mesma carga, o mesmo capacitor de filtro e tensão de entrada, a ondulação será muito menor e a tensão média CC de saída maior do que no retificador de meia onda. A figura 5-15 mostra a saída do retificador de onda completa com filtro.

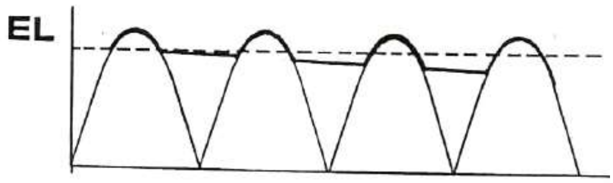


Figura 5-15 Saída do retificador de onda completa com filtro

Teoria de funcionamento do filtro a capacitor

Um método de analisar o funcionamento do filtro é considerar as variações de corrente e tensão em relação ao tempo.

A figura 5-16 mostra um circuito equivalente simplificado de um retificador de meia onda com filtro capacitivo.

Neste esquema simplificado, a fonte CA é representada por um gerador e sua resistência interna RS, o diodo é representado por uma chave S que é sensível à polaridade e o capacitor C é o filtro através da carga RL.

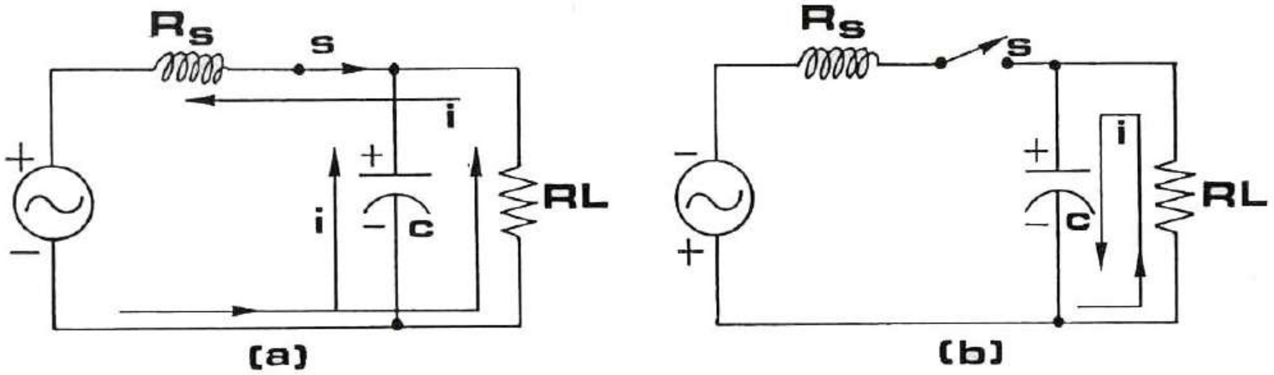


Figura 5-16 Circuito equivalente de um retificador de meia onda

Quando a polaridade do sinal CA for a apresentada na figura 5-16a, o diodo conduzirá e atuará como uma chave fechada. Tem-se então corrente circulando que fará com que o capacitor se carregue com a polaridade indicada. Durante o semiciclo seguinte, a polaridade se inverte e o diodo fica polarizado inversamente, podendo ser considerado como uma chave aberta, como mostrado na figura 5-16b. Nesse período o capacitor se descarrega através da carga RL. No circuito de carga, o capacitor se carrega de Rs para o pico da tensão aplicada. Como Rs é muito pequena, o capacitor se carrega rapidamente. Durante o semiciclo seguinte, quando o diodo não conduz, o capacitor se descarrega através da carga.

Como a resistência de carga RL é muito maior que Rs, na descarga a constante de tempo é maior. Para melhor filtragem e mínima ondulação, a constante de tempo de descarga deve ser grande. Este grande tempo de descarga pode ser conseguido com um alto valor de capacitância e resistência, portanto o capacitor deve ser o maior possível.

Com isso a constante de tempo RC será grande o bastante para tornar mínima a descarga do capacitor, durante os períodos em que o diodo não conduzir.

Cálculo do capacitor de filtro

Embora filtros mais complexos possam ser construídos, para a maioria das aplicações, o simples capacitor de filtro é mais adequado para atender a filtragem requerida.

As relações entre corrente de carga, tensão de ondulação, valor do capacitor e tempo de descarga, podem ser formulados através de uma simples equação, que é apresentada a seguir:

$$C = \frac{I \bullet t}{E_R}$$

onde:

C = Valor do capacitor de filtro em Farads

I = Corrente CC, na carga, em ampères

t= Período da tensão de ondulação CA, em segundos

E_R= Máxima tensão de ondulação pico-a-pico permitida, em volts.

Para determinarmos **I**, devemos conhecer o valor da resistência de carga e a tensão CC de saída desejada. O tempo **t** é o período de descarga do capacitor de filtro e é igual ao período de ondulação CA.

Nos circuitos retificadores de meia onda, a frequência de oscilação é de 60 Hz, tornando t = 0,01667 s.

Nos circuitos retificadores de onda completa, a frequência de oscilação é de 120 Hz tornando t = 0,00833 s.

Exemplo: Considere uma fonte de força com retificador de onda completa, que tenha uma tensão CC de saída igual a 5 V, sendo a máxima ondulação pico-a-pico permitida de 1 %. A corrente de carga é 200 mA. Qual o valor mínimo do capacitor a ser usado?

I = 0,2 A

t = 0,00833 s

E_R= 0,01 x 5 = 0,05 V

$$C = \frac{I\,t}{E_R} = \frac{0{,}2 x 0{,}00833}{0{,}05} = 0{,}0333\ Farads$$

C = 33,33 MF

Na prática deve-se usar um capacitor de valor um pouco superior a esse.

Um outro fator importante a ser considerado na utilização do capacitor de filtro é a tensão de operação do mesmo. Os capacitores em sua maioria são projetados para operarem com tensão abaixo de um limite máximo.

Quando escolhermos a especificação da tensão máxima do capacitor, devemos ter certeza que ela é maior que a tensão de saída da fonte de força. Geralmente é aconselhável deixarmos uma faixa de segurança de 20 %.

O tipo de capacitor mais comumente usado em filtros é o eletrolítico de alumínio. Porém para aplicações em pequenas correntes, algumas vezes são usados capacitores de tântalum.

Tanto os capacitores eletrolíticos como os de tântalum, são capacitores polarizados e devem ser conectados no circuito com a polaridade correta, para que funcionem adequadamente.

Filtros LC e RC

Embora o filtro a capacitor seja o mais simples, pode-se melhorar a filtragem usando-se indutores (Choques) e resistores em combinação com ele.

Um choque pode reduzir muito a amplitude de ondulação, visto que ele se opõe às variações de corrente através dele.

A figura 5-17 mostra um filtro típico com choque de entrada.

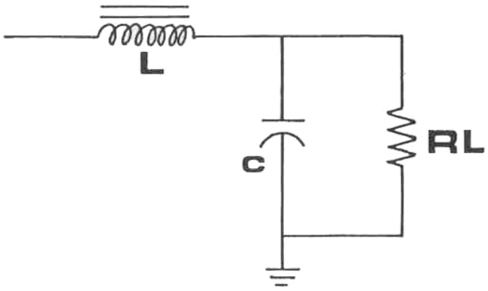


Figura 5-17 Filtro típico com choque de entrada

Para a mesma carga e mesmo retificador, este circuito proporciona maior tensão de saída e ondulação (*ripple)* mais baixa.

Os choques de filtro consistem de um enrolamento feito sobre um núcleo de ferro laminado. Em conseqüência, os choques são grandes, pesados e caros, o que os tornam geralmente incompatíveis com os circuitos de estado sólido, que são pequenos e leves.

Pode-se também melhorar a qualidade da filtragem usando-se resistores associados a capacitores.

Usando-se resistores no lugar do choque no circuito(figura 5-17), a tensão de ondulação de saída pode ser reduzida a um valor menor que aquele obtido com apenas um capacitor.

Quanto maior o valor do resistor, menor a tensão de ondulação, porém, uma certa quantidade da tensão produzida pela fonte cai sobre esses resistores, o que reduz a tensão disponível na saída.

TIPOS DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA

A sobrecarga é uma das condições anormais mais comuns de ocorrer no emprego de fontes de força. Ela pode ser resultado de um curto-circuito nos terminais da fonte ou mesmo devido ao mau funcionamento de algum componente do circuito. O método mais usado para proteger as fontes de força contra sobrecarga é o emprego de fusíveis, que é um elemento sensível à corrente, ou seja, ele se abre quando a corrente que o atravessa excede um valor específico.

Fusíveis

Como vimos, o fusível é um elemento dimensionado para proteger o circuito contra uma corrente exclusiva. Ele consiste de um dispositivo condutor conectado em série com o circuito ao qual deverá proteger. Caso a corrente no circuito exceda a um valor pré-determinado para o fusível, o mesmo se romperá, interrompendo o fluxo de corrente. Durante o funcionamento normal, enquanto a corrente estiver abaixo da especificação do fusível, o mesmo simplesmente atuará como um resistor de valor muito baixo.

Um ponto a ser considerado é que os fusíveis não se abrem, ou se queimam exatamente no instante em que a corrente excede o valor especificado. Esse tempo de rompimento dependerá da magnitude e da duração da sobrecarga. Se a corrente através do fusível exceder a sua especificação apenas ligeiramente, ele levará muito tempo até se aquecer, fundir e se romper.

Porém, se a sobrecarga é muito maior que o valor especificado para o fusível, seu aquecimento e queima serão rápidos. Quanto à velocidade os fusíveis são disponíveis em três faixas: ação retardada, retardo médio e alta velocidade.

Os fusíveis de ação retardada são dimensionados para circuitos que algumas vezes devem suportar sobrecargas de 200 a 400% acima da corrente nominal. Se essa sobrecarga durar menos de 10 segundos, esse tipo de fusível a suportará sem abrir.

Os fusíveis de ação retardada têm sua maior aplicação em circuitos que são submetidos a sobrecargas temporárias, tais como: circuito de partida de motores e circuitos de carga de capacitores.

Os fusíveis de retardo médio são geralmente usados em circuitos que podem suportar uma sobrecarga superior a 200% do valor especificado, por cerca de um segundo. Esses fusíveis são usados em aplicações onde os componentes a serem protegidos poderão ser, ocasionalmente, submetidos a uma corrente ligeiramente superior ao valor máximo de operação, sem se danificarem.

Os fusíveis de retardo médio se abrirão em poucos segundos mediante sobrecargas de 100 a 200% do valor nominal. Os fusíveis de ação rápida são projetados para abrir muito rapidamente, mesmo com sobrecargas bem pequenas. São geralmente empregados na proteção de circuitos delicados ou críticos.

Numa fonte de força a principal aplicação do fusível é na proteção do transformador de força e dos diodos semicondutores. Os fusíveis para a proteção do transformador de força são conectados no circuito do enrolamento primário. Usa-se normalmente o de retardo médio. Qualquer sobrecarga no secundário será refletida como um aumento de corrente no primário e se não forem removidas poderão danificar o transformador.

Se a corrente de carga for excessiva, ou se o capacitor de filtro entrar em curto, por exemplo, pode-se usar um fusível para efetuar a proteção apenas dos diodos retificadores.

Esse fusível é de ação rápida e é conectado em série com a saída do circuito retificador.

A figura 5-18 mostra a fonte de força com os dois diodos de proteção.

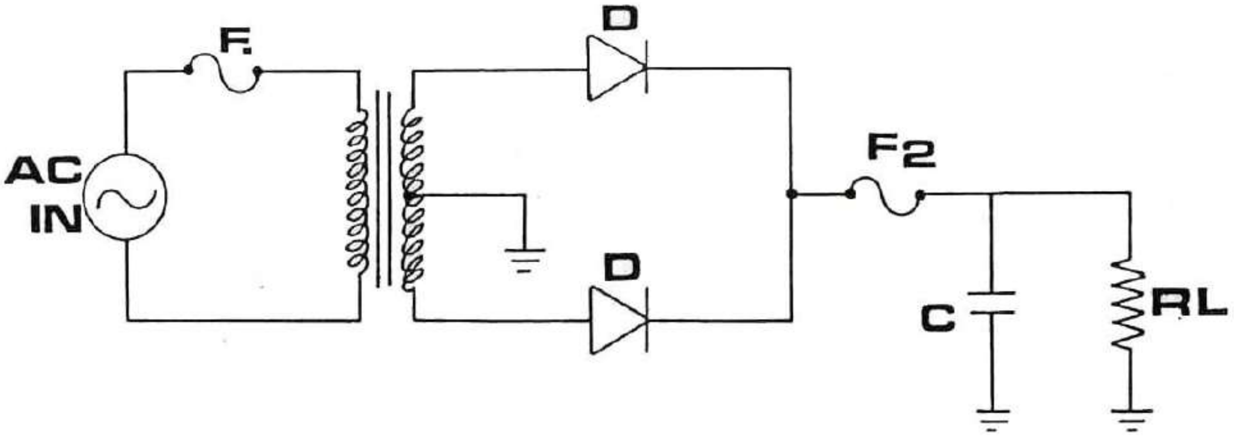


Figura 5-18 Fonte de força com diodos de proteção

No cálculo do fusível a ser utilizado, podemos adotar uma das fórmulas abaixo e adquirir o valor padrão imediatamente superior do encontrado.

Para o fusível de retardo médio:

$$\frac{\text{Máxima corrente permitida}}{0{,}75}$$

Para o fusível de ação retardada:

$$\frac{\text{Máxima corrente permitida}}{0{,}85}$$

Disjuntores (*Circuit Breakers*)

Disjuntores são dispositivos usados para proteção de circuitos. Quando há uma sobrecarga no circuito o disjuntor se abre interrompendo o mesmo. A diferença entre o disjuntor e o fusível é que o primeiro pode ser rearmado mecanicamente, isto é o disjuntor não se queima, ele se desarma.

Os disjuntores podem ser acionados (desarmados) por magnetismo ou por efeito térmico. Normalmente é por efeito térmico.

Os disjuntores ou *circuit breakers* têm grande aplicação na aeronáutica. Na linha de alimentação elétrica das aeronaves geralmente cada equipamento possui seu *circuit breaker* correspondente.

Quando houver o desarme de um disjuntor, o mecânico ou o piloto poderá verificar se existe alguma anormalidade no circuito e, se nada for constatado, o dispositivo poderá ser rearmado. No caso de novo desarme, a existência de defeito está comprovada, exigindo assim uma pesquisa mais detalhada no circuito.

A figura 5-19 mostra os símbolos usados na representação dos disjuntores.

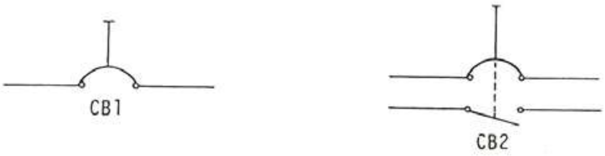


Figura 5-19 Simbologia dos disjuntores

CAPÍTULO 6

TRANSISTOR DE JUNÇÃO

INTRODUÇÃO

Com a compreensão da constituição e comportamento dos elementos semicondutores, os cientistas a partir de 1948, conseguiram construir um dispositivo que podia executar a função de uma válvula eletrônica, como amplificador de corrente. Este dispositivo foi determinado transistor.

Dos primeiros transistores cujas características eram bastante limitadas, até os atuais circuitos integrados, que englobam dezenas ou centenas de diferentes dispositivos num minúsculo sólido, o avanço tecnológico foi muito grande.

FORMAÇÃO DAS JUNÇÕES PNP E NPN

Um transistor de junção consiste em um cristal de silício ou de germânio no qual existe uma camada de silício do tipo N entre duas camadas de silício do tipo P, ou uma camada P entre duas camadas N. No primeiro caso teremos um transistor chamado PNP e, no segundo, um transistor NPN, como mostra a figura 6-1.

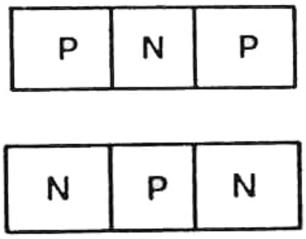


Figura 6-1 Transistores PNP e NPN

Com a formação das três regiões, aparecem automaticamente duas outras pequenas regiões internas, já conhecidas como barreira de potencial ou região de depleção.

As barreiras de potencial são campos eletrostáticos formados nas linhas de junção, da seguinte maneira: na figura 6-2, os elementos P possuem grande quantidade de portadores positivos e o elemento N grande quantidade de portadores negativos. A difusão de elétrons da região N e lacunas das regiões P resultam em recombinações nas linhas das junções, ionizando os átomos das impurezas.

Os átomos ionizados com cargas diferentes (negativos na região P, porque recebem elétrons, e positivos na região N, porque doavam elétrons), formam um campo eletrostático que paralisa o processo de difusão.

A difusão é o movimento de portadores numa área, onde estão mais concentrados, para uma região onde sua concentração é menor.

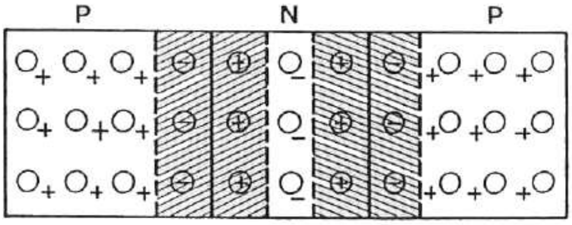


Figura 6-2 Barreiras de potencial num transistor PNP

A figura 6-3 mostra a simbologia usada na representação dos transistores PNP e NPN.

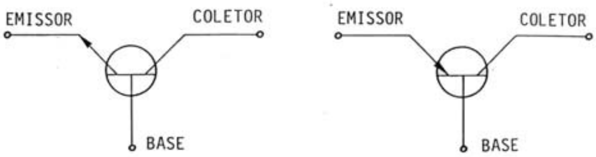


Figura 6-3 Símbolos dos transistores

Na representação simbólica do transistor, a seta identifica o emissor, que é o elemento que emite portadores. O elemento oposto ao emissor é chamado coletor,pois recebe os portadores enviados pelo emissor. O elemento intermediário é denominado base.

A base controla o fluxo de portadores entre o emissor e o coletor. A seta sempre aponta para o elemento negativo. Assim, se a seta apontar para o emissor, neste caso negativo, teremos um transistor NPN. Se a seta apontar para a base, o coletor e o emissor serão do tipo P, teremos então um transistor tipo PNP.

Polarização do transistor NPN

O transistor só irá funcionar corretamente se tiver uma polarização adequada.

Quando ligamos uma bateria na junção base-emissor, como mostra a figura 6-4, observamos que corresponde a uma polarização direta.

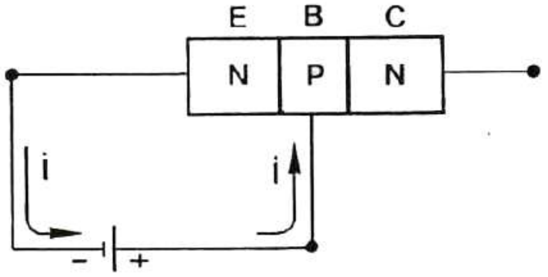


Figura 6-4 Transistor NPN em polarização direta

Dessa maneira fluirá então uma corrente através da baixa resistência da junção emissor-base.

Se aplicarmos tensão através da segunda junção, como mostrado na figura 6-5, fluirá uma corrente muito pequena através da resistência da junção base-coletor, pois a polarização é inversa.

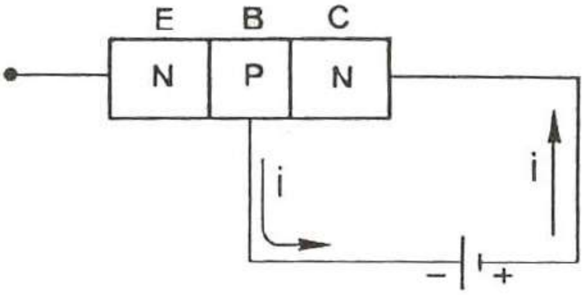


Figura 6-5 Transistor NPN em polarização inversa

Esta pequena corrente, que é causada pelos portadores minoritários, é chamada de corrente de fuga.

Consideramos até agora as duas junções polarizadas separadamente. A seguir veremos o comportamento do transistor quando nele aplicamos as duas tensões ao mesmo tempo.

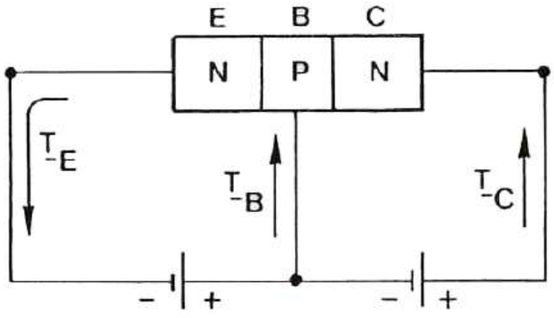


Figura 6-6 Transistor NPN polarizado

Analisando a figura 6-6, podemos ver que a corrente que passa pelo emissor (I_E) se divide em dois ramais uma que vai para o terminal da base (I_B) e outra que vai para o coletor (I_C), temos que: $I_E = I_B + I_C$.

Apesar da polarização inversa entre base e coletor, o valor da corrente do coletor é muito superior ao da corrente que fluía quando o transistor era polarizado isoladamente. Nesta situação I_C é aproximadamente 98% de I_E, com isso podemos concluir que a quantidade de corrente I_C depende da polarização direta entre base e emissor. Este fenômeno pode ser entendido analisando-se a figura 6-7.

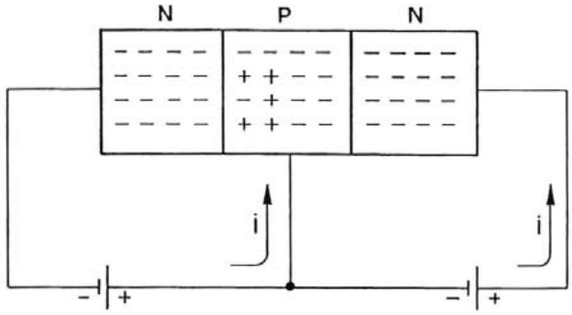


Figura 6-7 Portadores em movimento no transistor NPN

Os elétrons na região do emissor são repelidos pelo potencial negativo da fonte em direção à base, passando com facilidade pela junção base-emissor, pois a mesma está polarizada diretamente apresentando assim uma baixa resistência.

Alguns elétrons se recombinam com as lacunas existentes na base, formando a corrente de base.

Como o número de lacunas na base é inferior ao número de elétrons que nela penetram, e também devido ao fato da base ter dimensões muito reduzidas, a maioria dos elétrons atinge a junção base-coletor.

Esses elétrons que estão sendo atraídos pelo potencial positivo do coletor ultrapassam a junção base-coletor, chegando ao terminal positivo da fonte.

Este movimento de elétrons nos elementos do transistor constituem as correntes elétricas através do mesmo.

Polarização de um transistor PNP

A análise da polarização do transistor PNP é análoga ao do NPN, entretanto, para que a junção emissor-base seja polarizada diretamente e a junção base-coletor inversamente, é necessário mudar as polaridades das fontes, com relação às usadas no transistor NPN.

Estas polaridades estão apresentadas na figura 6-8.

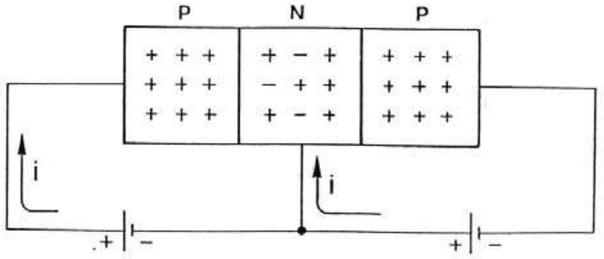


Figura 6-8 Portadores no transistor PNP

As lacunas da região do emissor, que são repelidas pelo potencial positivo da fonte em direção à base, ultrapassam a junção emissor-base com facilidade, pois a mesma está polarizada diretamente e sua resistência é baixa. Novamente algumas destas lacunas se recombinam com os elétrons existentes na base, constituindo a corrente da base I_B.

Devido ao baixo número de elétrons existentes na base, a maioria das lacunas que nela penetram alcançam a junção base-coletor. Estas lacunas que estão sendo atraídas pelo potencial negativo do coletor ultrapassam a junção base-coletor, chegando ao terminal negativo da fonte.

Portanto enquanto o potencial positivo retira elétrons do emissor, o potencial negativo fornece elétrons ao coletor.

GANHOS E AMPLIFICAÇÃO DO TRANSISTOR

Cada uma das junções de um transistor apresenta uma queda de tensão, que é denominada conforme a junção. Temos então:

V_{BE} ou V_{EB} = tensão entre base e emissor

V_{BC} ou V_{CB} = tensão entre base e coletor

V_{CE} ou V_{EC} = tensão entre coletor e emissor

A maioria deles é V_{CE}. Podemos dizer que V_{CE} é a soma das outras duas, ou seja: $V_{CE} = V_{BE} + V_{BC}$. Podemos também medir a tensão de um elemento qualquer do transistor em relação à terra. Neste caso temos então:

V_B = tensão entre base e terra

V_E = tensão entre emissor e terra

V_C = tensão entre coletor e terra

Estes termos são aplicados à qualquer tipo de transistor em qualquer configuração.

Tipos de configuração

O transistor pode ser ligado em um circuito de três formas distintas: base comum, emissor comum ou coletor comum. O nome da configuração é referenciado ao elemento do transistor que é comum aos circuitos de entrada e de saída. A figura 6-9 mostra um transistor NPN nas três configurações, respectivamente: base comum, emissor comum e coletor comum.

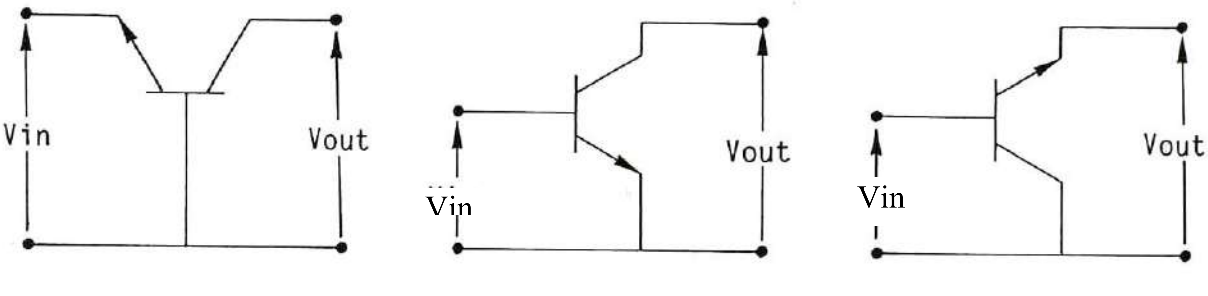


Figura 6-9 Transistores nas configurações B_C, E_C e C_C

Cada configuração apresente vantagens e desvantagens que irão determinar a sua aplicação.

Ganhos do transistor

Como a principal função do transistor é amplificar sinais o mesmo deve apresentar um "ganho" de tensão e de corrente, ou seja, a tensão ou corrente de saída deve ser maior que a tensão ou corrente de entrada.

Normalmente o maior interesse é saber os ganhos referentes à corrente alternada, mas iniciaremos com exemplos do ganho com corrente contínua.

Consideremos o transistor na configuração mostrada na figura 6-10.

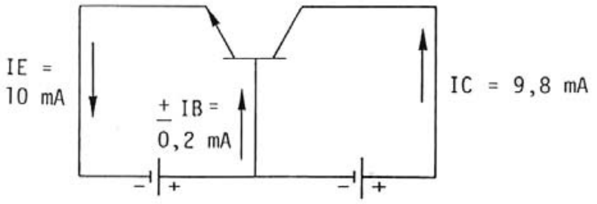


Figura 6-10 Transistor na configuração base comum

Com os valores atribuídos para IE e IC temos:

$$\text{Ganho de corrente} = \frac{\textit{Corrente de saída}}{\textit{Corrente de entrada}} =$$

$$= \frac{IC}{IE}$$

$$\text{Ganho de corrente} = \text{Gi} = \frac{9{,}8}{10} = 0{,}98$$

Neste caso, o circuito não apresenta ganho de corrente, ou seja há perda de corrente no circuito porque a corrente de saída é menor que a corrente de entrada.

O ganho de tensão é a relação entre a tensão de saída Vo e a tensão de entrada Vi ou seja:

$$\text{Gv} = \frac{Vo}{Vi}$$

Vo é o produto da corrente de saída (Ic) e a resistência de saída (Ro).

A Ro, que é a junção base-coletor polarizada inversamente, é de valor elevado.

A Vi é o produto da corrente de entrada (I_E) e a resistência de entrada (Ri).

A Ri que é a junção base-emissor polarizada diretamente é de valor baixo.

Para o mesmo circuito de figura 6-10 suponhamos Ro = 10 K e Ri = 30 Ω. Temos então que:

$$\text{Vi} = I_E \bullet \text{Ri} = 10\text{ mA} \bullet 30\,\Omega = 0{,}3\text{ V}$$

$$\text{Vo} = \text{Ic} \bullet \text{Ro} = 9{,}8\text{ mA} \bullet 10\text{ K} = 98\text{ V}$$

$$\text{Gv} = \frac{Vo}{Vi} = \frac{98}{0{,}3} \cong 327$$

O ganho de potência Gp é a relação entre a potência de saída (Po) e a potência de entrada (Pi). A Po é o produto da tensão Vo e a corrente Ic. A Pi é o produto da tensão Vi e a corrente I_E.

Com os dados obtidos no exemplo anterior podemos calcular o ganho de potência Gp:

$$\text{Gp} = \frac{Po}{Pi} = \frac{Vo \bullet Ic}{Vi \bullet I_E} = \frac{98\ x\ 9{,}8mA}{0{,}3\ x\ 10mA} =$$

$$= \frac{960{,}4}{3} = 320{,}2$$

Como podemos ver, apesar de não termos obtido ganho de corrente, os ganhos de tensão e de potência foram altos.

Esses ganhos são provocados pela passagem de corrente de uma junção de baixa resistência (base-emissor) para outra de alta resistência (base-coletor).

Concluímos também que se soubermos os valores de dois ganhos de um determinado transistor, o outro ganho pode ser calculado de forma simples e direta.

Uma vez que Gp = Gv • Gi como consequência teremos:

$$\text{Gi} = \frac{Gp}{Gv}\ e\ Gv = \frac{Gp}{Gi}$$

Como os ganhos podem ser estáticos (referentes a corrente contínua) e dinâmicos (referentes a corrente alternada), usa-se a letra maiúscula para diferencia-los.

Os ganhos estáticos são identificados pela letra "G" e os dinâmicos pela letra "A".

Os ganhos de corrente também podem ser representados por uma letra grega que também serve para identificar a configuração do transdutor. A letra "α" (alfa) é usada na configuração base comum, a letra "β" (beta) é usada em emissor comum e a letra "γ" (gama) é usada em coletor comum.

AMPLIFICADOR EM CONFIGURAÇÃO EMISSOR COMUM

No circuito do amplificador na configuração emissor comum o sinal de entrada é aplicado entre o emissor e a base e o sinal de saída é retirado entre o coletor e o emissor, ou seja o emissor é o elemento comum à entrada e à saída do circuito.

A figura 6-11 mostra o amplificador na configuração emissor comum.

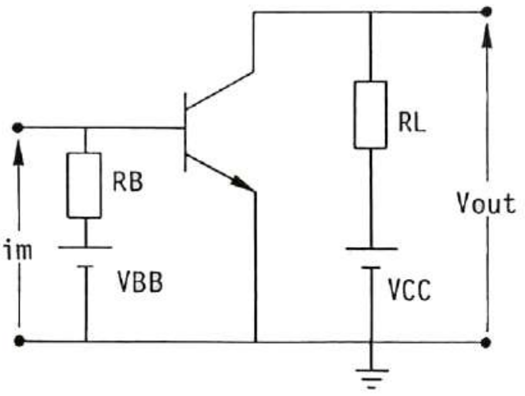


Figura 6-11 Ampliador em configuração emissor comum

Analisando o circuito, vemos que a junção base-emissor está polarizada diretamente e a junção base-coletor, inversamente.

Devido a esta polarização, o circuito de entrada apresenta uma baixa resistência e o circuito de saída uma alta resistência. A resistência de base R_B tem por finalidade limitar a corrente no circuito de base-emissor no valor desejado.

O resistor no circuito do coletor serve para obter variações de V_{CE} com as variações de Ic, desenvolvendo no circuito de saída uma variação de V_{CE} dependente da variação da tensão do sinal de entrada.

Descrição do funcionamento

O circuito da figura 6-12 refere-se a um ampliador em emissor comum, com transistor PNP.

O coletor é alimentado pela tensão Vcc, através de R_L e, através de R_B, V_{BB} polariza diretamente a junção base-emissor.

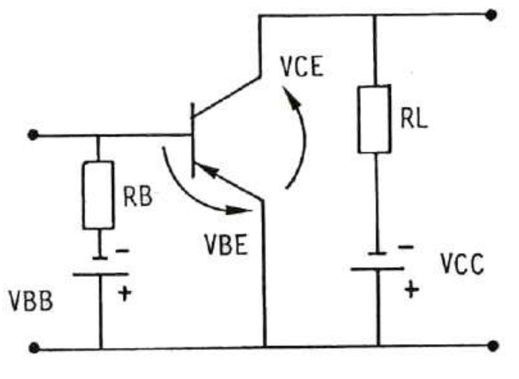


Figura 6-12 Transistor PNP, em configuração emissor comum

O valor da corrente direta base-emissor (I_B), depende dos valores de R_B e da própria tensão da fonte V_{BB}.

O valor da corrente I_C depende praticamente do valor da corrente I_B.

Geralmente o circuito é polarizado para termos uma corrente média de base, em consequência a corrente do coletor também será média.

Essas correntes médias se estabelecem no circuito tensões V_{BE} e V_{CE} constantes como mostrado na figura 6-13.

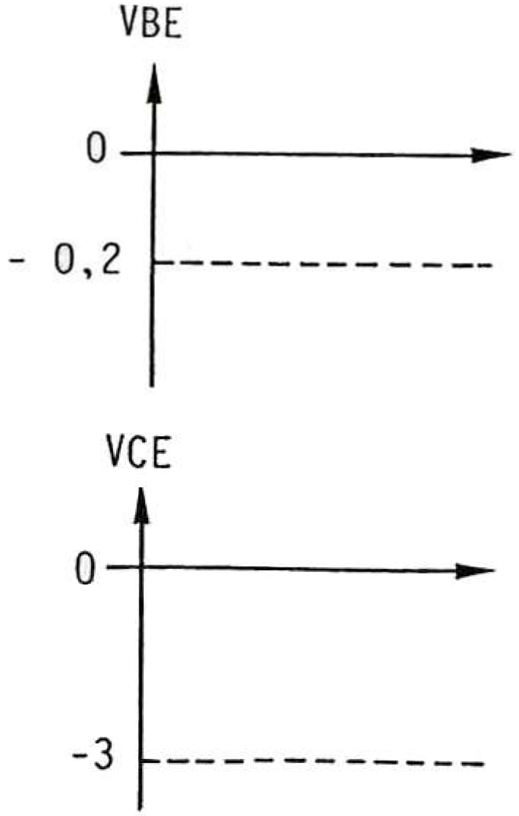


Figura 6-13 Tensões V_{BE} e V_{CE} no transistor PNP em configuração E_C

Se a corrente de base aumentar ou diminuir a corrente do coletor, as tensões V_{RL} e V_{CE} também sofrerão variações proporcionais à estas.

Estas variações nas correntes e tensões do circuito podem ser causadas por um sinal senoidal aplicado à entrada do mesmo.

Faremos a seguir um estudo do comportamento do circuito emissor comum, com um sinal senoidal aplicado entre a base e o emissor.

A figura 6-14 mostra um ampliador emissor comum com transistor PNP e os respectivos gráficos dos sinais de entrada e de saída.

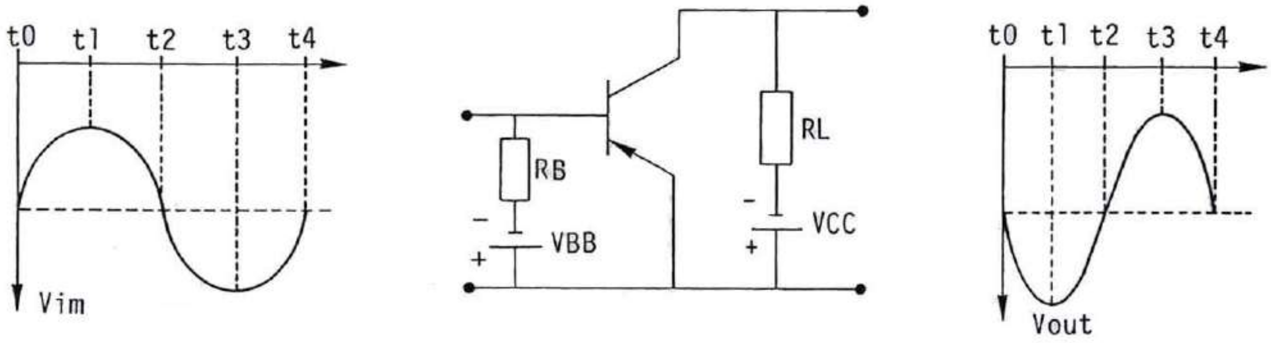


Figura 6-14 Amplificador emissor comum com sinais de entrada e de saída

Admitamos que no instante inicial o sinal senoidal aplicado ao circuito de base aumente de zero a um máximo positivo, como aparece na figura 6-14, no período de t0 a t1.

Como o circuito utiliza um transistor PNP, o sinal positivo crescente, aplicado na base, diminui a polarização direta base-emissor (V_{BE}), diminuindo a corrente de base (I_B). A diminuição de I_B provoca a diminuição de I_C e da queda de tensão em R_L. Com a diminuição da tensão em R_L, há um aumento da tensão negativa entre o coletor e o emissor (V_{CE}) como mostra o gráfico de saída na figura 6-14.

Quando a tensão de entrada do circuito diminuir do máximo positivo para zero, isto é, entre os tempos t1 e t2, a polarização direta aumenta proporcionalmente, aumentando I_B e consequentemente I_C. Com o aumento de I_C, a queda de tensão em R_L também aumenta. Com o aumento da tensão em R_L, a V_{CE} diminui como mostrado no gráfico da tensão de saída na figura 6-14 entre os tempos t1 e t2.

A variação da tensão de entrada entre os tempos t2 e t3 continuará a aumentar a polarização direta, diminuindo mais a V_{CE}, como também pode ser visto no gráfico da tensão de saída na figura 6-14.

Entre os tempos t3 e t4, no gráfico do sinal de entrada, a tensão é negativa e está variando do máximo até zero. A tensão V_{CE} tende a aumentar negativamente, devido a diminuição de V_{BE}, que por sua vez tende a diminuir a I_B e a I_C. Com isso a queda da tensão em RL também diminui.

Observando os gráficos de entrada e de saída na figura 6-14, na configuração emissor comum vemos que entre eles existe uma defasagem de 180°. O funcionamento desse ampliador, tal como o de base comum, é caracterizado pela variação da corrente no circuito de base-emissor que produz uma variação de corrente e tensão no circuito coletor. Estas variações, plotadas em gráficos, representam as curvas características de entrada e de saída de um transistor. Normalmente estas e também outras curvas características são fornecidas pelo fabricante do componente.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DO AMPLIFICADOR EM EMISSOR COMUM

Curva característica de entrada

Como vimos, a curva característica de entrada de um transistor em configuração emissor comum é traçada em função das variações da V_{BE} e I_B, com determinada V_{CE} de valor constante.

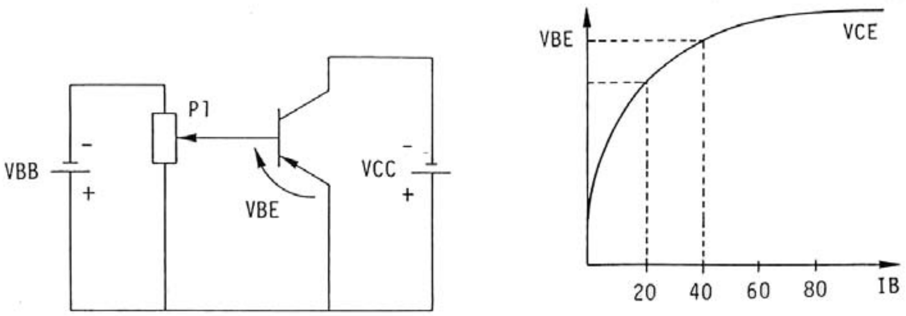


Figura 6-15 Circuito e curva característica de entrada do emissor comum

Observando o circuito da figura 6-15 vemos que as variações de I_B e V_{BE} podem ser conseguidas através da atuação de um potenciômetro conectado à base do transistor.

Com a variação do cursor do potenciômetro P1, haverá variação da V_{BE} e de I_B. Variando-se a I_B a partir de 0 µA, passo-a-passo, observam-se as variações de V_{BE} correspondentes.

Com os dados obtidos, plota-se um gráfico semelhante ao da figura 6-15. Através dos gráficos das curvas de entrada do amplificador, podemos obter dados para o cálculo da polarização de base, da resistência de base etc.

A resistência de entrada pode ser obtida em função de uma dada variação de I_B e de sua correspondente variação de V_{BE} da seguinte maneira:

$$\text{Ri} = \frac{\Delta VBE}{\Delta IB}$$

No amplificador em configuração emissor comum o valor da Ri é geralmente baixo, porém maior que o valor da Ri do circuito em base comum.

O resistor de base R_B no circuito da figura 6-15 tem a função de limitar a corrente de base em um determinado valor. O cálculo de R_B pode ser feito da seguinte forma:

$$\text{RB} = \frac{VBB - VBE}{IB}$$

Curva característica de saída

As características de saída do amplificador em emissor comum, com relação a tensões e correntes são obtidas com um circuito semelhante ao da figura 6-16.

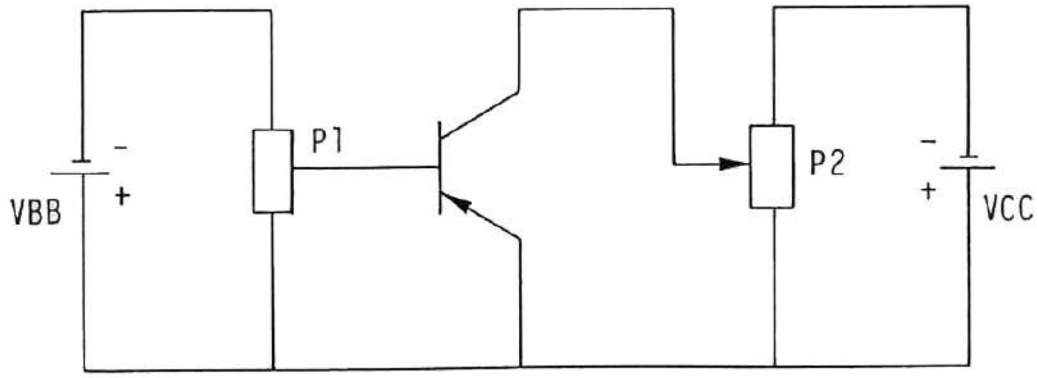


Figura 6-16 Circuito para levantamento da curva característica de saída do amplificador em emissor comum

Com o valor de I_B ajustado e mantido constante, varia-se a tensão V_{CE} passo-a-passo, anotando-se as variações de I_C.

Com os dados obtidos das variações de I_C para cada variação da V_{CE}, pode-se traçar a curva de saída para a I_B usada.

Por exemplo, podemos apresentar uma curva com I_B igual a zero e em seguida com I_B = 20 µA.

Com a IB ajustada para zero, aumenta-se a V_{CE} de zero até 10 V, anotando-se as variações de I_C em cada lance de variação da V_{CE}, que pode ser de 1 em 1 Volt.

Plotando-se em um gráfico as variações de V_{CE} e I_C com I_B igual a zero e interligando os pontos marcados, teremos uma curva semelhante à da figura 6-17.

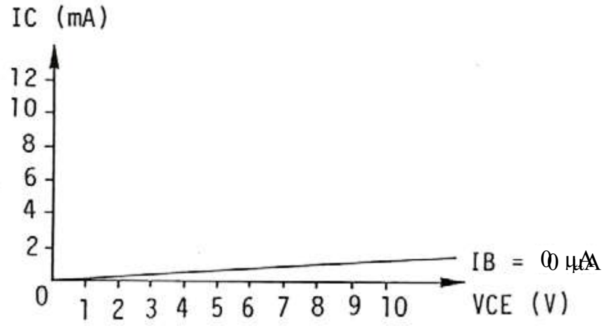


Figura 6-17 Variações de V_{CE} e I_C com I_B igual a zero

Em seguida, ajustando-se a I_B para 20 µA, varia-se novamente a tensão VCE de zero a 10 V anotando-se as correspondentes variações de IC.

Com os dados obtidos plota-se no gráfico a curva característica correspondente às variações de I_C e V_{CE} com I_B igual a 20 µA. Essa curva é mostrada na figura 6-18.

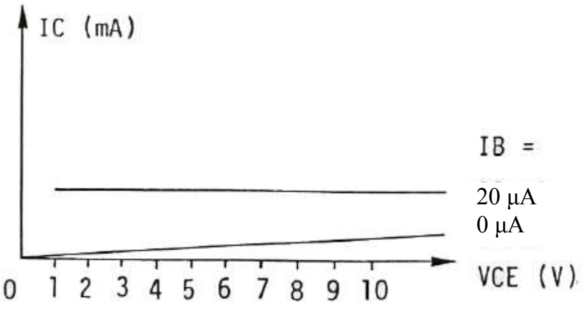


Figura 6-18 Variações de V_{CE} e I_C com I_B igual a 20 µA

GANHOS DO TRANSISTOR EM EMISSOR COMUM

Ganho de corrente

O ganho de corrente de um amplificador é a relação entre a corrente de entrada e a corrente de saída, ou seja, entre I_B e I_C. Como a corrente I_C é bem maior que a corrente I_B, o transistor terá um alto ganho de corrente na configuração emissor comum. Para designar o ganho de corrente usa-se a letra grega “beta”β”e o mesmo é determinado pela fórmula:

$$\beta = \frac{\Delta\, IC}{\Delta\, IB}\ \text{, com } V_{CE} \text{ constante.}$$

Os valores de I_B e I_C podem ser encontrados no gráfico de curvas características do transistor, como mostra a figura 6-19.

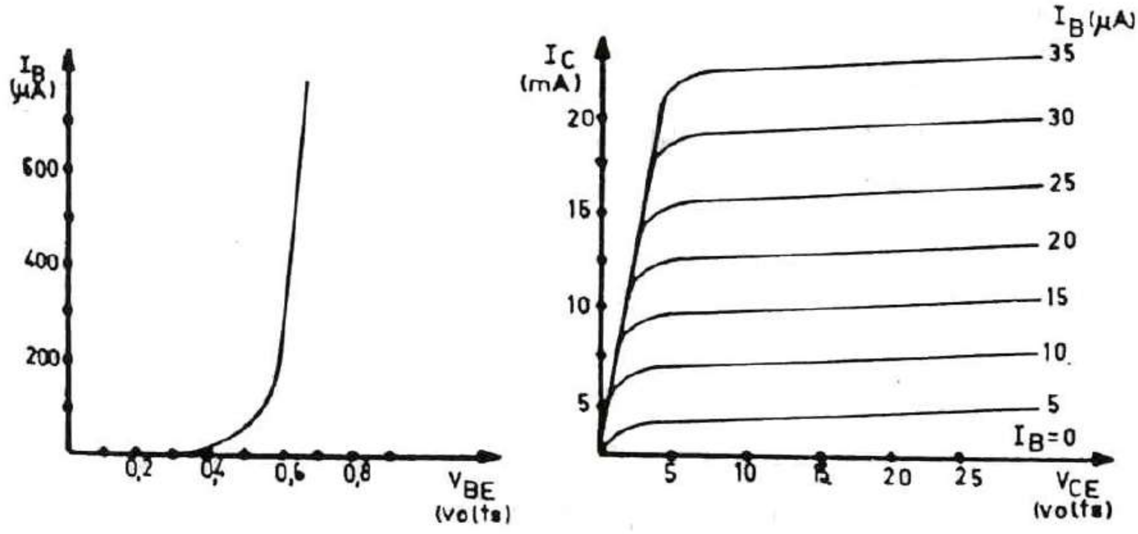


Figura 6-19 Curvas características de ganho de corrente do transistor

Para encontrarmos os dados em curvas para o cálculo de corrente, traça-se primeiro uma perpendicular ao eixo V_{CE}, por exemplo, 10 V, como na figura 6-19. A seguir verifica-se a variação de I_C para uma determinada variação de IB.

Na figura 6-19, vemos que uma variação de 20 a 25 µA na I_B irá produzir na I_C uma variação de 12,5 mA. Neste caso, o ganho de corrente será:

$$\beta = \frac{\Delta\, IC}{\Delta\, IB} = \frac{15-12{,}5\,mA}{25-20\,\mu A} = 500$$

Ganho de tensão

Um transistor na configuração emissor comum apresenta um alto grau de tensão. O ganho de tensão, analogamente ao ganho de corrente, é a relação entre a tensão de saída e a tensão de entrada, ou seja:

$$\text{Gv} = \frac{Vo}{Vi}$$

Para calcular o ganho de tensão podemos usar ainda a seguinte expressão:

$$Gv = \beta \bullet \frac{Ro}{Ri}$$

Onde $\frac{Ro}{Ri}$ é chamado de ganho de resistência, pois consiste da relação entre a resistência de saída e a resistência de entrada.

Ganho de potência

Geralmente, o ganho de potência nos circuitos em configuração emissor comum é muito alto.

O ganho de potência é o produto do ganho de corrente (β) pelo ganho de tensão (Gv)

$$GP = \beta \times Gv$$

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS E DINÂMICAS DE UM AMPLIFICADOR EM EMISSOR COMUM

O ponto de operação de um transmissor é também denominado por ponto de trabalho ou ponto quiescente.

Quando em operação sobre o transistor são aplicadas tensões e correntes de modo a se estabelecer uma polarização e fixarmos para o mesmo um ponto de operação.

O ponto quiescente é designado pela letra “Q”.

Reta de carga

A linha ou reta de carga é a reta que interliga, no gráfico de curva de saída, o ponto de máxima I_C ao de máxima V_{CE}, para um determinado circuito ampliador.

O ponto de máxima I_C está relacionado com a condição de saturação do transistor, que é quando as junções coletor e emissor estão diretamente polarizadas e o transistor é considerado um circuito aberto.

Em resumo, a reta de carga traçada no gráfico de curvas de saída nos mostra as condições de funcionamento dinâmico do circuito, entre os limites máximos e mínimos de I_C e V_{CE}.

A figura 6-20 mostra a curva característica de saída com a reta de carga para o circuito em emissor comum.

Considerando o gráfico da figura 6-20, adotaremos para V_{CC} o valor de 6 V e para a máxima I_C o valor de 12 mA.

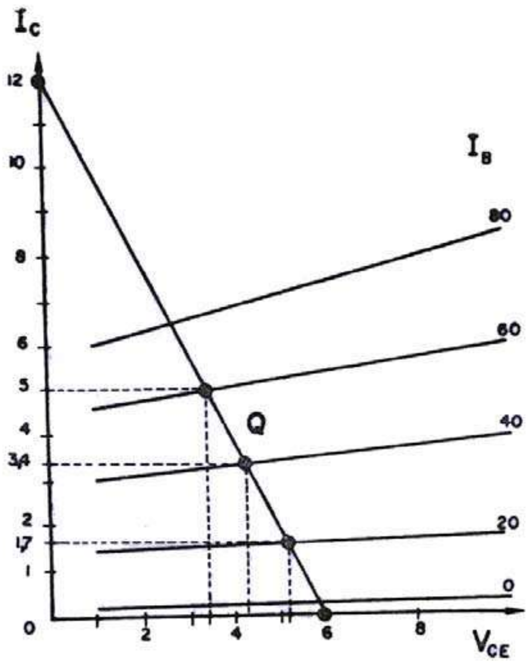


Figura 6-20 Curva característica com reta de carga para o amplificador na configuração emissor comum

Temos então a reta de carga traçada entre esses dois extremos. Se o I_C máximo é de 12 mA e a V_{CC} é 6 V, o valor da resistência de carga R_L pode ser calculado pela lei de Ohm:

$$RL = \frac{VCC}{IC\ máxima} = \frac{6V}{12mA} = 500\Omega$$

Ainda observando o gráfico da figura 6-20, partindo do cruzamento das curvas de I_B com a reta de carga, vemos que com 20 µA de I_B, a I_C será aproximadamente 1,8 mA e a V_{CE} de 5,5 V.

Como a corrente de saída de um amplificador depende da corrente de entrada, devemos escolher qual corrente desejável para o circuito de base.

No caso escolheremos uma I_B de 40 µA. Marcaremos no gráfico de saída, como ponto Q o cruzamento da reta de carga com a curva de 40 µA de I_B. Escolhida a I_B podemos encontrar o valor da VBE no gráfico da curva de entrada que é aproximadamente 0,16 V.

Com esses dados o valor da resistência de base (R_B) pode ser encontrado pela fórmula dada a seguir:

$$RB = \frac{VBB - VBE}{IB} = \frac{1 - 0{,}16V}{4\mu A} = 21K\Omega$$

Análise do circuito emissor comum polarizado

O circuito da figura 6-21 mostra um transistor PNP, tipo 2N408. Como polarização o fabricante sugere os seguintes valores:

$R_B = 21\ K\Omega$

$V_{BB} = 1\ V$

$V_{CC} = 6\ V$

Quando o circuito for ligado, o resistor R_B limitará a corrente de base em 40 µA. Essa IB determinará uma I_C de aproximadamente 3,5 mA, como poderá ser visto no gráfico da figura 6-20, pela projeção do ponto "Q", perpendicularmente ao eixo de I_C.

Sendo IC ≈ 3,5 mA, passando através de R_L, a qual podemos considerar 500 Ω, determinará uma queda de tensão que pode ser calculada pela fórmula abaixo:

$$E_{RL} = R_L \times I_C = 500 \times 0{,}0035 = 1{,}8\ V$$

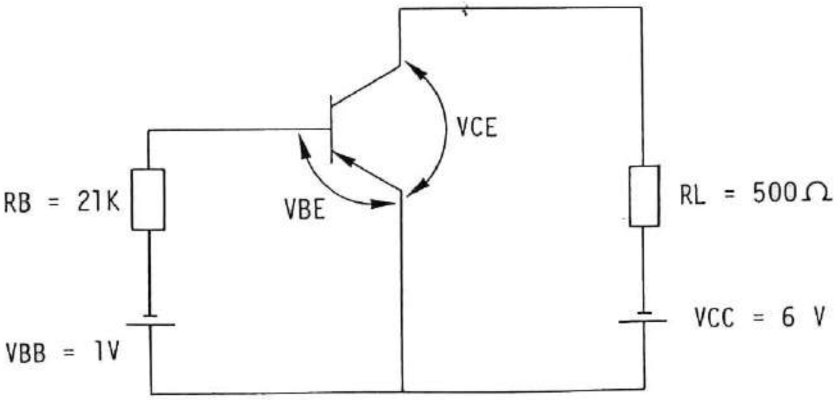


Figura 6-21 Amplificador em emissor comum com transistor PNP

Se a queda de tensão em R_L é de 1,71, a tensão V_{CE} será igual a:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_L = 6 - 1{,}8 = 4{,}2\ V$$

Um circuito polarizado com esses valores encontrados tende a permanecer estaticamente nesta situação. Qualquer desequilíbrio de corrente no circuito de base tende a alterar as condições de I_C e V_{CE}, no circuito de saída.

Aplicando-se um sinal senoidal de 0,04 V_{PQ} na entrada desse circuito, todas as correntes e tensões estáticas do circuito tendem a variar na mesma relação senoidal.

Estas variações podem ser traçadas no gráfico de curvas de entrada e no de saída conforme mostra a figura 6-22.

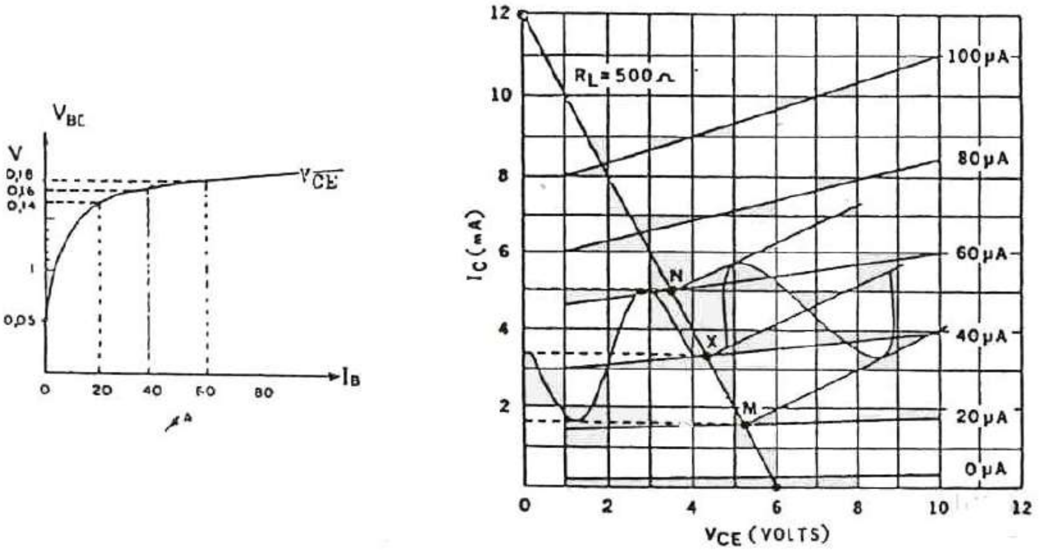


Figura 6-22 Curvas de entrada e de saída em emissor comum

A figura 6-22 mostra o gráfico das variações de I_B em função das variações da V_{BB}, produzidas pelo sinal de 0,04 pp aplicado à base do transistor.

Através dessas curvas podemos obter dados para calcular os ganhos dinâmicos que se referem a uma condição de funcionamento do circuito.

O ganho dinâmico de um amplificador depende das características do mesmo. Existem amplificadores para ganho de tensão e outros para ganho de corrente.

GANHOS DINÂMICOS DO CIRCUITO EMISSOR COMUM

Ganho de corrente

No gráfico da figura 6-22 vemos que uma variação de I_B de 20 μA a 60 μA sobre a linha de carga produz uma variação de I_C de 1,7 a 5 mA. O ganho de corrente do amplificador será aproximadamente igual a 82.

$$Ai = \frac{\Delta\, IC}{\Delta\, IB} = \frac{5-1{,}7}{60-20} = \frac{0{,}0033}{0{,}00004} \cong 82$$

Ganho de tensão

Para o circuito em estudo o ganho de tensão pode ser encontrado através dos gráficos de entrada e de saída do circuito.

No gráfico da figura 6-22 vemos que uma variação de V_{BE} de 0,14 a 0,18 V(ou seja 0,04 V) produzirá uma variação de I_B de 40 a 60 μA. Esta variação de I_B produz na V_{CE} uma variação de 3,5 a 5,3 V.

O ganho de tensão será, portanto:

$$AV = \frac{\Delta\, VCE}{\Delta\, VBE} = \frac{5{,}3-3{,}5}{0{,}18-0{,}14} = \frac{1{,}8}{0{,}04} = 45$$

Ganho de potência

A potência de entrada para o circuito da figura 6-21 é dada por:

$$Pin = \Delta\ V_{BE}\ x\ \Delta\ I_B$$

Como $\Delta\ V_{BE} = 0{,}04$ V

$$Pin = 0{,}04\ \ x\ \ 0{,}00004\ =\ 1{,}6\ x\ 10^{-6}\ W$$

A potência de saída conforme os dados obtidos nos gráficos de saída do amplificador em função do sinal de 0,04 Vpp, será:

$$Pout = \Delta\ V_{CE}\ x\ \Delta\ I_C\ =\ 1{,}8\ x\ 0{,}0033\ =$$

$$=0{,}0059\ W = 59\ x\ 10^{-4}\ W$$

Com isso o ganho de potência do circuito será:

$$Ap = \frac{Pout}{Pin} = \frac{59x10^{-4}\,W}{1{,}6x10^{-6}\,W} = 3687$$

O amplificador em configuração emissor comum, como verificamos, oferece ampliação alta em relação ao de base comum.

Esta ampliação varia conforme o valor da RL.

Com R_L de valor alto o ganho de corrente é baixo e o de tensão é alto. Com R_L de valor baixo o ganho de corrente é alto e o de tensão é baixo.

A figura 6-23 mostra os gráficos de ganhos de corrente e tensão, em função do valor de R_L.

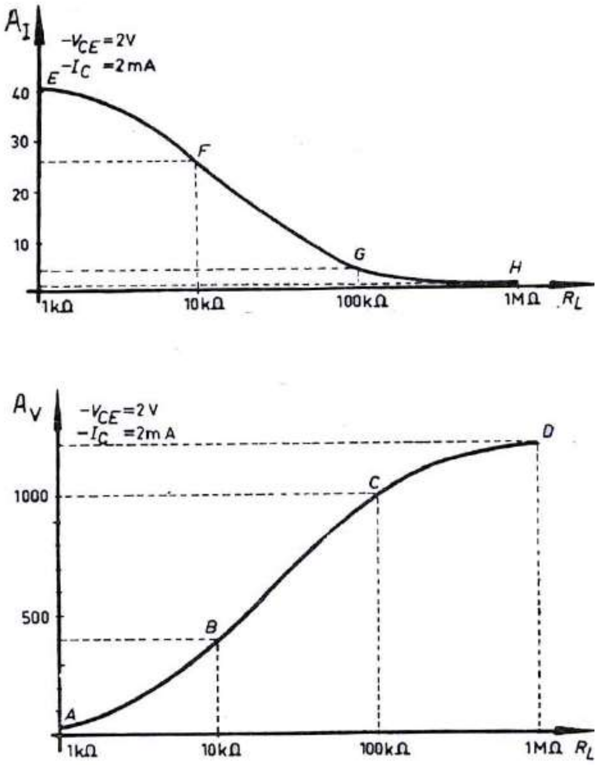


Figura 6-23 Ganhos de corrente e tensão em função da resistência de carga

AMPLIFICADOR EM CONFIGURAÇÃO COLETOR COMUM

No amplificador em configuração coletor comum, o circuito de entrada de sinal é entre a base e o coletor, e o circuito de saída é entre o emissor e o coletor. O coletor é comum aos circuitos de entrada e de saída.

Na figura 6-24 A vemos um circuito coletor comum com um transistor PNP e na figura 6-24 B o mesmo circuito com transistor NPN.

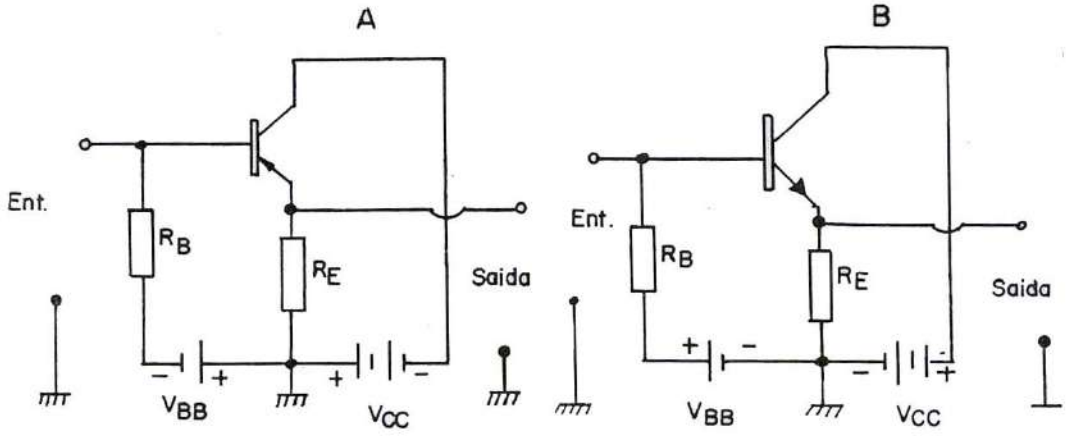


Figura 6-24 Configuração coletor comum

O transistor em configuração coletor comum é polarizado, como as outras configurações, diretamente entre base e emissor e inversamente entre base e coletor.

Nos circuitos da figura 6-24 a polarização direta de base para emissor é feita por V_{BB}, enquanto que V_{CC} polariza inversamente o circuito base-coletor.

R_B limita a I_B ao valor desejado e R_E, no circuito de emissor, é a resistência de carga. A finalidade desta resistência é permitir que se desenvolva, na saída, uma variação de tensão que depende da variação de tensão que depende do sinal de entrada. Como neste tipo de circuito a tensão de saída é retirada do emissor, ele é também denominado seguidor de emissor.

Funcionamento do amplificador em coletor comum

Na figura 6-25 está esquematizado um circuito amplificador em emissor comum, com transistor PNP, no qual vemos que a fonte de tensão V_{CC} alimenta o coletor e o emissor através de R_E e, V_{BB} alimenta a junção base-emissor através de R_B.

Supondo que o circuito esteja polarizado para uma corrente de base média, a corrente de emissor também será média.

Estas correntes médias estabelecem, no circuito, tensões de base e de emissor constantes, conforme pode ser visto nos gráficos A e B da figura 6-25.

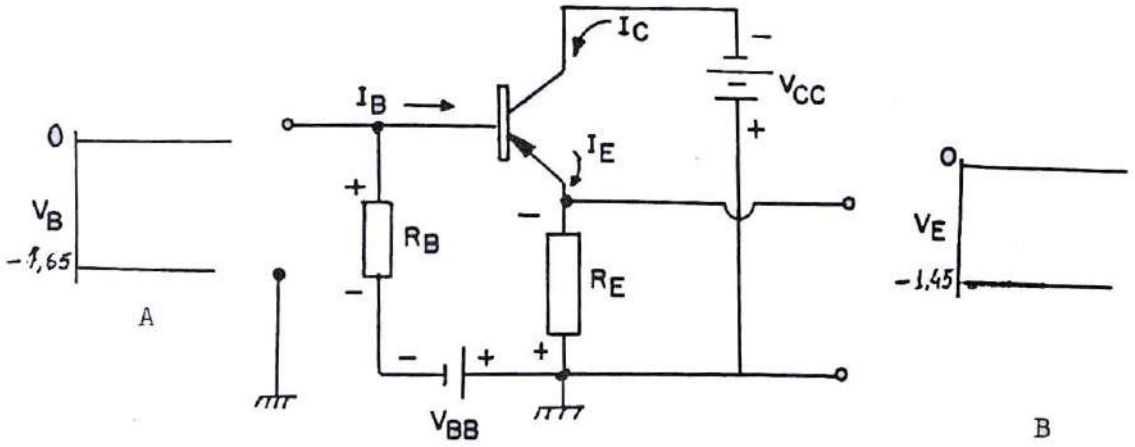


Figura 6-25 Amplificador em configuração coletor comum

Se V_B variar em função de uma tensão senoidal, a I_B sofrerá variação, variando também a I_E que provocará a variação da tensão em R_E. A tensão em R_E pode ser denominada de V_E (tensão de emissor).

Através do circuito da figura 6-26, estudaremos o comportamento do amplificador em coletor comum, com sinal senoidal aplicado à base. O gráfico "A" representa a tensão do sinal de entrada, dividida em tempos, e o gráfico "B" representa o sinal de saída também dividido em tempos.

Suponhamos inicialmente que o sinal aplicado à base aumente de zero ao máximo positivo, como de t0 a t1, no gráfico "A" da figura 6-26. Sendo o transistor PNP este sinal positivo crescente diminui a polarização direta (V_{BE}), diminuindo a I_B. A diminuição da I_B produz a diminuição da I_E e da tensão em R_E, como mostra o gráfico "B" da figura 6-26 entre os tempos t0 e t1. Com a diminuição da tensão do máximo positivo para zero, como aparece no gráfico "A" entre os tempos t1 e t2, a polarização direta na base aumente proporcionalmente, aumentando a I_B. Com o aumento da I_B há também um aumento da I_E e da queda de tensão em R_E, com um conseqüente aumento relativo de V_E, como pode ser visto no gráfico "B" da figura 6-26, entre os tempos t1 e t2.

A variação da tensão de entrada, entre os tempos t2 e t3, continuará a aumentar a polarização direta (V_{BE}), aumentando mais a I_C, com conseqüente aumento de VE.

Entre os tempos t3 e t4 da tensão de entrada, a polarização direta diminui, diminuindo a I_B, a I_C e a V_E, como mostrado no gráfico "B" entre os tempos t3 e t4.

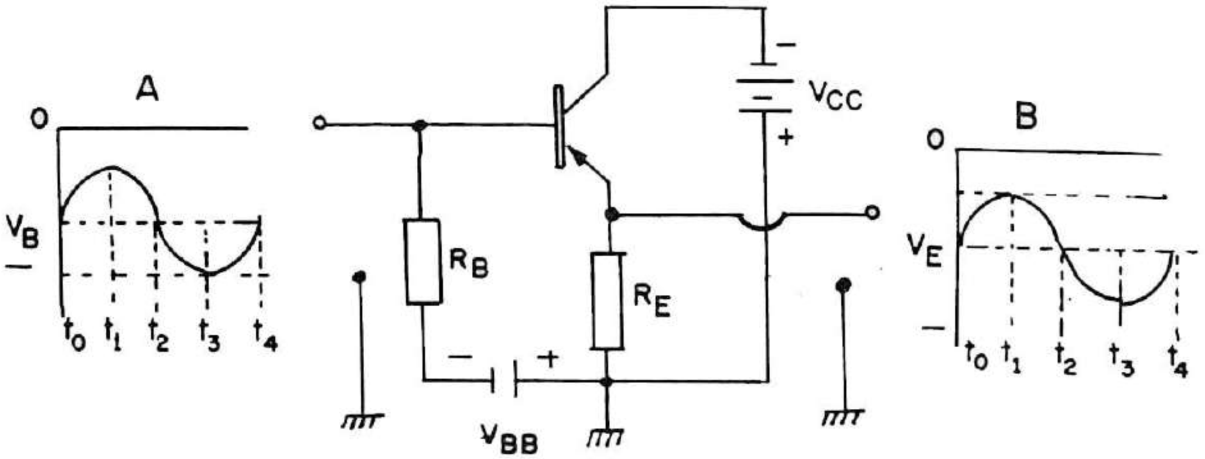


Figura 6-26 Amplificador em configuração coletor comum com sinal aplicado à entrada

Através dos gráficos A e B, verificamos que neste tipo de circuito os sinais de entrada e de saída estão em fase.

Como vimos, o funcionamento do amplificador em configuração coletor comum, está ligado às variações de tensão e corrente do emissor, produzidas pelas variações de corrente na base. Estas variações de tensões e correntes são plotadas em gráficos como nas outras configurações. Estes gráficos representam as características do transistor nesta configuração.

Características do amplificador em coletor comum

Estudaremos neste tipo de montagem do transistor, os ganhos relativos à tensão, corrente, potência e resistência.

Ganho de tensão

O ganho de tensão do amplificador em configuração coletor comum é definido como sendo a relação entre as variações de tensão de saída, que aparece em R_E, e a de entrada (aplicada na base).

Neste tipo de configuração, o valor numérico do ganho de tensão depende do valor de R_E e nunca é maior que a unidade.

Isto acontece porque, conforme vemos no circuito da figura 6-26, o sinal é aplicado na base em série com R_E.

As variações de tensão em R_E produzem uma forte realimentação negativa que tende a diminuir a polarização direta base-emissor.

Ganho de corrente

Nas curvas características de saída do circuito em configuração coletor comum, que aparece na figura 6-28, vemos que a corrente de saída é a I_E e a de entrada é a I_B. Sabendo-se que o ganho de corrente é a relação entre as correntes de saída e de entrada, concluímos que, neste circuito, há um alto ganho de corrente, o qual poderá ser calculado pela fórmula:

$$Ai = \frac{\Delta\ IE}{\Delta\ IB}$$

Ganho de potência

Embora o ganho de tensão desta configuração seja muito baixo, o elevado ganho de corrente determina um ganho de potência considerado alto. O ganho de potência pode ser determinado, multiplicando-se o ganho de corrente pelo ganho de tensão.

Ganho de resistência

Sendo o ganho de resistência a relação entre a resistência de saída e a de entrada, faz-se necessário conhecer estes dois valores para a determinação do ganho de resistência.

1) Resistência de entrada: a resistência de entrada do circuito em coletor comum é normalmente muito alta, por causa da realimentação negativa do circuito. Também devemos considerar o circuito de entrada base-coletor, que é polarizado inversamente.

2) Resistência de saída: a resistência de saída deste tipo de circuito é normalmente pequena e depende quase que exclusivamente do valor de R_E. Podemos concluir que este tipo de configuração também não apresenta ganho de resistência.

As características principais do circuito em coletor comum são: ganho de tensão menor que a unidade, alto ganho de corrente, alto ganho de potência, alta resistência de entrada e baixa resistência de saída.

Na figura 6-27 vemos dois gráficos que mostram os ganhos de tensão e corrente, conforme o valor de R_E.

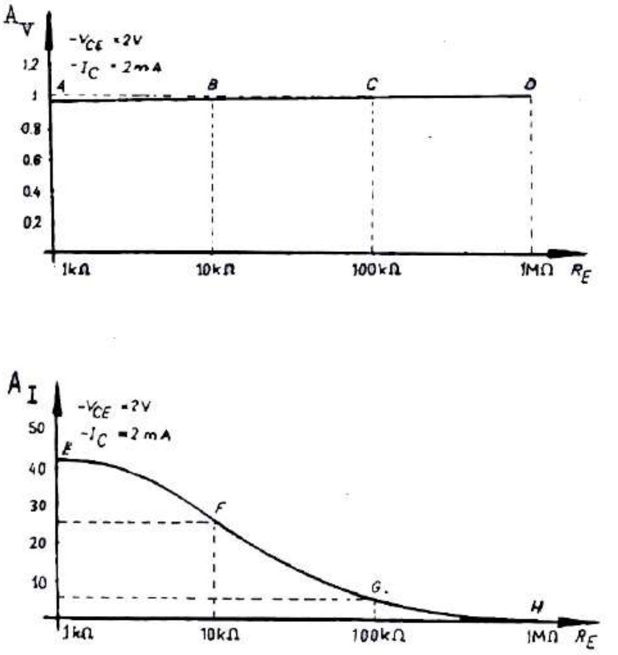


Figura 6-27 Ganhos de tensão e corrente em função da resistência de carga

LINHA DE CARGA NO CIRCUITO COLETOR COMUM

O gráfico apresentado na figura 6-28 representa a característica de saída do transistor 2N408 em coletor comum. Vemos nele que a corrente de saída é a I_E e a tensão de saída é a V_{CE}. No circuito, vemos que o valor da tensão V_{CC} é de 6 V e R_L é de 500 Ω.

A linha de carga liga os pontos de máxima V_{CE}, neste caso 6 V, e máxima I_E, que neste exemplo é de 12 mA. Devemos lembrar que a máxima I_E é a condição do circuito com o transistor saturado ou em curto e a máxima V_{CE} é a condição do circuito com o transistor considerado em circuito aberto.

Para o estudo das características deste circuito, ele foi polarizado estaticamente conforme aparece no gráfico da figura 6-28.

Neste gráfico vemos que a I_B estática é de 40 μA. Considerando o valor da tensão V_{BE} em 0,2 V com 40 μA de I_B, o valor de R_B poderá ser calculado.

Observamos no gráfico que, com I_B de 40 μA, a I_E é, aproximadamente 2,9 mA. Esta corrente passando por R_L, cujo valor é de 500 Ω determinará uma queda de tensão de 1,45 V (500 Ω x 2,9 mA = 1,45 V).

Conforme vemos no circuito, o sentido da corrente no resistor R_E faz com que o emissor fique com uma tensão negativa de 1,45 V.

Como o valor de V_{BE} é de 0,2 V, para que a junção base-emissor fique polarizada diretamente, a tensão de base deverá ser de –1,65 V, visto que o emissor está com uma tensão negativa de 1,45 V.

Se a tensão de base deve ser de –1,65 V, podemos retirar esta tensão de V_{CC}, intercalando um resistor (R_B) em série, como limitador da tensão restante, ou seja, 4,35 V.

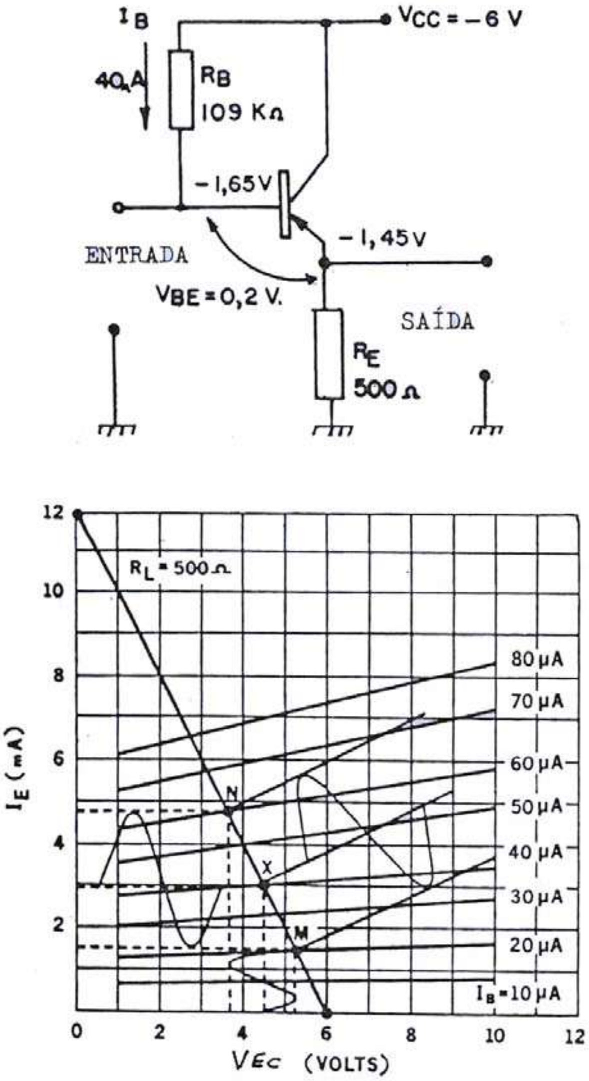
Sabendo-se que a corrente que deverá circular por R_B é a I_B de 40 µA, o seu valor (R_B) pode ser calculado da seguinte forma:

$$RB = \frac{VCC - VB}{IB} = \frac{6 - 1{,}65}{40} = \frac{4{,}35}{4x10^{-5}} \cong 109\,K\Omega$$

O comportamento dinâmico deste circuito com transistor PNP pode ser agora analisado. Notamos que a sua condição estática com relação a correntes e tensões é vista nas curvas características, ou medidas, se o circuito fosse montado experimentalmente, conforme os valores de tensão V_{CC}, R_E e R_B, que o constituem.

Nas curvas, vemos que com I_B de 40 µA a I_E será de 2,9 mA e a V_{CE} de 4,55 V. Nesta situação, a V_E será igual a –1,45 V ($V_{CC} – V_{CE} = V_E$).

Se um sinal com tensão senoidal for aplicado no circuito de base, a I_B variará, variando a I_E. A variação da I_E produzirá variação na V_E. Estas variações de I_B, I_E e V_{CE} podem ser vistas no gráfico da figura 6-28.



IB
VCC = –6 V
40µA
RB
109 KΩ
–1,65V
–1,45V
ENTRADA
VBE = 0,2 V.
SAÍDA
RE
500 Ω
RL = 500 Ω
IE (mA)
12
10
8
6
4
2
0
2
4
6
8
10
12
VEC (VOLTS)
80 µA
70 µA
60 µA
50 µA
40 µA
30 µA
20 µA
IB = 10 µA
N
X
M

Figura 6-28 Circuito e curva característica de saída da configuração coletor comum

CAPÍTULO 7

ESTABILIZAÇÃO DA POLARIZAÇÃO DE TRANSISTORES

INTRODUÇÃO

Ao lançar um transistor no comércio, o fabricante fornece todas as informações sobre ele e as inclui em seus manuais para facilitar o trabalho dos técnicos e projetistas de circuitos.

Uma das principais informações fornecidas é a família de curvas características de saída do transistor. De posse dela, entre outras coisas, podemos traçar a linha de carga e a curva de máxima dissipação de potência. A primeira nos possibilita a escolha do ponto "Q" (ponto quiescente) ou POE (ponto de operação estática) e a segunda nos assegura se o transistor está trabalhando dentro de seus limites.

Aparentemente, para que um transistor não se danifique durante seu funcionamento, baste que ele trabalhe dentro dos limites de dissipação de potência. Entretanto, existem outros aspectos a serem considerados, tais como: corrente, tensão e temperatura.

Portanto, antes de entrarmos no traçado da curva de máxima dissipação de potência, faremos considerações sobre essas limitações.

LIMITAÇÕES DOS TRANSISTORES BIPOLARES

Como qualquer componente eletrônico, o transistor em funcionamento normal, não deve ultrapassar os valores limites de tensão, corrente, potência, temperatura e frequência, fornecidos pelo fabricante, sob pena de desempenho não satisfatório, diminuição do tempo de vida ou mesmo destruição do componente.

Limitações de correntes

O fabricante especifica a corrente de coletor (máxima absoluta) que pode fluir no transistor, embora esta definição não seja muito clara, uma vez que na realidade, desde que a potência dissipada não ultrapasse o valor também especificado por ele, a corrente do coletor pode ser aumentada até um ponto que não destrua o material do transistor. Entretanto, mesmo sem exceder a potência especificada, a corrente pode ser suficientemente alta a ponto de destruir os fios de conexão dos dispositivos, embora a corrente necessária para tal, seja bem maior que a especificada como corrente máxima absoluta.

Embora o β dependa do transistor, ele pode sofrer variações de acordo com o valor de I_C. Assim, para valores muito elevados de corrente, o β diminui. A figura 7-1 nos mostra três curvas para alguns tipos de transistores.

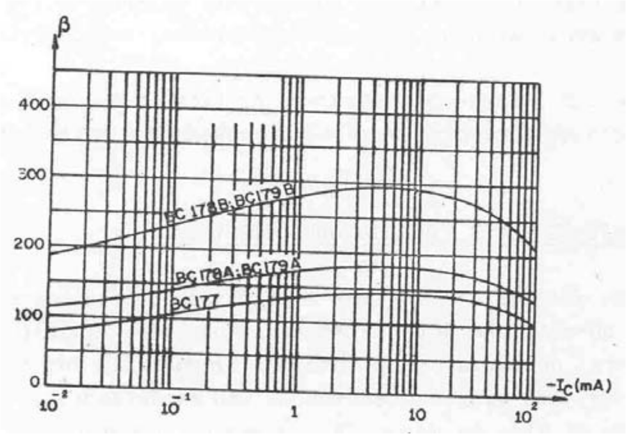


Figura 7-1 Ganho em função da I_C para vários transistores

Na figura 7-2, são apresentadas as curvas características de saída e é delimitada a faixa possível de operação, em termos de corrente do coletor. Nesta figura estamos considerando apenas a limitação de corrente do coletor.

Ainda com relação às especificações de correntes, o fabricante fornece, às vezes, os valores limites das correntes de base e de emissor.

Limitações de tensões

Como limitação de tensão, geralmente o fabricante fornece os valores máximos das tensões entre os três terminais, ou seja, os valores máximos de V_{BE}, V_{BC} e V_{CE}, quando as junções são polarizadas inversamente.

Sabemos que, no funcionamento normal do transistor, a junção base-emissor é polarizada diretamente, mas o fabricante costuma dar a tensão máxima inversa, caso ela venha a ser polarizada inversamente, fato que ocorre, quando o transistor é usado como chave.

Quanto à junção base-coletor, ela normalmente é polarizada no sentido inverso, havendo portanto, necessidade de fornecer os valores máximos inversos de V_{BC} e V_{CE}.

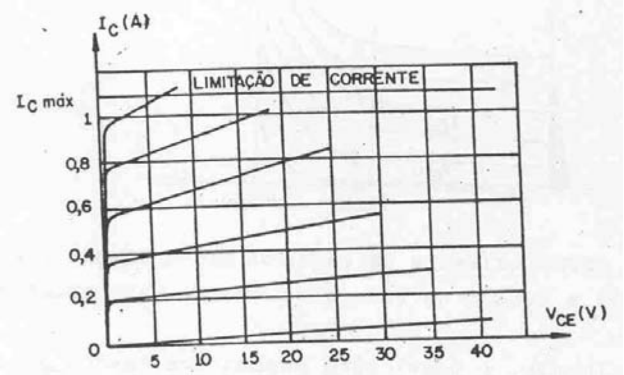


Figura 7-2 Delimitação da região de funcionamento de um transistor em função da máxima I_C

Lembramos que $V_{CE} = V_{BC} + V_{BE}$. Portanto, dados os valores de V_{BE} e V_{CE}, V_{BC} estará praticamente definida, pois basta verificar a diferença entre os valores dados para se obter V_{BC}.

Por exemplo, se um transistor de silício está funcionando em um circuito com V_{BE} = 0,6V e V_{CE} = 10V, forçosamente a tensão inversa presente na junção base-coletor será:

$$V_{BC} = V_{CE} - V_{BE} = 10 - 0{,}6 = 9{,}4V$$

Os limites dessas tensões são fixados, por causa do efeito de ruptura que ocorre quando se aumenta a tensão inversa de uma junção.

Por exemplo, se a tensão inversa entre base e coletor for aumentando, com IE = 0, será atingida a tensão de ruptura (tensão Zener) e haverá um brusco aumento na corrente de coletor. Isto acontece também quando a corrente de emissor é diferente de zero.

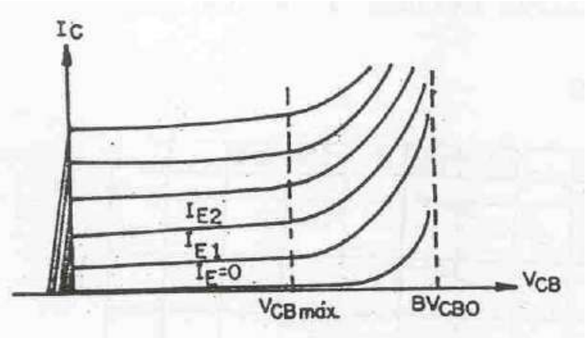


Figura 7-3 Curvas características de saída da configuração base comum, destacando a tensão de ruptura da junção base-coletor.

A figura 7-3 mostra a ocorrência do fato com diversos valores de corrente de emissor. Esta figura mostra também que o fabricante fornece a BV_{BCO} , que é a tensão de ruptura entre o coletor e a base. A letra "B" significa ruptura (Breakdown em inglês) e a letra "O" significa que o emissor está aberto (Open).

Geralmente, o fabricante especifica também a tensão máxima permissível entre o coletor e o emissor, com a base aberta. Esta especificação é dada em termos de BV_{CEO}, tensão inversa de ruptura entre o coletor e o emissor. O conjunto de curvas representativas deste fenômeno é ilustrado na figura 7-4.

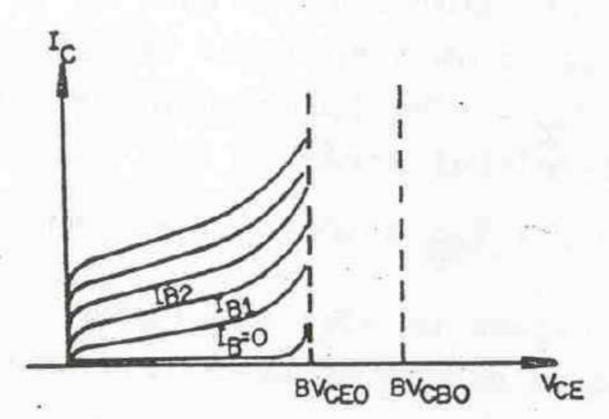


Figura 7-4 Curvas características de saída da configuração emissor comum, destacando a tensão de ruptura da junção emissor-coletor

Limitações de potência

Além das limitações de corrente e tensão a limitação de potência é das mais importantes para os transistores, bem como para todos os dispositivos semicondutores e até mesmo para todos os componentes elétricos.

No funcionamento do transistor, o calor é gerado na junção base-coletor, onde quase toda a tensão externa é aplicada.

Por exemplo, num circuito em emissor comum, a potência gerada no transistor é dada aproximadamente por I_C x V_{CE} .

Essa limitação de potência, ou seja, a máxima potência que o transistor pode dissipar com segurança, depende da temperatura máxima permissível para a junção base-emissor (especificada pelo fabricante), da máxima temperatura ambiente de operação do circuito (avaliada pelo projetista) e dos meios utilizados para dissipar o calor produzido na junção base-emissor.

O fabricante especifica a potência máxima para o transistor, considerando o seu funcionamento à temperatura de 25º C.

CURVA DE MÁXIMA DISSIPAÇÃO DE POTÊNCIA

O traçado dessa curva é feito sobre as curvas características de saída do transistor. Para facilitar a compreensão, serão omitidos os valores da corrente de entrada.

Sendo a potência dissipada no transistor igual ao produto de I_C pela V_{CE}, temos:

$P = I_C \times V_{CE}$

Se fixarmos a potência máxima que o transistor pode dissipar, em uma determinada temperatura, e considerarmos I_C e V_{CE} como variáveis, teremos:

$P_{máx} = I_C \times V_{CE}$

De posse do valor de $P_{máx}$ podemos atribuir valores a V_{CE}, encontrar os valores correspondentes de IC e determinar os vários pontos da curva, que possibilitarão o seu traçado.

Por exemplo, se um transistor pode dissipar no máximo 1W a 25º C, podemos determinar que ele opere com uma V_{CE} de 4 V, e assim determinarmos a sua I_C.

$$I_C = \frac{P_{máx}}{V_{CE}} = \frac{1W}{4V} = 0,25\,A$$

Com o valor suposto de V_{CE} e o valor de I_C encontrado, determinamos o ponto "X", que será um dos pontos da curva, ilustrada na figura 7-5. Se montarmos uma tabela e atribuirmos valores a V_{CE}, encontraremos os valores correspondentes de I_C que, combinados com os valores de tensão, determinarão os pontos A, B, C, D, E, F e G, no gráfico da figura 7-5.

P em W	1	1	1	1	1	1	1
V_{CE} em V	1	2	3	5	6	8	10
I_C em mA	1000	500	333	200	166	125	100

Tabela para determinar I_C em função de V_{CE} com "P" constante

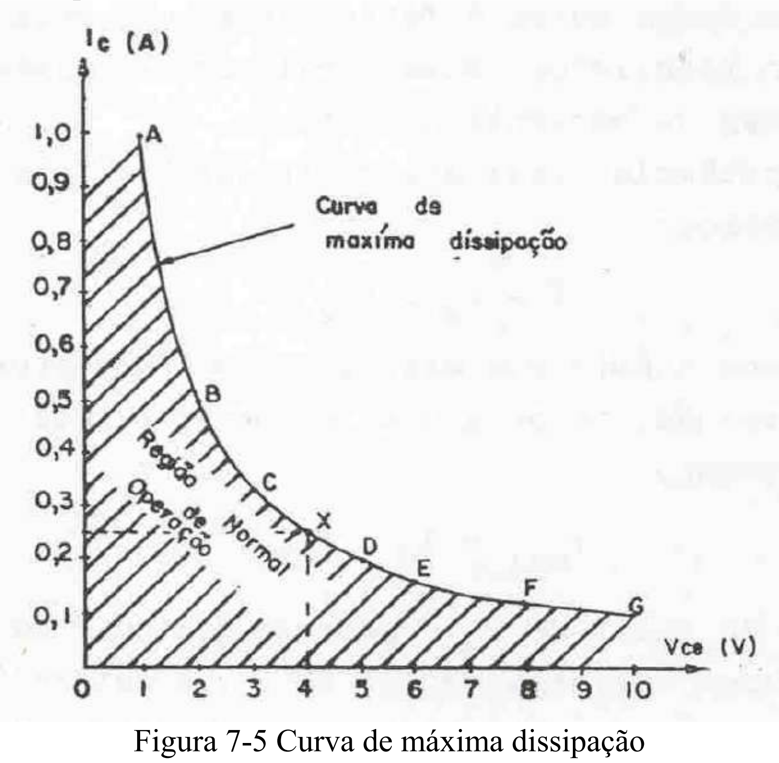


Figura 7-5 Curva de máxima dissipação

A curva é obtida, interligando-se os pontos encontrados na tabela. Esta curva é também chamada de curva de potência constante.

Quanto mais alta for a temperatura de trabalho do transistor, menor será a sua região de operação. A figura 7-6 mostra como a variação de temperatura afeta a região de operação do transistor. Em alguns casos, em que o transistor precisa operar com altas correntes (da ordem de Ampères), são usados sistemas de refrigeração para reduzir a temperatura e ampliar a região de operação.

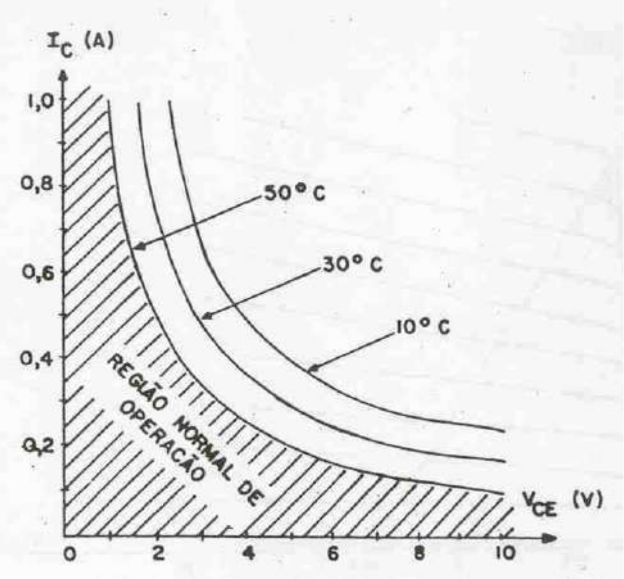


Figura 7-6 Efeito da variação de temperatura sobre a região de operação do transistor

Linha de carga

A linha de carga (ou reta de carga) é a linha que cruza a família de curvas de saída. Essa linha possibilita aos técnicos e projetistas, a escolha do ponto “Q”, que determina os valores de tensão e corrente que polarizam o transistor.

Em qualquer das três configurações ela é traçada, levando-se em conta a curva de máxima dissipação de potência.

Duas situações de funcionamento do transistor determinam as extremidades da linha de carga de um amplificador: corte e saturação. Para encontrar o extremo inferior da reta (ponto “A” no gráfico da figura 7-6), supomos o transistor em corte ($I_C = 0$).

Nesse caso V_{CE} é igual à tensão da fonte de alimentação.

O extremo superior (ponto’B”) é encontrado, supondo-se o transistor em saturação.

Nessa situação ele apresenta resistência nula em sua junção coletor-emissor, determinando uma V_{CE} igual a zero volt, ficando a corrente de coletor limitada apenas pelo resistor de carga (R_L).

Pelo que já vimos até aqui, fica evidente que a reta de carga é determinada por dois valores: tensão de alimentação e valor de R_L .

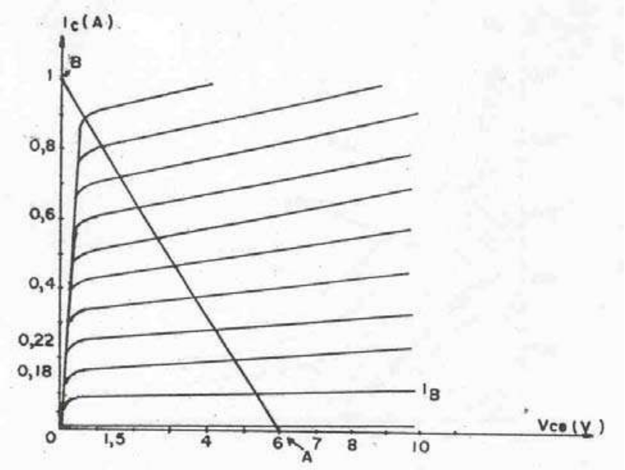


Figura 7-7 Traçado da reta de carga

Na escolha da tensão de alimentação e do valor de R_L, devemos observar a máxima dissipação de potência especificada. Para maior segurança, não devemos permitir que a reta toque a curva de máxima dissipação, pois se o circuito de polarização não contar com uma boa estabilidade, qualquer aumento na temperatura ambiente poderá fazer com que a potência, dissipada pelo transistor utilizado, ultrapasse a especificada pelo fabricante, levando o transistor à sua danificação permanente.

Na figura 7-8 temos a curva de saída com três linhas de carga, referentes a um amplificador na configuração emissor comum, onde podemos selecionar diferentes valores de R_L e de V_{CC}.

Quando queremos que o circuito opere como amplificador de potência, escolhemos valores que determinem uma reta de carga mais inclinada, como a de R_{L1} , aproveitando toda a potência que o transistor pode oferecer. Nesse caso o circuito deve contar com uma ótima estabilização de polarização que, geralmente, exige o emprego de diodos termistores.

É bom observar que na especificação da potência máxima de um transistor, feita pelo fabricante, é deixada uma pequena margem de segurança com a qual o técnico e o projetista não devem contar.

Observando ainda a figura 7-8, é fácil concluir que com a mesma V_{CC} (6 V) podemos determinar a reta de carga que mais interessar, variando apenas a R_L, a exemplo das retas correspondentes à R_{L2} e R_{L3}.

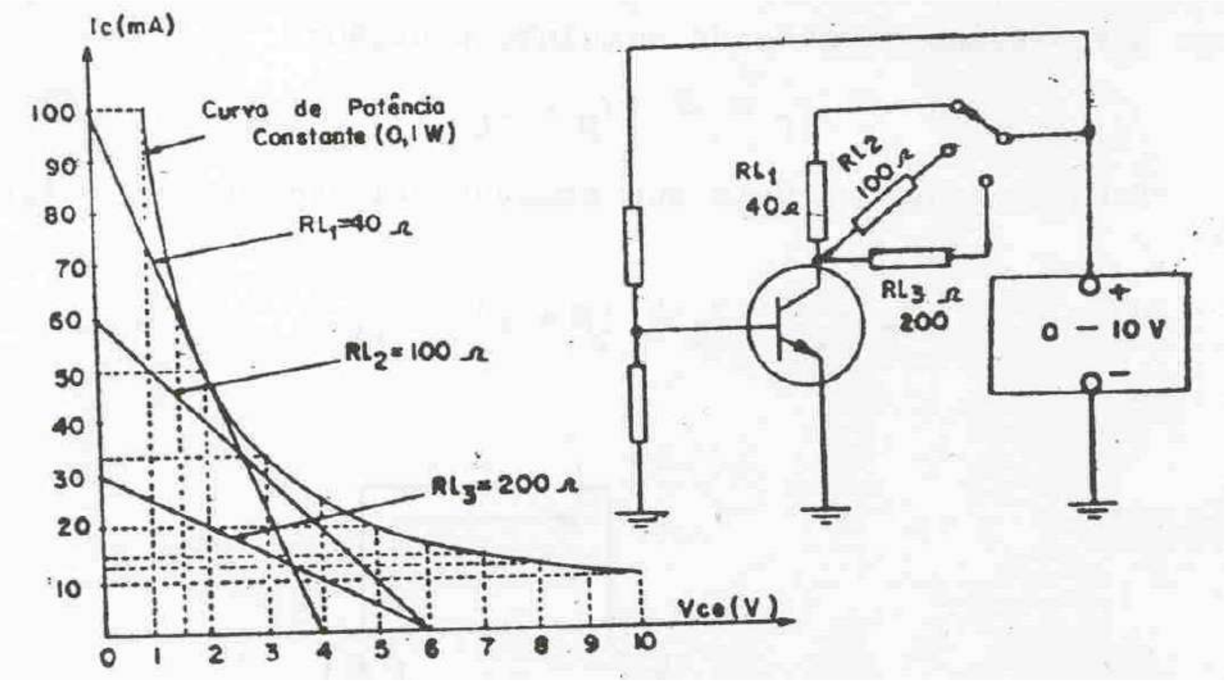


Figura 7-8 Traçado da reta de carga em função de R_L e V_{CC}

INSTABILIDADE TÉRMICA DOS TRANSISTORES

Já é de nosso conhecimento que os transistores são instáveis à variação de temperatura. Esse fenômeno é devido às características intrínsecas do material básico, usado na sua confecção.

Por causa dessas características, quando polarizado, o transistor apresenta uma pequena corrente indesejável, chamada de corrente inversa, corrente de fuga ou ainda I_{CBO}. Esta I_{CBO} é a corrente que flui entre o coletor e a base, estando o emissor em circuito aberto, conforme aparece na figura 7-9.

Quando o transistor é polarizado como na figura 7-10, ao atingir o circuito de base a I_{CBO} sofre uma amplificação, conforme o fator beta do transistor. Esta amplificação da I_{CBO} dá origem à I_{CO}, que é definida como sendo a corrente inversa do transistor, no circuito coletor. O valor de I_{CO} pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$I_{CO} = (\beta + 1)\ I_{CBO}$$

Se o valor de I_{CBO} se mantiver a um nível pequeno, como o normal previsto para uma determinada temperatura, os problemas apresentados não serão prejudiciais ao circuito.

Porém, se a I_{CBO} sofrer um aumento, principalmente ocasionado pelo efeito térmico, o resultado será um aumento de I_C (corrente direta de coletor). Isto pode ser provado através da seguinte equação:

$$I_C = \beta \times I_B + I_{CO}$$

Substituindo I_{CO} pela sua equação correspondente, teremos:

$$I_C = \beta \times I_B + (\beta + 1)\ I_{CBO}$$

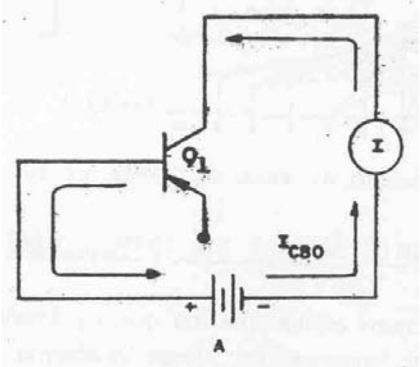


Figura 7-9 Corrente entre base e coletor, com emissor aberto

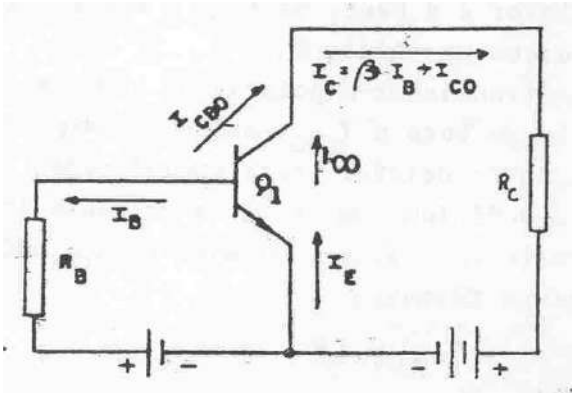


Figura 7-10 Correntes inversas no transistor polarizado

No caso da I_C aumentar em função do aumento da I_{CBO} , o ponto “Q” do circuito sofrerá um deslocamento ao longo da reta de carga.

A mudança do ponto “Q” pode ser cumulativa e pode destruir o transistor. As medidas utilizadas para contornar esta situação são os sistemas de polarização automática. É importante frisar que a I_{CO} flui no coletor, independente da corrente de base. Isto pode ser verificado na curva característica de saída do transistor, ilustrada na figura 7-11.

Nesta curva vemos que com I_B igual a zero flui uma pequena I_C.

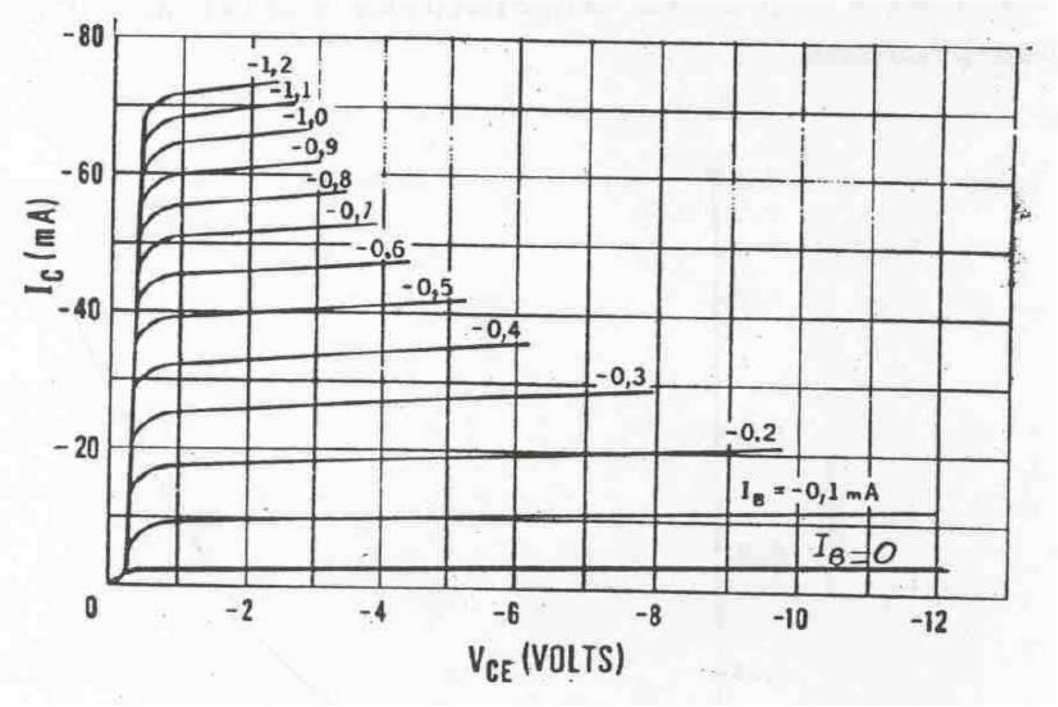


Figura 7-11 Curva característica de saída de um transistor em configuração emissor comum.

A ICO é normalmente especificada pelo fabricante e consta nas características do transistor. Seu valor é fornecido para determinadas temperaturas, geralmente 25^{o} C.

O aumento de temperatura nas junções de um transistor começa, normalmente, por um aumento na temperatura ambiente ou mesmo devido ao funcionamento normal do circuito, ainda que instantâneo. Neste caso, por causa do transiente que leva o transistor a dissipar maior potência.

Em qualquer situação, o circuito deve estar em condições de manter-se em bom funcionamento e, para isto, depende de como ele está polarizado e estabilizado.

Já é de nosso conhecimento que a polarização é estabelecida para um transistor pela especificação dos valores quiescentes da tensão entre coletor e emissor e da corrente de coletor. Uma operação confiável do transistor dentro de um grande intervalo de temperatura, requer que a tensão e a corrente de polarização permaneçam estáveis. Todavia, variações da corrente inversa em função da variação de temperatura, prejudicam a estabilidade da polarização se não forem empregados circuitos de compensação.

A figura 7-12 mostra a variação da I_{CBO} em função da variação de temperatura da junção base-coletor. O valor da corrente de fuga é de 1 mA a 125^{o} C. Em temperaturas abaixo de 10^{o} C a corrente não causa problema.

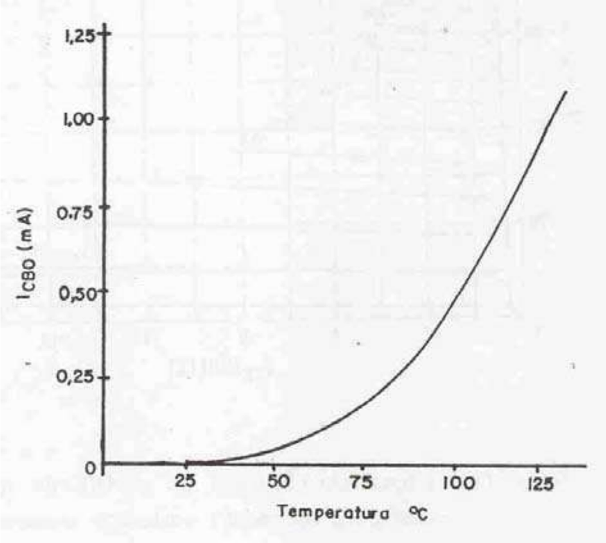


Figura 7-12 Variação de I_{CBO} em função da temperatura da junção base-coletor

Análise da polarização de um transistor

A polarização de um transistor, em princípio, seria bastante simples. Bastaria aplicar tensões contínuas aos elementos do transistor, de modo que as correntes permanecessem estáticas, em um nível médio e constante. Tomemos como exemplo o transistor 2N408, cujas características de saída aparecem no gráfico da figura 7-13.

Através deste gráfico verificamos as condições de trabalho do transistor. A linha de carga foi traçada entre os limites de 6V, para máxima V_{CE}, e 60 mA, para máxima I_C .

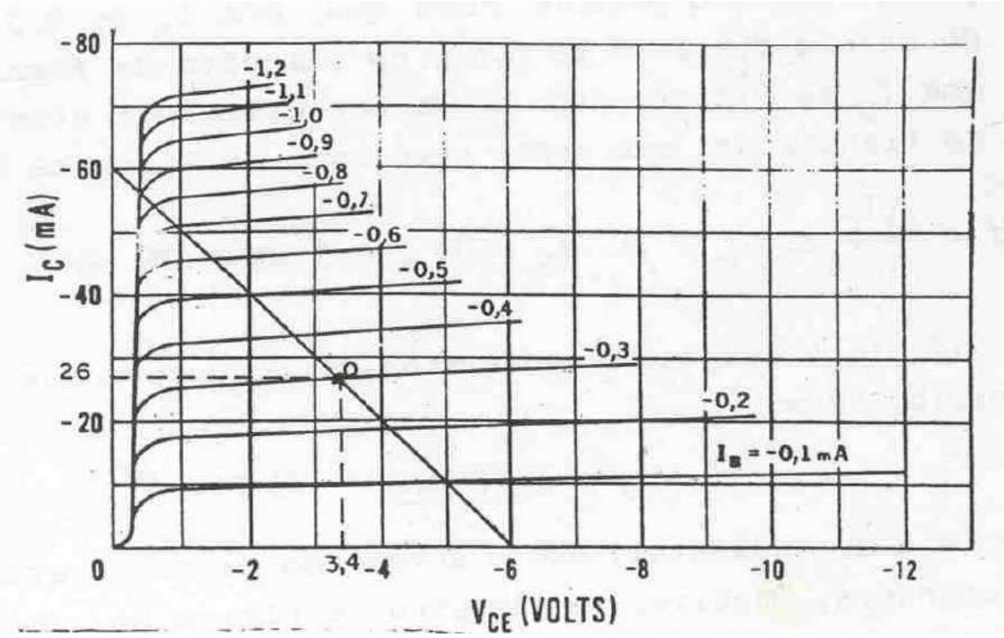


Figura 7-13 Curva característica de saída de um transistor em configuração emissor comum, com reta de carga e ponto "Q"

Na figura 7-14, o transistor utilizado é de germânio e a I_B escolhida foi de 0,3 mA. O valor de R_B foi determinado da seguinte forma:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{6V - 0{,}2V}{0{,}3mA} = \frac{5{,}8V}{0{,}3mA} = 19{,}3\,K\Omega$$

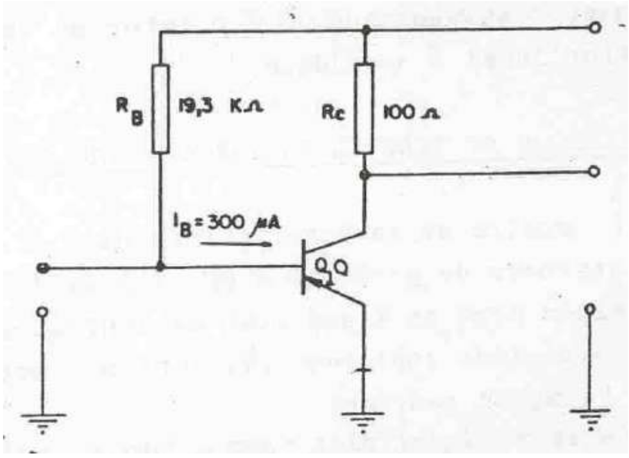


Figura 7-14 Transistor PNP polarizado

Pela análise do circuito e das curvas características de saída, podemos verificar os valores de tensão e corrente CC, estáticos, para o circuito. Com a projeção de perpendiculares, do ponto de cruzamento de I_B com a linha de carga, para os eixos de I_C e V_{CE}, verificamos que a I_C e a V_{CE} serão, respectivamente, 26 mA e 3,4V.

Nesta situação podemos dizer que, com I_B de 0,3 mA, a I_C será de 26 mA e a V_{CE} será de 3,4 V, no circuito da figura 7-14.

A I_C, para uma I_B de 0,3 mA, pode ainda ser calculada através do fator beta do transistor, que neste caso será em torno de 86.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \therefore I_C = \beta x I_B = 86x0{,}3m\text{A} \cong 26 \text{ mA}$$

Já vimos que I_C, considerando-se I_{CO}, pode ser formulada da seguinte forma:

$$I_C = \beta \text{ x } I_B - I_{CO}$$

Se a I_{CO} aumentar, com o acréscimo da temperatura, a I_C também aumentará.

Observe, no circuito da figura 7-10, que I_C e I_{CO} têm o mesmo sentido.

Logo, se a I_{CO} aumentar, por qualquer motivo, a Ic aumentará, mudando o ponto "Q" do circuito.

Fator de estabilidade

Para a análise da estabilidade da polarização estática de um circuito amplificador, é usada a seguinte equação:

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CO}}$$

Na equação apresentada, "S" é o fator de estabilidade de corrente e seu valor ideal é a unidade.

VALORES TÍPICOS DE TENSÕES DE JUNÇÃO PARA TRANSISTORES

A figura 7-15 mostra as características da I_C, como função da V_{BE}, para transistores de germânio e de silício tipo NPN, e indica as várias regiões para um transistor na configuração emissor comum. Os valores numéricos indicados são obtidos experimentalmente ou a partir de equações teóricas. A região de corte é definida como sendo a região onde a $I_E = 0$ e $I_C = I_{CO}$, quando a polarização da junção base-emissor não existe ($V_{BE} \leq 0V$).

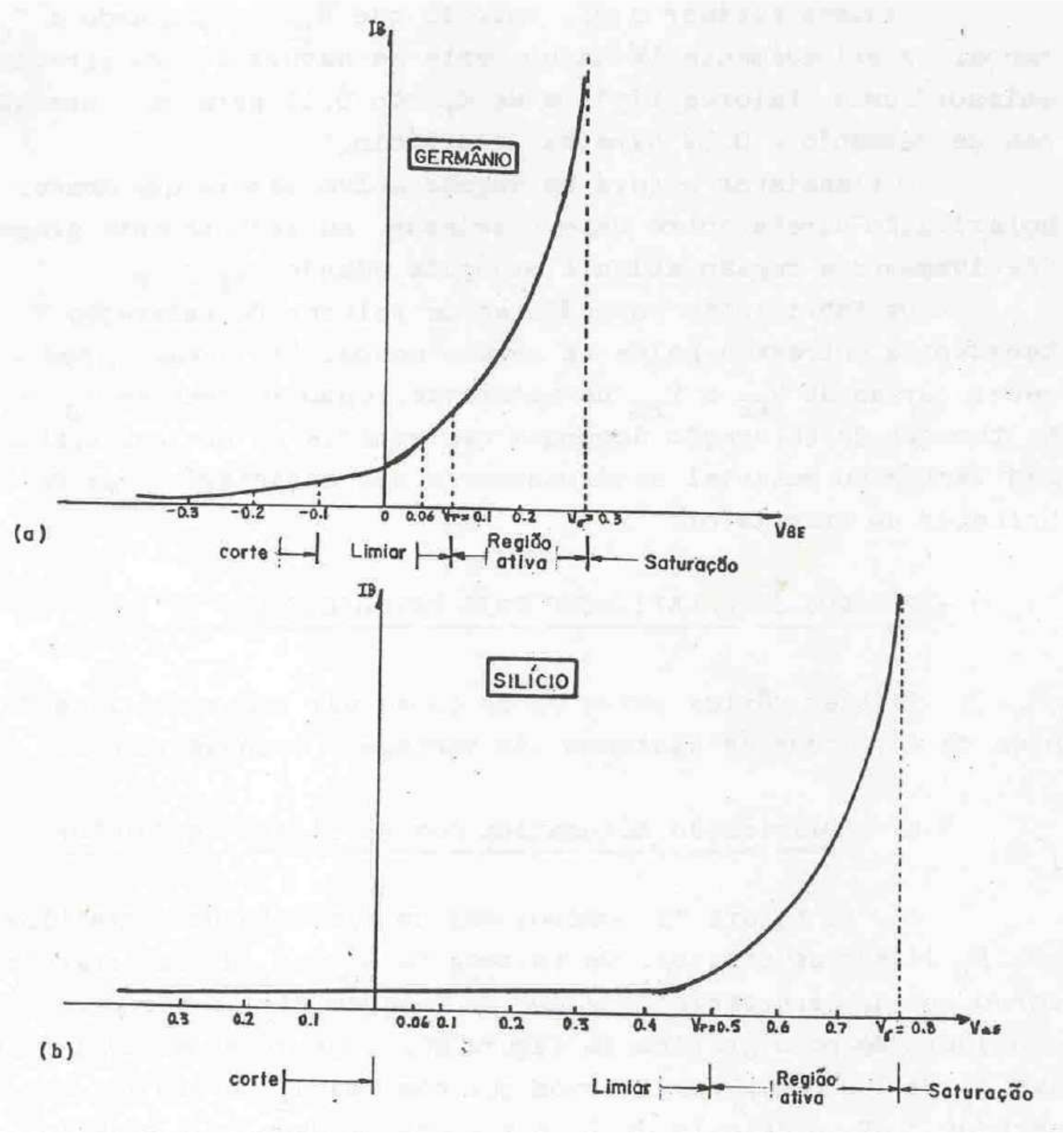


Figura 7-15 Curvas de I_C em função de V_{BE} para transistores de germânio e de silício

Quando a junção base-emissor é polarizada inversamente, a I_B é muito pequena, sendo da ordem de nanoampères ou microampères para os transistores de silício e de germânio, respectivamente.

Nenhuma I_B apreciável flui até que a junção base-emissor seja polarizada diretamente, de modo que: $V_{BE} > V\tau$, onde $V\tau$ é chamada de tensão de limiar.

Como a I_C é nominalmente proporcional à I_B, nenhuma corrente apreciável fluirá pelo circuito de coletor, até que exista uma corrente apreciável no circuito de base.

Podemos estimar a $V\tau$, supondo que $V_{BE} = V\tau$ quando a I_C alcançar aproximadamente 1% da corrente de saturação, no circuito em emissor comum. Valores típicos de $V\tau$ são 0,1 V para os transistores de germânio e 0,5 V para os de silício.

O transistor estará na região ativa sempre que houver uma polarização direta entre base e emissor, suficientemente grande. A região ativa é atingida efetivamente quando tivermos $V_{BE} > V\tau$.

Os fabricantes especificam os valores de saturação das tensões de entrada e de saída de vários modos. Por exemplo, podem fornecer curvas de V_{CE} e V_{BE} de saturação, como funções de I_B e I_C.

As tensões de saturação dependem não somente do ponto de operação, mas também do material semicondutor e das características de fabricação do transistor.

MÉTODOS DE POLARIZAÇÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DA I_C

Existem vários meios de se conseguir uma estabilização térmica da I_C. Todos os sistemas têm vantagens e desvantagens.

Polarização automática com R_B ligado ao coletor

Na figura 7-16 podemos ver um circuito de estabilização com R_B ligado ao coletor. Os valores de R_B e R_C devem estar de acordo com as características que se desejam para o circuito. Mas considerando-se o gráfico da figura 7-13, cuja reta de carga é para uma R_C de 100 Ohms, verificamos que com uma I_B de 300 µA, a V_{CE} será de 3,4 V. O cálculo de R_B neste caso é dado pela seguinte equação:

$$R_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B} = \frac{3{,}4 - 0{,}2}{300\ x\ 10^{-6}} = 10667\,ohms$$

Em situações normais, o resistor R_B limitará o valor de I_B em 300 µA. Esta I_B produz uma I_C de 26 mA, que determina em R_C uma queda de tensão de 2,6 V. Portanto, a tensão V_{CE} será igual a $V_{CC} - V_{CR} = 3{,}4$ V, que é o mesmo valor observado no gráfico da figura 7-13.

R_B, cujo valor é de 10667 ohms, limita a I_B em 300 µA, desde que a V_{CE} permaneça em 3,4 V. Suponhamos agora um aumento de I_{CO}, que por sua vez tende a aumentar a I_C. Se a I_C aumentasse, aumentaria também a V_{RC}, o que diminuiria a V_{CE}. Com a diminuição da V_{CE}, a corrente através de R_B também seria menor. Com menor I_B, menor seria a I_C. Observamos então que qualquer tentativa de aumento de I_C produz uma diminuição de I_B e a I_C tende a diminuir. O resultado é que a I_C tende a manter-se no ponto de operação escolhido, que no caso é de 26 mA.

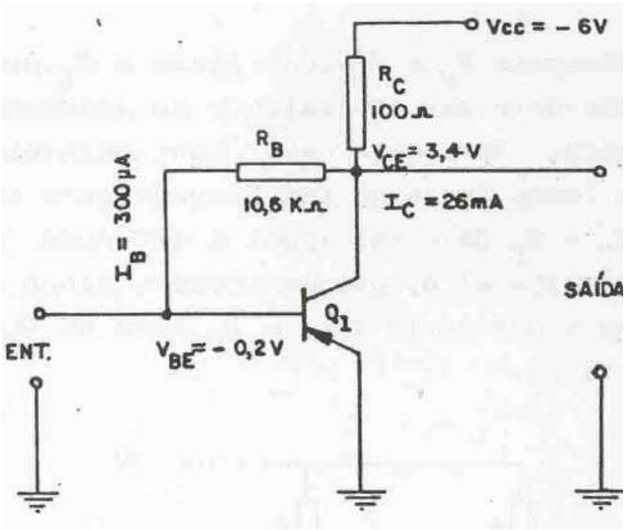


Figura 7-16 Polarização automática com R_B ligado ao coletor

O sistema de estabilização por realimentação de CC tirada do coletor é bom, mas tem o inconveniente da realimentação de CA. Neste caso, referimo-nos às variações da V_{CE} em trabalhos dinâmicos.

Para atenuar a realimentação de CA, os projetistas que usam esse sistema, costumam desmembrar R_B em dois resistores.

O uso de um capacitor, como aparece na figura 7-17, também ajuda na redução dessa realimentação.

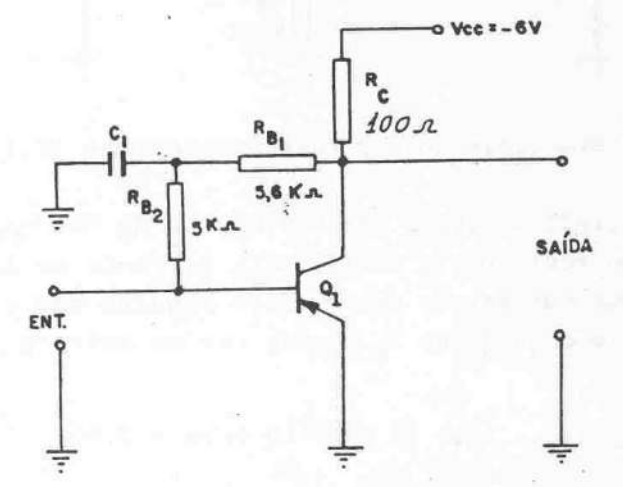


Figura 7-17 Polarização automática com atenuação da realimentação CA

Estabilização por realimentação de CC com R_E

Os resistores R_C e R_E constituem a R_L do circuito e a soma de seus valores deve ser equivalente ao valor do resistor usado na linha de carga.

Para esse caso, consideraremos o gráfico da figura 7-13, cuja linha de carga foi traçada para um resistor de 100 ohms.

Como o valor de R_E não deve ser muito alto, porque afeta o ganho do circuito, consideraremos como sendo de 10 ohms e R_C será de 90 ohms, conforme pode ser visto na figura 7-18.

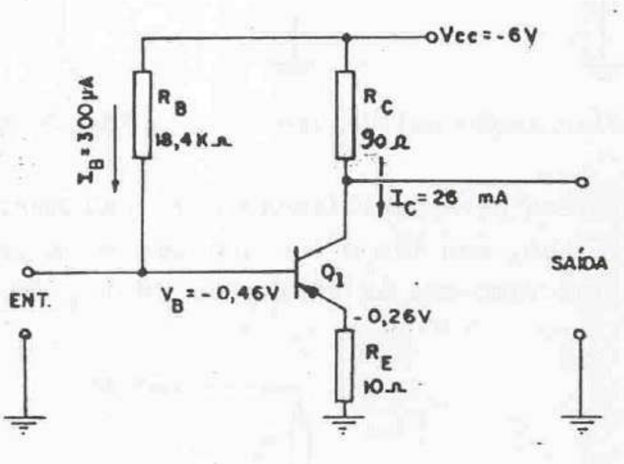


Figura 7-18 Estabilização por realimentação de CC, com R_E

No gráfico, vemos que com uma I_B de 300 μA, a I_C é igual a 26 mA.

No resistor R_E fluirá esta corrente de 26 mA mais a I_B de 300 μA, que por ser de valor muito pequeno não entrará em cogitação. A V_E é a queda em R_E e pode ser encontrada pela Lei de Ohm.

$$V_E = R_E \times I_E = 26 \text{ mA} \times 10 \text{ ohms} = 0{,}26 \text{ V}$$

Sendo a V_E de –0,26 V, para que a V_{BE} seja de 0,2 V, a V_B debe ser igual a –0,46 V.

Se a V_{CC} é de –6 V, R_B deverá limita-la. Neste caso o valor de R_B é encontrado pela equação:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_B}{I_B} = \frac{6 - 0{,}46}{0{,}0003} = 18460 \; ohms$$

Observando o circuito da figura 7-18, concluímos que ao ser ligado, a I_B será limitada em 300 μA, determinando uma V_B de –0,46V.

A I_B de 300 μA produz uma I_C de 26 mA que fluindo em R_E causa, sobre este, uma V_{RE} de –0,26V. Vemos então que sendo a VE igual a –0,26V e a V_B de –0,46V, a V_{BE} será de –0,2V, o que constitui uma polarização direta.

Através da fórmula $I_C = \beta \times I_B + I_{CO}$, sabemos que se a I_{CO} aumentar por qualquer razão, a I_C também aumentará, saindo o circuito do ponto de operação escolhido.

No circuito da figura 7-18, se a I_C aumentar, a V_E aumenta e a V_{BE} diminui. Com V_{BE} menor, a I_B também será menor. A diminuição da I_B resulta em diminuição da I_C. Concluímos então, que neste circuito, se a I_C tende a aumentar, R_E provoca uma realimentação negativa, que tende a diminuí-la e assim, o circuito tende a estabilizar-se automaticamente.

Uma das desvantagens de se usar o R_E é que, em circuitos de potência, ele tende a diminuir a potência útil do circuito. Além da estabilização, o uso de R_E tem como vantagem, aumentar a R_i.

Polarização por divisor de tensão

Em um circuito polarizado, a V_B deve manter-se constante para que o circuito se mantenha estável. Um dos sistemas usados para manter constante a V_B, partindo de uma fonte de tensão de valor muito maior que V_B, emprega um divisor de tensão, conforme é visto na figura 7-19.

Conforme as características do divisor de tensão, a V_{RB} será mais estável, se a corrente que fluir por ela for muito maior que a da base. O ideal seria uma I_{RB} várias dezenas de vezes maior que a I_B. Há, porém, vários inconvenientes. Uma I_B muito alta resulta em um valor de R_B muito baixo, o que diminui a impedância de entrada do circuito, acarretando sérios problemas para os sistemas de acoplamento entre estágios. Também deve ser considerada a energia que será consumida pelo divisor de tensão.

Em um equipamento existem dezenas de estágios com dezenas de resistores em sistemas de divisores de tensão, consumindo energia inutilmente, já que a potência consumida por eles é só para tentar manter pequenas tensões constantes.

Na prática, usa-se elaborar um divisor de tensão para polarização da base, com I_{RB} igual a I_B ou várias vezes maior que esta.

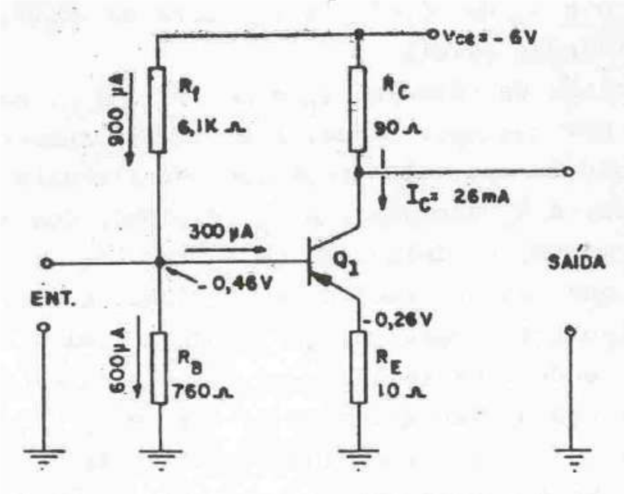


Figura 7-19 Polarização por divisor de tensão

Calculemos os valores de R_F e R_B, do divisor de tensão da figura 7-19, utilizando os valores de V_B de –0,46V e I_B de 300 µA. Observe que estes valores já foram vistos em circuitos anteriores; logo, os detalhes sobre eles podem ser recordados.

O valor de R_B, supondo que a I_{RB} seja igual a duas vezes a I_B, é facilmente encontrado pela Lei de Ohm.

$$R_B = \frac{V_B}{I_{RB}} = \frac{0{,}46V}{600\,\mu A} = \frac{0{,}46V}{6x10^{-4}\,\mu A} = 760\,ohms$$

O valor de R_F é calculado pela equação:

$$R_F = \frac{V_{CC} - V_B}{I_{RB} + I_B} = \frac{6V - 0{,}46V}{300\,\mu A + 600\,\mu A} = 6150\,ohms$$

O sistema de polarização mais usado, por apresentar melhor estabilização térmica, é o por divisor de tensão, mostrado na figura 7-19. R_E realimenta negativamente a corrente contínua de base, pelo efeito térmico. R_B tende a manter a V_B em seu nível estável.

ESTABILIZAÇÃO DA POLARIZAÇÃO DE ESTÁGIOS DE POTÊNCIA

Os projetos de amplificadores de potência requerem uma atenção especial com relação à polarização. Primeiro, porque neste caso o transistor irá trabalhar aquecido, o que poderá desencadear a instabilidade do mesmo. Segundo, porque o uso de uma R_E pode diminuir a capacidade útil de potência do estágio. Dois dispositivos são usados comumente em estágios de potência, para sua estabilização térmica. Tais dispositivos são o diodo retificador e os termistores ou resistores NTC.

Circuitos de estabilização com termistores

Já sabemos que a corrente de polarização do transistor é sensível à temperatura. Especificamente, a I_C aumenta com o aumento da temperatura. A estabilização da I_C pode ser feita utilizando-se circuitos externos, com elementos eletricamente sensíveis à temperatura. Um desses elementos é o termistor.

O termistor usado, neste caso, tem uma resistência com coeficiente negativo de temperatura, isto é, o valor de sua resistência diminui com o aumento da temperatura. Este tipo de termistor é chamado de resistor NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo).

O circuito da figura 7-20 tem sua estabilização de polarização controlada por um termistor.

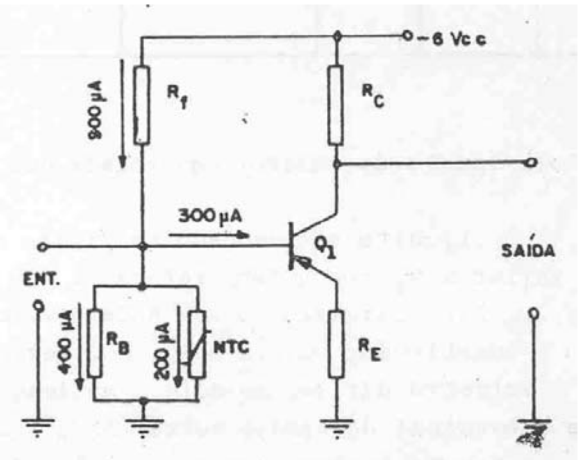


Figura 7-20 Polarização de base controlada por NTC

Os valores de R_B e do NTC dependem das características do circuito, mas o seu funcionamento é simples. A V_{BE} no circuito é 0,2V e a I_B é 300 μA. Com o aumento da temperatura ambiente, a I_C tende a aumentar devido ao aumento da I_{CO}. Porém, este aumento da temperatura afeta também o NTC, diminuindo a sua resistência, com o conseqüente aumento da corrente através dele.

Essa maior corrente solicitada, aumenta a V_{RF}, diminuindo a V_{BE} e menor serão a I_B e a I_C. Como vemos, o efeito térmico que tende a aumentar a I_C no circuito, diminui a resistência do NTC, que provoca uma diminuição da I_B, que por sua vez diminui a I_C. O resultado é que este simples dispositivo tende a manter o circuito no seu ponto de operação.

Controle da tensão de emissor

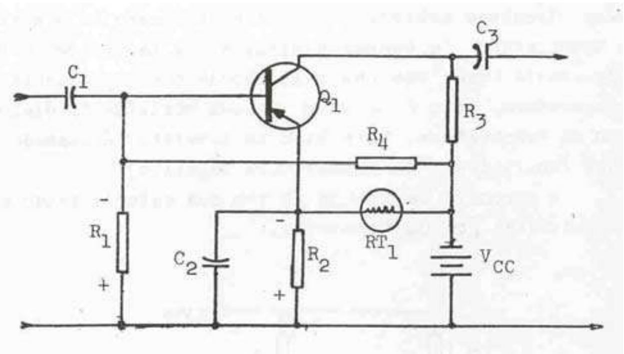


Figura 7-21 Polarização de emissor controlada por termistor

O circuito apresentado na figura 7-21, emprega um termistor para variar a V_E com a temperatura, a fim de minimizar as variações da I_E. Este circuito contém dois divisores de tensão: o primeiro é constituído por R_1 e R_4, e o segundo por R_2 e o termistor R_{T1}.

O primeiro divisor permite a aplicação de uma parte da V_{CC} entre o terminal de base e terra. A V_B é desenvolvida em R_1e determina uma tensão negativa na base de Q_1.

O segundo divisor de tensão aplica uma parte da V_{CC} no terminal de emissor. A V_E é desenvolvida em R_2 e determina uma tensão negativa no emissor de Q_1. A tensão direta aplicada ao terminal de base é maior que a inversa aplicada ao terminal emissor, de tal modo que a polarização base-emissor resultante é direta.

Com um aumento de temperatura a I_C aumentaria normalmente, se o transistor não estivesse estabilizado. O aumento da I_C pode ser evitado pela redução da polarização direta. Isto é feito pela ação do divisor de tensão constituído por R_2 e pelo termistor RT_1. Devido ao aumento da temperatura, a resistência de RT_1 é diminuída, provocando maior fluxo de corrente através do divisor de tensão. O aumento de corrente aumenta o potencial negativo da conexão do resistor R_2 ao emissor. Esta ação aumenta a polarização inversa aplicada ao emissor e diminui a polarização direta base-emissor. O resultado é que a I_C é reduzida. Analogamente, a diminuição da temperatura ocasiona ações inversas e evita o decréscimo da I_C.

C_1 bloqueia a tensão CC do estágio anterior e acopla o sinal CA ao circuito base-emissor. C_2 mantém constante a V_E R_3 é o resistor de carga do coletor e onde se desenvolve o sinal de saída. C_3 bloqueia a tensão CC do coletor e acopla o sinal CA ao estágio seguinte.

Controle da tensão de base

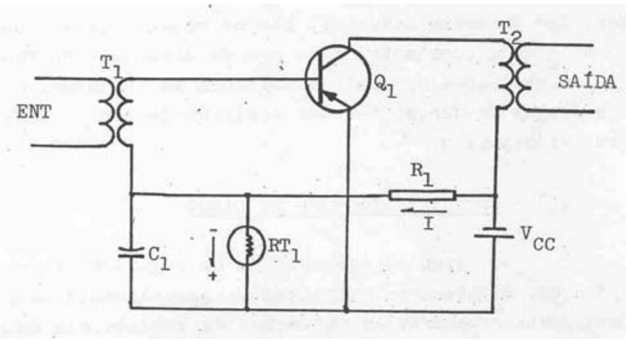


Figura 7-22 Amplificador com controle de polarização de base

O circuito apresentado na figura 7-22 emprega um termistor para variar a V_B com a temperatura, minimizando as variações da I_E. Este circuito contém um divisor de tensão constituído por R_1 e RT_1.

O divisor de tensão aplica uma parte da V_{CC} no circuito base-emissor. O fluxo de corrente dos elétrons através do divisor está na direção da seta. Esta corrente produz uma tensão de polaridade indicada em RT_1. Este circuito produz polarização direta no transistor.

Se a temperatura do transistor aumentar, a I_E tende a aumentar. Todavia, a resistência de RT_1 diminui com o aumento da temperatura, provocando maior fluxo de corrente através do divisor de tensão. Este aumento de corrente ocasiona um aumento na VR_1. A tensão de polarização direta é reduzida e assim a IE também é reduzida.

T_1 acopla o sinal CA ao circuito de base-emissor. C_1 mantém constante a tensão em RT_1. O primário de T_2 atua como carga do coletor e é onde se desenvolve o sinal de saída que é acoplado ao secundário.

Circuitos de estabilização com diodos

O diodo pode ser usado em circuitos de estabilização. A principal vantagem do seu uso como elemento sensível à temperatura é por ele poder ser feito do mesmo material que o transistor.

Os coeficientes de temperatura das resistências do diodo e do transistor de mesmo material, são os mesmos. Esta condição permite uma I_C mais constante em um grande intervalo de temperatura, porque as variações no diodo acompanham as variações no transistor. Os diodos de junção têm uma resistência com coeficiente de temperatura negativo.

Estabilização com um diodo

O circuito apresentado na figura 7-23 emprega um diodo de junção, diretamente polarizado, como elemento sensível à temperatura, para compensar as variações da resistência da junção base-emissor.

Considere o divisor de tensão constituído por R_1 e D_1, com a polaridade indicada. Esta tensão é uma polarização direta. Com o aumento da temperatura, a I_C tenderia a aumentar. Todavia, a resistência de D_1 diminui. Como resultado, a VR_1 aumenta. Há uma queda de tensão em D_1, que provoca redução na polarização direta e, consequentemente, na I_C.

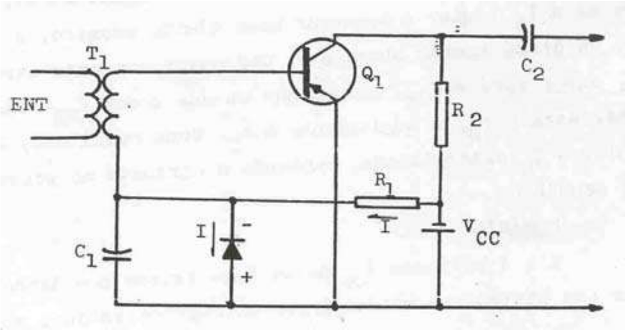


Figura 7-23 Estabilização com um diodo diretamente polarizado

Os diodos, quando empregados adequadamente na estabilização de um circuito, funcionam mais ou menos como os NTC. A instabilidade térmica que afeta o transistor afeta também a eles. No circuito da figura 7-24 aparece um diodo com função de estabilização térmica.

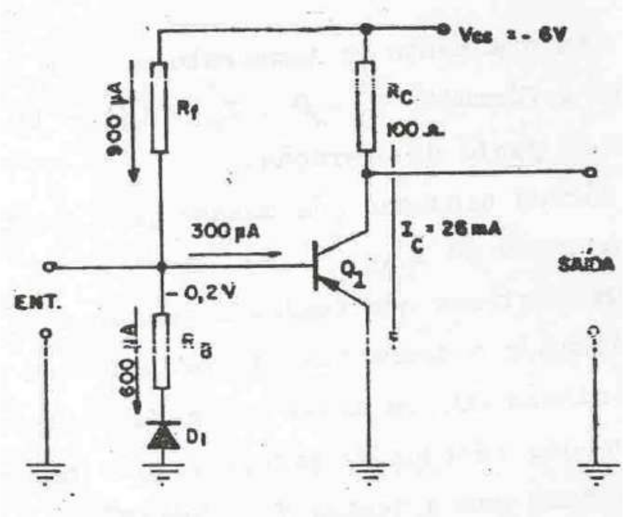


Figura 7-24 Circuito com estabilização térmica feita por diodo

D_1 tem sua junção semelhante à junção base-emissor de Q_1. Logo, os diodos serão afetados igualmente pela variação de temperatura.

Analisando o comportamento do circuito, vemos que se a I_C tender a aumentar pelo efeito térmico, a corrente através do diodo também aumentará.

Com maior corrente através do diodo, maior será a V_{RF}, resultando em uma menor V_{BE} e assim, a I_B também será menor e, logicamente a I_C. Como resultado, D_1 tende a manter a I_C estabilizada, mantendo o circuito no ponto de operação escolhido.

RESUMO

1 – A corrente I_{CO} ou de fuga existe nos transistores, devido aos portadores minoritários existentes em suas estruturas.

2 – A principal corrente de fuga de um transistor, é a de coletor para base, cuja denominação é I_{CBO}.

3 – A corrente I_{CO}, em um circuito amplificador, tende a ser amplificada em uma razão (β + 1) I_{CBO}.

4 – A corrente I_C, considerando-se a I_{CO}, é equacionada como sendo: $I_C = \beta \times I_B + I_{CO}$.

5 – Em temperatura constante e normal, conforme a especificada pelo fabricante, a I_{CO} não constitui problema num amplificador.

6 – Com o aumento da temperatura, a I_C tende a aumentar de acordo com a fórmula:

$I_C = \beta \times I_B + (\beta + 1) \times I_{CO}$, tirando o circuito de seu ponto de operação.

7 – Vários sistemas são usados para manter a I_C constante mesmo com o aumento da I_{CO}.

8 – Os sistemas que tendem a manter a I_C constante, consistem em polarizar o transistor de tal maneira que haja uma pequena realimentação CC, ou ainda por estabilização da V_{BE}.

9 – Um dos métodos de estabilização por realimentação CC é polarizar a base com a tensão V_{CE}. Neste caso, se a I_C aumentar estaticamente, a V_{CE} diminui, reduzindo a I_B.

10 – O método mais usado para manter constante a I_C, é a realimentação CC por resistência de emissor. Neste caso, se a I_C aumentar, haverá também um aumento da V_E, que diminui a V_{BE}, diminuindo a I_B, que por sua vez diminui a I_C.

11 – Através de um circuito divisor de tensão pode-se manter a V_{BE} dentro dos limites de estabilização. Neste caso, o divisor deve ser projetado levando-se em conta as suas desvantagens, como por exemplo, o alto consumo de energia e a diminuição da impedância de entrada.

12 – O sistema de polarização mais adequado para uma boa estabilização em circuitos amplificadores de baixa potência, é constituído por um R_E e por um divisor de tensão. Este sistema é o mais usado.

13 – Em circuitos de potência, a estabilização térmica da I_C é conseguida através de transistores, diodos e resistores NTC.

14 – Um diodo de junção polarizado inversamente tem uma resistência com coeficiente de temperatura negativo, desde que a tensão de polarização inversa não iguale ou exceda à tensão de ruptura.

15 – Diodos com a mesma característica da junção base-emissor de um transistor, podem ser usados em circuitos estabilizadores de polarização.

Neste caso, quando instalado adequadamente, poderá estabilizar a V_{BE}. Isto porque o efeito térmico que agir sobre o transistor, agirá também sobre o diodo.

16 – As correntes e tensões desenvolvidas num amplificador transistorizado estabilizado em temperatura, podem ser utilizadas para estabilizar em temperatura outros amplificadores transistorizados.

17 – Os resistores NTC, têm a resistência diminuída com o aumento da temperatura. Logo, se colocados no circuito de base, eles poderão diminuir a V_{BE} que provoca a diminuição da I_B e da I_C. Isto acontece porque o efeito térmico que agirá sobre o transistor, também agirá sobre ele.

18 – A reta de carga é a linha que possibilita a escolha do ponto de operação do transistor.

19 – A curva de máxima dissipação de potência é a curva que possibilita a limitação da região de operação do transistor.

20 – Todo componente elétrico possui uma potência de trabalho especificada pelo fabricante.

Em se tratando de transistores, existem mais razões para se obedecer a essa especificação.

21 – Para cada temperatura de trabalho do transistor, há uma curva de máxima dissipação de potência.

22 – Um aumento de temperatura reduz a região de operação do transistor.

23 – A fórmula para se calcular a potência de dissipação do transistor, é: $P = V_{CE} \times I_C$.

24 – A região de operação de um transistor é a parte onde pode ser traçada a linha de carga.

25 – Na curva de máxima dissipação, a potência é a mesma em todos os pontos.

26 – Os limites de tensões são especificados para transistores, por causa do efeito de ruptura que ocorre quando há um aumento da tensão inversa da junção.

27 – A fim de deixar o transistor operar à temperatura ambiente, são colocados dissipadores de calor em contato com seu corpo.

28 – No traçado da reta de carga faz-se duas suposições extremas do funcionamento do transistor: corte e saturação.

29 – A reta de carga do amplificador de potência é mais inclinada que a do amplificador de tensão.

30 – O sistema de estabilização da polarização dos amplificadores de potência deve ser de boa eficiência. Geralmente são empregados diodos, termistores e transistores.

31 – Com a mesma tensão de alimentação podemos traçar várias linhas de carga diferentes, variando apenas o valor de R_L.

CAPÍTULO 8

AMPLIFICADORES TRANSISTORIZADOS

CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS AMPLIFICADORES

Os amplificadores podem ser classificados de acordo com:

A frequência de operação:
- Amplificadores de áudiofrequência(AF)
- Amplificadores de videofreqüência
- Amplificadores de radiofreqüência(RF)

A classe de operação:
- Classe A
- Classe B
- Classe C
- Classes intermediárias(A2, B2, AB1, AB2)

O sistema de acoplamento:
- Acoplamento RC
- Acoplamento a transformador
- Acoplamento por impedância
- Acoplamento direto

O uso:
- Amplificadores de potência ou corrente
- Amplificadores de tensão

FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO

As faixas de frequência de operação determinam o tipo de amplificador a ser usado.

Amplificadores de áudiofrequência

Estes amplificadores atuam numa faixa de frequência que vai de 20 Hz a 20 kHz, faixa esta, sensível ao ouvido humano e por esta razão recebe o nome de áudiofrequência. Estes amplificadores são encontrados em receptores de rádio, intercomunicadores e outros.

Amplificadores de videofreqüência

Estes amplificadores abrangem uma ampla faixa de frequência que vai de 30 kHz a 6 MHz. Eles são empregados em circuitos que ampliam sinais que devem ser vistos em telas de radares, televisores etc.

Amplificadores de radiofreqüência

Diferenciam-se dos outros dois tipos porque ampliam uma estreita faixa de frequência dentro do espectro de radiofreqüência, que vai de 30 kHz até vários GHz. São usados em vários equipamentos. Quando sintonizamos uma emissora de rádio estamos deslocando a estreita faixa de ampliação do circuito, dentro do espectro de frequência.

CLASSES DE OPERAÇÃO

De acordo com a polarização empregada para o transistor, podemos atribuir as classes de operação.

A classe de operação é determinada pelo circuito de polarização de entrada. Na maioria dos circuitos amplificadores a polarização e a reta de carga têm valores fixos, definidos pelos valores de seus componentes.

Consideraremos, em nossas análises, somente os efeitos do circuito de polarização de entrada.

Amplificador classe “A”

Os amplificadores da classe “A” operam durante os dois semiciclos do sinal de entrada, (360°). São polarizados para trabalhar na região ativa da curva de saída.

Geralmente operam na parte linear das curvas características, a fim de obter na saída uma resposta fiel (não distorcida) do sinal de entrada.

O primeiro passo para a determinação da classificação do amplificador é a construção da reta de carga como mostrado na figura 8-1 Em seguida, deve-se selecionar um ponto quiescente de modo a permitir que um sinal de entrada varie através da parte linear da curva característica. Neste exemplo foi escolhida uma I_B estática de 500 μA e a V_{CC} é selecionada em seguida para um valor de 9 Volts para o circuito em classe “A”.

Veja na figura 8-1 o circuito de entrada e as formas de onda para um ponto “Q” de 500 μA, em classe A.

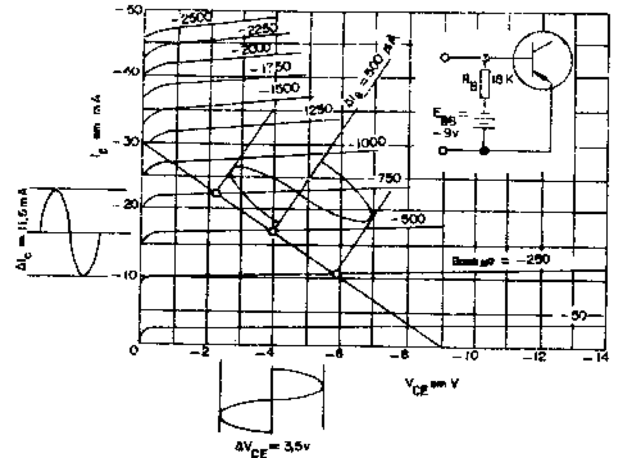


Figura 8-1 Circuito de entrada e formas de onda em classe "A"

Em seguida determinaremos o valor de RB e, para calcular esse valor é necessário que se leve em consideração o valor da VBE do transistor. Assim, a equação correta para o cálculo de RB é a seguinte:

$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_B}$$

Na prática, porém, podemos desprezar o valor de V_{BE}, e desta forma teremos:

$$R_B = \frac{V_{CC}}{I_B}$$

Substituindo a V_{CC} e I_B pelos valores de 9V e 500 μA respectivamente teremos:

$$R_B = \frac{9V}{500\ \mu A} = 18k\Omega$$

O circuito de polarização de entrada está completamente mostrado na parte superior direita da figura 8-1.

Quando o sinal de entrada é zero (ver a figura 8-1), a I_B é –500 μA, a I_C é –17 mA e a V_{CE} é –3,9 V (valores do ponto quiescente).

Uma variação da corrente de entrada para o seu valor máximo negativo de 250 μA, elevará a I_B para –750 μA, logo a I_C aumentará para –22,2 mA, enquanto que a V_{CE} diminuirá para –2,3 V.

Quando a I_B diminui para –250 μA, a I_C diminui para –11,8 mA enquanto que a V_{CE} aumenta para –5,5 V.

Assim, uma tensão de saída de 3,2 Vpp e uma variação na corrente de saída de 10,4 mA são obtidas.

Podemos notar que quando a I_B aumenta negativamente, a I_C fica mais negativa e a V_{CE} menos negativa. Por outro lado, quando a I_B diminui negativamente, a I_C fica menos negativa e a V_{CE} mais negativa. Isto indica que as correntes de entrada e de saída estão em fase enquanto que as tensões de entrada e de saída estão fora de fase. Portanto, há uma inversão de 180° na configuração de emissor comum.

Amplificador classe "B"

Os amplificadores classe "B" operam na região ativa das curvas, durante um semiciclo do sinal de entrada, e permanecem em corte durante o outro (180°).

Visto que somente metade do sinal de entrada é amplificada, os amplificadores classe "B" são normalmente montados na configuração "Push-pull", que são amplificadores de potência formados por dois transistores que conduzem alternadamente, mas que na saída, produzem um sinal que é idêntico ao sinal de entrada.

O ponto quiescente (POE) é estabelecido no cruzamento da reta de carga com a curva de I_B igual à zero como se vê na figura 8-2.

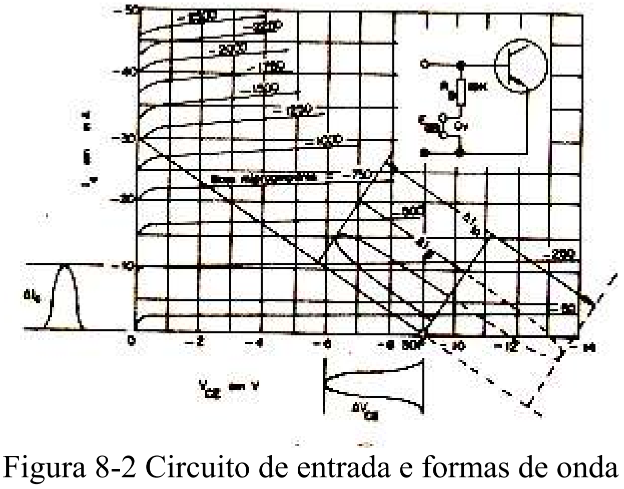


Figura 8-2 Circuito de entrada e formas de onda em classe "B"

Uma fonte de polarização de entrada não é requerida, já que a corrente quiescente da base é zero.

Uma R_B relativamente grande (18 kΩ) é usada para limitar a dissipação do sinal de entrada do circuito de polarização. Assim, o circuito de polarização de entrada contém somente um resistor de polarização, como se vê na figura 8-2.

No ponto quiescente, I_B e I_C são iguais a zero e V_{CE} é igual a –9V. Quando o sinal de entrada se torna negativo, polariza diretamente a junção emissor-base.

Na alternância positiva a junção emissor-base está polarizada inversamente. O transistor fica cortado e parte da corrente de entrada passa através de R_B, durante esta alternância.

Amplificador classe “C”

A operação em classe “C” é conseguida pela polarização inversa da junção de entrada do transistor. Com polarização inversa aplicada ao transistor, a corrente de base permanece em zero até que a corrente de entrada produza uma queda de tensão através da resistência de entrada. Esta queda de tensão deve estar com polaridade oposta à fonte de polarização do circuito de entrada e deve superar a tensão da fonte.

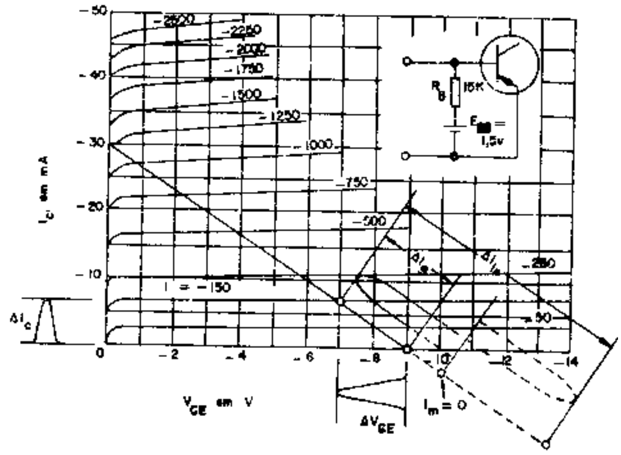


Figura 8-3 Circuito de entrada e formas de ondas em classe “C”

Na figura 8-3, I_B permanece em zero até que a corrente de entrada se torne igual a –100μA. Quando isto ocorre, a V_{BE} é igual a zero.

$$V_{BE} = E_{BB} + (Iin \times R_B) =$$
$$= 1{,}5V + (-100\mu A \times 15k) =$$
$$= 1{,}5V + (-1{,}5V) = 0$$

Desta equação podemos deduzir que a junção emissor-base estará polarizada diretamente, quando a corrente de entrada for maior que –100μA. Um sinal de saída é obtido para a porção de corrente de entrada que é maior que –100μA

Na prática, um sinal de entrada muito maior será usado para obter amplificação em classe “C”.

Na figura 8-4 vemos as formas de onda de saída, com relação às de entrada para cada classe de operação. Os sinais não foram mostrados com amplificação, nem com inversão de fase, pois nosso interesse está somente no período de condução.

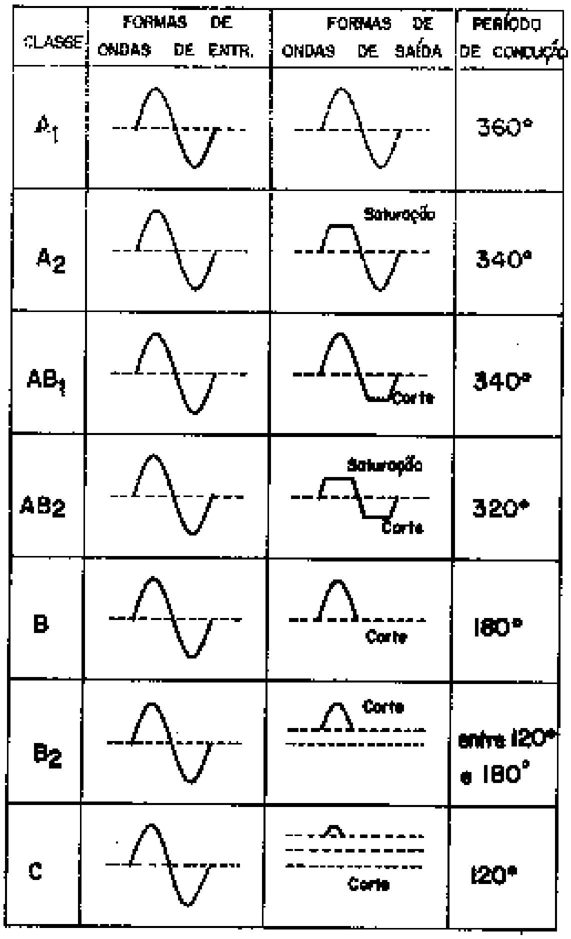


Figura 8-4 Formas de onda de saída com relação às de entrada para cada classe de operação.

SISTEMAS DE ACOPLAMENTO

Um simples estágio amplificador, normalmente não é suficiente nas aplicações em aparelhos receptores, transmissores e outros equipamentos eletrônicos.

Um ganho mais elevado é obtido pelo acoplamento de vários estágios amplificadores.

Casamento de impedâncias

Para que haja a máxima transferência de sinal, o estágio de entrada deve ter a impedância equilibrada com a da fonte de sinal (microfone, antena etc); e o estágio final deve ter a impedância equilibrada com a da carga(fone, alto-falante, linha de transmissão etc)

Da mesma forma, a impedância de saída de um estágio deve estar “casada” com a impedância de entrada do estágio seguinte.

Além do equilíbrio de impedância, é de vital importância isolar a passagem de corrente contínua, de uma etapa para outra.

Tipos de acoplamento

A) Redes RC

B) Transformadores

C) Acoplamento por impedância

D) Acoplamento direto

Acoplamento RC

A figura 8-5A apresenta um amplificador de dois estágios acoplados mediante uma rede RC.

O capacitor de acoplamento C_1 tem como primeira função isolar a tensão de CC presente no coletor do primeiro estágio, para que ela não apareça na base do transistor do estágio seguinte e, como segunda função transferir o sinal de um estágio para o outro.

O capacitor de acoplamento deve ter, também, uma reatância reduzida para as tensões de sinal e, portanto, seu valor de capacitância deve ser relativamente alto.

Os valores típicos de capacitância vão de 1 a 30μF. É necessário que o valor do capacitor seja alto, por causa da baixa impedância de entrada do estágio seguinte.

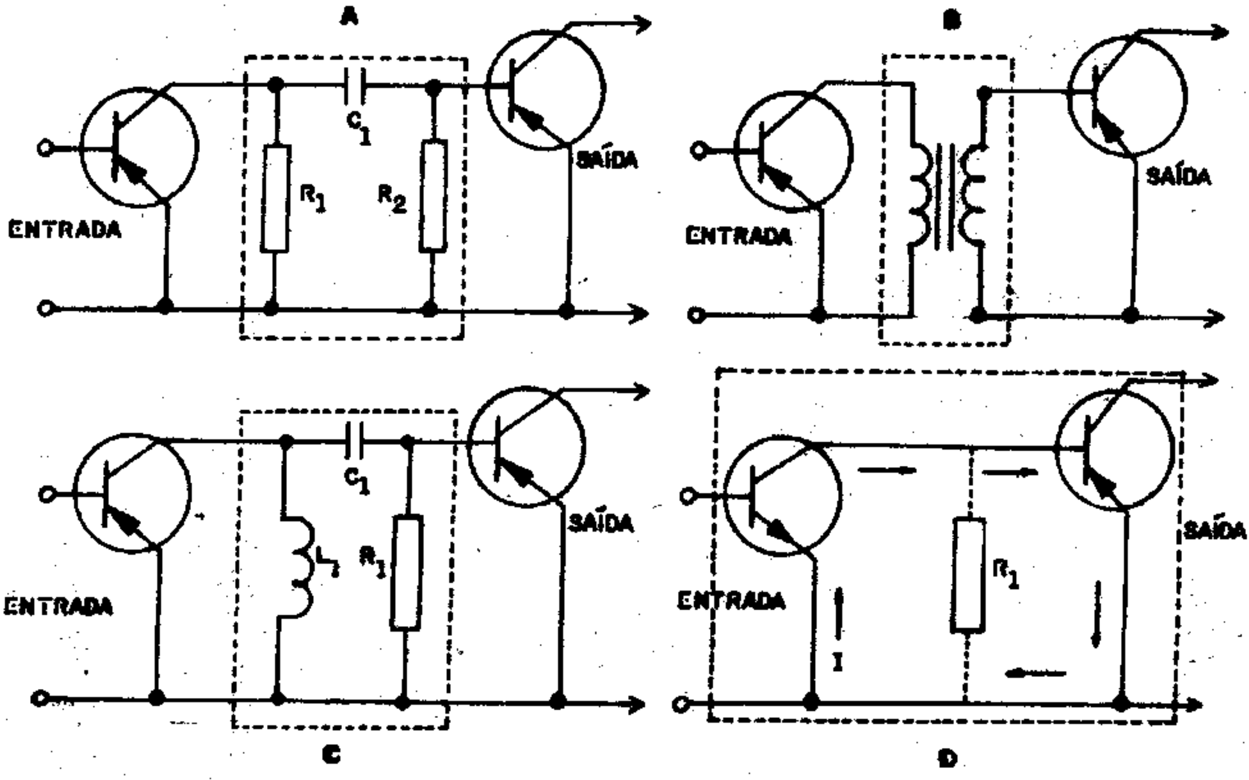


Figura 8-5 Amplificador com acoplamento RC

O sinal que sai do primeiro estágio, desenvolve-se no resistor R_B. O capacitor C_1 e o resistor R_1 constituem a rede RC de acoplamento entre os dois estágios.

A eficiência do amplificador acoplado mediante uma rede RC é baixa, por causa da dissipação de potência de CC no resistor de carga.

Resposta de freqüência

As freqüências muito baixas são atenuadas pelo capacitor de acoplamento, porque a sua X_C torna-se alta, com a diminuição da frequência. A resposta em altas freqüências, para o transistor está limitada pelo efeito “Shunt” da capacitância emissor-coletor do primeiro estágio, e da capacitância base-emissor do segundo estágio.

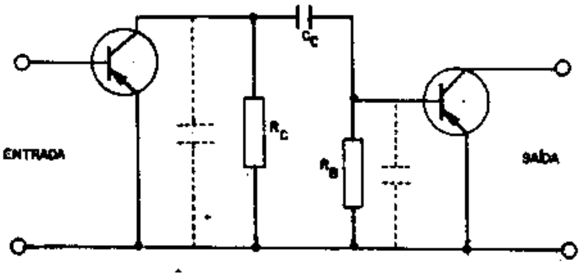


Figura 8-6 Capacitância entre os elementos do transistor

Observe na figura 8-6 que C_C e R_B estão em série e em baixas freqüências e, que a X_C é consideravelmente alta, provocando assim o máximo de queda de sinal em C_C e o mínimo em R_B. No entanto, para as altas freqüências, aparece uma X_C mínima, em paralelo com R_C, resultando numa resistência total mínima possibilitando o desvio de grande parte ou até mesmo de todo o sinal para a terra.

Vantagens e desvantagens do acoplamento por rede RC

O acoplamento RC é bastante usado em circuitos transistorizados, por oferecer uma boa resposta de frequência, sendo de simples confecção e preço relativamente baixo.

Porém, embora esse acoplamento ofereça uma boa resposta em frequência, não é o tipo de maior eficiência, em face das dificuldades em casar as impedâncias entre estágios.

Outra desvantagem desse tipo de acoplamento está no fato de apresentar grandes perdas quando usado em freqüências muito baixas.

Acoplamento a transformador

No acoplamento a transformador o enrolamento do primário do transformador (T_1) é a impedância de carga do coletor do primeiro estágio.

O enrolamento secundário de T_1 desenvolve o sinal de CA, para a base do transistor do segundo estágio e também age como caminho de retorno de CC, da base.

A resistência muito baixa, no circuito de base, auxilia a estabilização da polarização no ponto de operação de CC. Com um resistor na entrada do emissor, o fator de estabilidade de corrente é quase ideal.

Como não há resistor de carga de coletor para dissipar potência, a eficiência do amplificador acoplado a transformador se reduz, teoricamente, para 50%. Por este motivo, o processo de acoplamento a transformador é muito usado em equipamentos portáteis e operados com baterias.

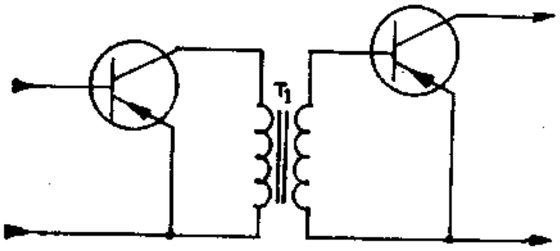


Figura 8-7 Acoplamento a transformador

Vantagens e desvantagens do acoplamento a transformador

Os transformadores facilitam o equilíbrio da carga de saída do transistor e o equilíbrio da fonte, à entrada do transistor, para se obter o máximo de ganho de potência, para um determinado estágio.

A resposta de frequência de um estágio acoplado por intermédio de transformador não é tão boa quanto a do estágio acoplado por rede RC.

A resistência "Shunt" do enrolamento primário, nas baixas freqüências, causa a queda de resposta nestas freqüências. Nas altas freqüências, a resposta é reduzida pela capacitância de coletor e pela reatância de saída, entre os enrolamentos do transformador.

Além da resposta de frequência ser pobre, os transformadores são mais caros, mais pesados, e ocupam maior área que os resistores e capacitores empregados no acoplamento RC.

Portanto, o uso do acoplamento a transformador é limitado, normalmente, àquelas aplicações que requerem alta eficiência de potência de saída.

Acoplamento por impedância

O acoplamento por impedância é similar ao acoplamento por rede RC, com exceção de que o resistor de carga é substituído por um indutor (L1), como apresentado na figura 8-8

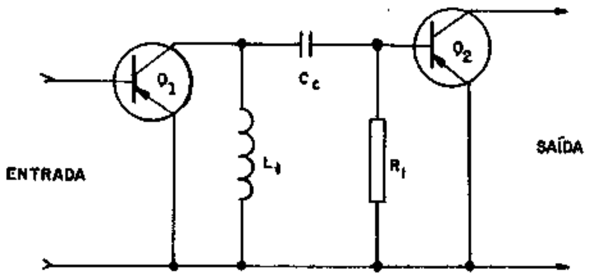


Figura 8-8 Acoplamento por impedância

A resistência de carga é somente a resistência do fio do enrolamento, o qual proporciona uma queda mínima de tensão de CC. Grandes valores de indutância devem ser usados, para que seja oferecida uma alta reatância, nas baixas freqüências.

O ganho do estágio acoplado por impedância cresce com o aumento da frequência, já que a reatância indutiva é diretamente proporcional à frequência.

Na faixa de altas freqüências, a reatância diminui, por causa da capacitância distribuída no circuito, que desvia o sinal.

Os campos magnéticos que cercam a impedância de carga podem causar, também, um acoplamento indesejável a outros circuitos. Por isso, esses campos devem ser controlados, através de indutâncias apropriadas.

Acoplamento direto

Quando o transistor de um estágio amplificador é ligado diretamente ao transistor do estágio seguinte dizemos que o acoplamento é direto, como mostrado na figura 8-9.

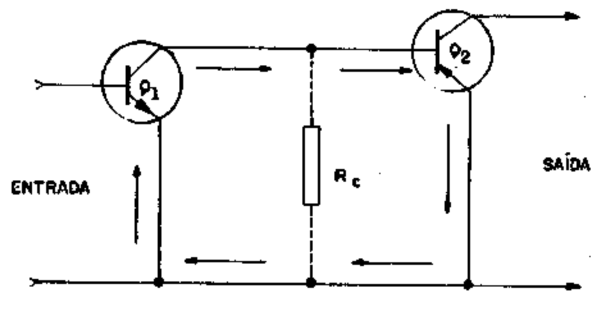


Figura 8-9 Acoplamento direto

Este tipo de acoplamento é usado para a amplificação de sinais chamados de "corrente contínua", em virtude da frequência ser muito baixa.

Observando o circuito da figura 8-9, vemos que um transistor PNP está ligado diretamente a um transistor NPN. A direção do fluxo de corrente é indicada pelas setas. Se a corrente do coletor do primeiro estágio for maior que a corrente de base do estágio seguinte, devemos ligar o resistor R_C (carga do coletor), como está indicado pela linha tracejada.

Como o número de componentes necessários no amplificador acoplado diretamente é mínimo, teremos o máximo de economia e também a máxima fidelidade de sinal. Entretanto, o número de estágios que podem ser acoplador diretamente é limitado.

AMPLIFICADORES DE ÁUDIO BÁSICO

Antes de iniciarmos os estudos destes amplificadores, é interessante lembrar, que a finalidade de um amplificador é a de aumentar a tensão, a corrente, ou o nível de potência de um sinal, a um valor necessário, a fim de operar um dispositivo de saída.

Esse dispositivo pode necessitar de considerável energia ou pode exigir uma alta tensão, com baixa potência, para sua operação.

Os amplificadores de tensão (baixo nível) são estágios de amplificação projetados para produzir um grande valor de tensão, através da carga do circuito de coletor. Para produzir uma alta tensão, utilizável através de um circuito de carga, é necessário que a oposição à variação de I_C seja a máxima possível, qualquer que seja a carga (resistor, reatância ou impedância).

Os amplificadores de potência (alto nível) são estágios amplificadores, construídos para fornecer grandes quantidades de potência para a carga no circuito coletor.

Num amplificador de potência, deve haver uma grande corrente no circuito do coletor, uma vez que a potência é o produto da resistência, pelo quadrado da corrente.

Os pré-amplificadores são etapas de baixo nível, que se destinam à amplificação de sinais originários de dispositivos, tais como microfones, detectores, cápsulas magnéticas etc.

AMPLIFICADORES DE ÁUDIO TRANSISTORIZADOS

Os circuitos amplificadores de áudio são projetados especificamente para ampliar sinais da faixa de áudio frequência, isto é, sinais compreendidos entre 20 Hz e 20kHz.

O circuito de entrada de um amplificador transistorizado deve ser alimentado com a corrente de saída de um pré-amplificador. Neste caso, cada transistor é considerado como um amplificador de corrente ou potência, operando a um nível de corrente ou de potência, mais elevado que o nível do estágio anterior e menos elevado que o do estágio seguinte. Uma vez que os transistores são, essencialmente, dispositivos amplificadores de potência, seu uso nos circuitos de áudio é classificado nas categorias amplificador de áudio de baixo nível e amplificador de áudio de alto nível.

O nível de potência de um estágio amplificador de áudio é determinado pelos requisitos do projeto. Em alguns casos, os amplificadores de baixo nível (também chamados de amplificadores de sinal) podem operar com potências variando de “picowatts” até “miliwatts”, enquanto que em outras situações (amplificadores de potência) podem operar com vários Watts.

Circuito amplificador de áudio básico

O circuito da figura 8-10 apresenta um estágio amplificador básico de áudio.

A estabilização para esse amplificador é estabelecida pela corrente de base-emissor. Essa corrente cria uma tensão que polariza diretamente o circuito de entrada.

O resistor de base R_B limita a corrente de polarização estabelecendo assim o ponto quiescente.

Durante o semiciclo positivo do sinal de entrada a polarização direta diminui. Isso provoca uma conseqüente diminuição da corrente de coletor, através de R_L, e a tensão em R_L diminui. Assim, a tensão de coletor aumenta, em direção a um valor negativo de V_{CC}.

Durante o semiciclo negativo do sinal de entrada, a polarização direta aumenta. Isso faz com que a corrente através de R_L aumente, aumentando também a queda de tensão sobre a mesma, tornando negativa a tensão de coletor.

O capacitor C_1 acopla o sinal de entrada e o capacitor C2 o sinal de saída.

R_E é o resistor de estabilização de emissor e está ligado em paralelo com o capacitor de desacoplamento C_E.

Ainda na figura 8-10 podemos ver que o sinal de saída está 180 ° defasado do sinal de entrada. Como o sinal de saída é maior que o sinal de entrada, há um ganho de tensão.

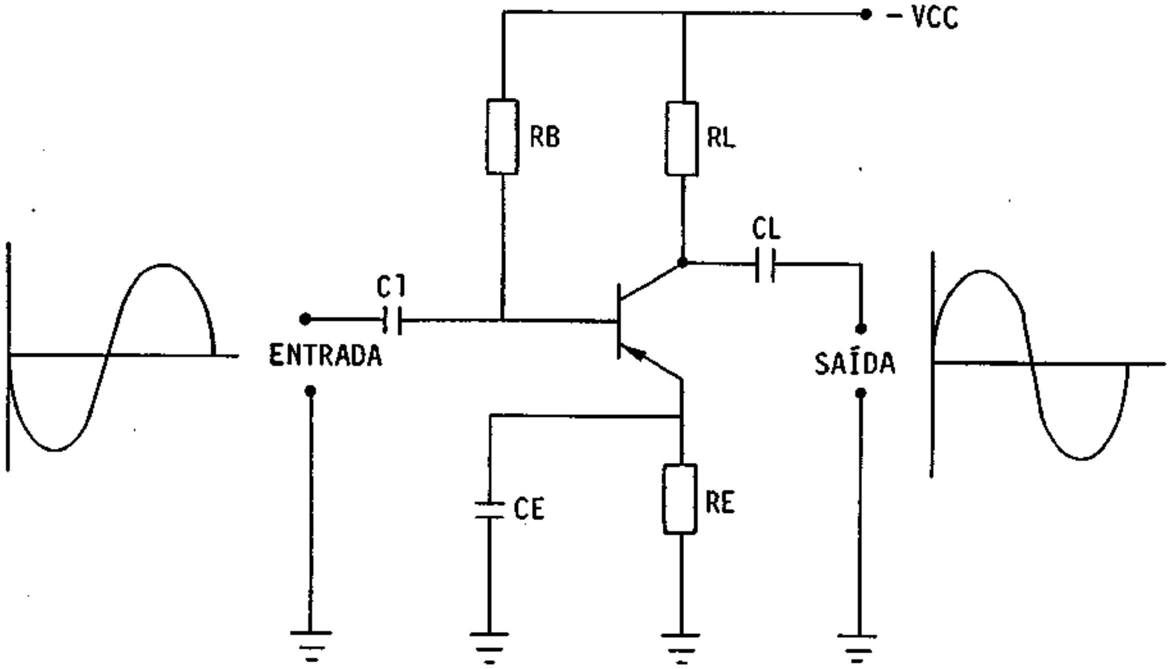


Figura 8-10 Amplificador de áudio básico

CAPÍTULO 9

OSCILADORES TRANSISTORIZADOS

INTRODUÇÃO

Os osciladores são dispositivos cuja função principal é transformar energia CC aplicada, em energia AC.

Para que haja essa transformação é necessário que parte do sinal de saída retorne à entrada de forma adequada, ou seja, é necessário que haja uma realimentação positiva (regeneração).

Além da necessidade de uma realimentação positiva, devem ser incorporados ao circuito oscilador a transistor, elementos determinantes da frequência e as necessárias tensões CC de polarização.

O transistor atua como uma chave e conduz periodicamente, sempre que a energia é realimentada desde o circuito sintonizado, a fim de manter as oscilações do circuito tanque.

Para determinar a frequência de operação do oscilador, podem ser incorporados ao circuito, conjuntos indutância-capacitância, um cristal ou ainda uma rede resistiva-capacitiva.

As tensões de polarização para o oscilador são as mesmas necessárias para um amplificador a transistor.

Um fator de suma importância é a estabilização do ponto “Q” do oscilador a transistor, pois a instabilidade da operação CC afetará consideravelmente a amplitude do sinal de saída, a forma de onda e ainda a estabilidade de frequência.

Os osciladores são usados para uma infinidade de aplicações, sendo as mais comuns o osciloscópio, o gerador de frequência variável, o injetor de sinais, a televisão, o rádio-transmissor, o receptor, o radar, o sonar etc.

Antes de estudarmos os osciladores eletrônicos, recordaremos os princípios básicos da oscilação.

PRINCÍPIOS DE OSCILAÇÃO

Oscilação mecânica

Todo equipamento que recebe ou transmite energia possui um dispositivo oscilador. O exemplo mais clássico de oscilação mecânica é o pêndulo do relógio. Ele oscila mecanicamente de um lado para o outro com intervalos de tempo iguais, afastando-se do ponto central (ou de repouso) igualmente para os dois lados.

A figura 9-1 ilustra o movimento do pêndulo mediante uma onda senoidal.

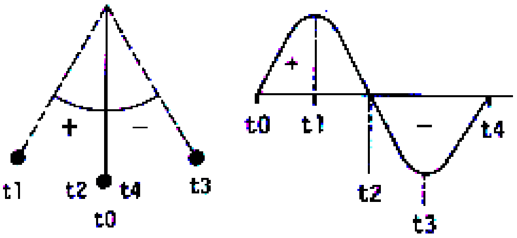


Figura 9-1 Movimento de um pêndulo simples

Por convenção dizemos que os movimentos à esquerda são positivos e à direita negativos. Esse movimento se manterá constante enquanto houver corda no relógio e se faltar corda o pêndulo inicialmente diminuirá a distância do ponto central até parar.

Como vimos na figura 9-1 o movimento do pêndulo pode ser comparado com uma onda senoidal. No caso da falta de corda do relógio a onda senoidal será uma “onda amortecida”, como mostra a figura 9-2.

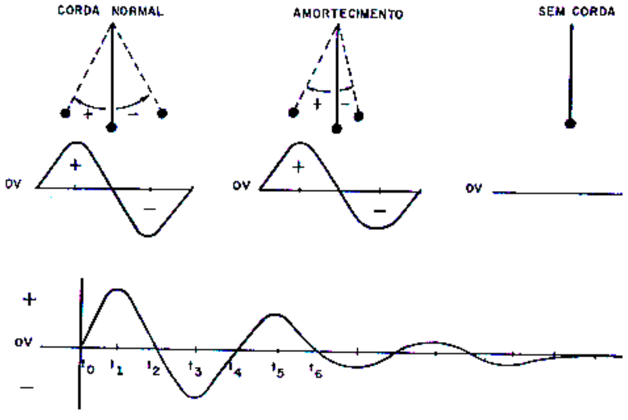


Figura 9-2 Formas de onda do pêndulo

A onda amortecida é uma onda senoidal, mas a amplitude dos ciclos sucessivos vai diminuindo gradativamente, porém, os intervalos de tempo se mantêm constantes, como pode ser visto na figura 9-2.

Se quisermos evitar o amortecimento da onda senoidal ou a parada do movimento devemos adicionar mais energia ao sistema. No caso do relógio, dar mais corda antes que o mesmo pare definitivamente.

Oscilação eletrônica

Como foi dito anteriormente o oscilador eletrônico transforma a energia CC em energia CA. Para que haja essa transformação é necessário que parte do sinal de saída retorne à entrada de forma adequada, ou seja, é necessário que haja uma realimentação positiva.

O transistor funciona como uma chave e conduz periodicamente sempre que a energia é realimentada desde o circuito sintonizado, a fim de manter as oscilações do circuito tanque.

Para obtenção da frequência de operação do oscilador podem ser incorporados ao circuito, conjuntos indutância-capacitância, um cristal ou ainda uma rede resistiva capacitiva. As tensões de polarização para o oscilador são as mesmas necessárias para um amplificador a transistor.

Um fator muito importante no projeto de osciladores é a estabilização do ponto "Q" do circuito, pois a instabilidade de operação CC afetará a amplitude do sinal de saída bem como a sua frequência. Os circuitos osciladores são largamente usados em radiocomunicação e em eletrônica industrial.

Tanques ressonantes

A oscilação eletrônica é feita por um circuito que consiste de uma bobina e um capacitor ligados em paralelo.

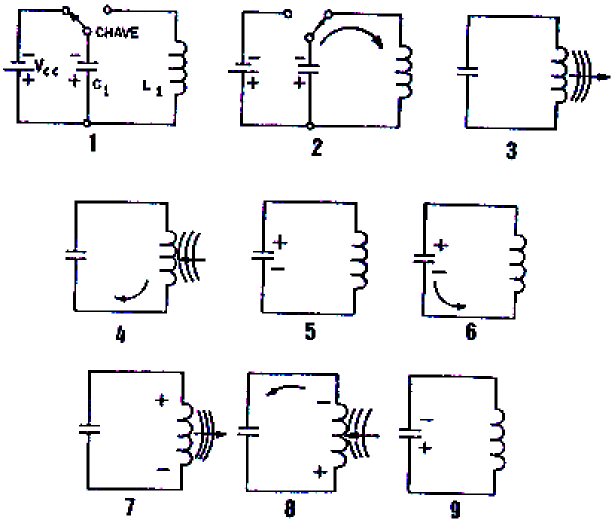


Figura 9-3 Funcionamento do circuito oscilador

Funcionamento

Para entendermos como a oscilação se processa, consideremos o que ocorre ao se carregar o capacitor da figura 9-3.

1º Passo – O capacitor C_1 se carrega com o valor de V_{CC}, com a polaridade indicada.

2° Passo – O capacitor C_1 se descarrega sobre o indutor L_1.

3º Passo – A energia está agora acumulada no indutor, em forma de campo magnético.

4° Passo – L_1 induz uma corrente no mesmo sentido mostrado no segundo passo.

5° Passo – O capacitor C1 se carrega com polaridade contrária à do segundo passo.

6° Passo – O capacitor se descarrega sobre L_1 com corrente oposta à do segundo passo.

7° Passo – A energia está novamente acumulada em L_1 em forma de campo magnético.

8° Passo – O indutor induz uma corrente no mesmo sentido do passo 6.

9° Passo – O capacitor C_1 fica carregado novamente conforme o passo 1.

Se o capacitor e o indutor fossem ideais (sem perdas), esse processo continuaria indefinidamente, mas na prática não é isso o que ocorre, pois o indutor e o capacitor apresentam uma resistência a qual dissipa parte do sinal em forma de calor, havendo portanto a necessidade de ligar a chave novamente na bateria, a fim de carregar mais uma vez o capacitor C_1 compensando a referida perda de energia.

REQUISITOS DO CIRCUITO OSCILADOR

Amplificador

O circuito oscilador é basicamente um amplificador que sofre uma realimentação, ou seja, para gerar uma energia CA, uma porção da energia de saída do amplificador a transistor deve ser retornada ao circuito de entrada, com uma correta relação de fase, para dar uma realimentação regenerativa com a energia de entrada.

A energia enviada à carga será a energia de saída (Es) menos a energia de realimentação (Er):

Ec = Es - Er

A potência de realimentação (Er) não é a potência de saída, pois a rede de alimentação age como um atenuador, causando perdas no sinal realimentado.

Na figura 9-4 temos o diagrama bloco do oscilador, com as potências Ec, Es e Er e o resistor de realimentação.

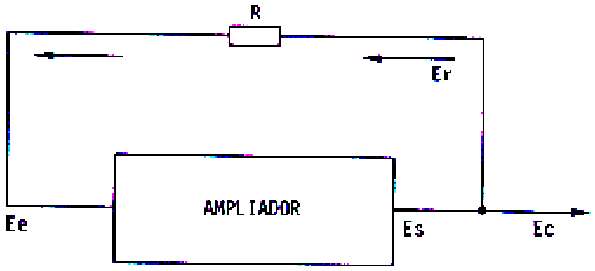


Figura 9-4 Representação em bloco do oscilador

Como citado anteriormente o resistor “R” simula um atenuador para o sinal realimentado.

Se o oscilador necessita, para seu funcionamento de um sinal de entrada (Ee) de 2 mW, sendo a perda na rede de realimentação de 1 mW, a potência do sinal de realimentação deverá ser, no mínimo de 3 mW, ou seja:

Ee = Er – perdas

Quando a potência no amplificador é menor que a unidade, ocorrem oscilações amortecidas que vão se tornando cada vez menores até desaparecerem completamente.

Por exemplo, suponhamos que não haja atenuação do sinal realimentado e que o ganho de potência do amplificador seja 0,9.

Para um sinal de entrada de 1mW, a potência de saída do primeiro pulso seria de 0,9 mW. Se toda essa potência fosse realimentada para a entrada e fosse amplificada, a potência do segundo pulso seria de 0,81 mW.

Realimentando essa potência para a entrada, teríamos um pulso de 0,73 mW na saída, e assim sucessivamente. Como vemos, o resultado seria um sinal de saída cada vez menor. Concluindo, para manter a oscilação, o fator de ganho de potência do amplificador deve ser maior que a unidade.

CIRCUITOS OSCILADORES BÁSICOS

Oscilador Armstrong

O oscilador Armstrong é o mais simples dos osciladores a transistor. Seu circuito é mostrado na figura 9-5

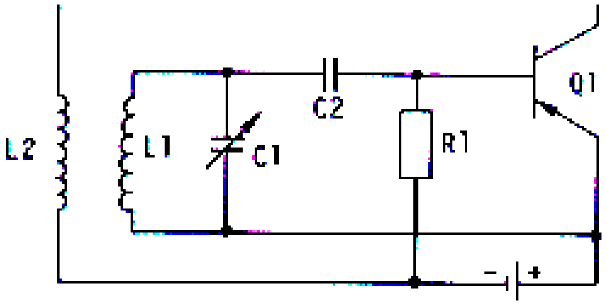


Figura 9-5 Oscilador Armstrong

Estando o circuito energizado, qualquer pequena variação na corrente de emissor é ampliada por Q_1 e aparece no coletor com uma variação maior.

A variação de corrente através da bobina de coletor (L_2) gera um campo magnético, que é induzido em L_1. Essa tensão variável é acoplada por C_2 à base de Q_1, onde é ampliada.

Essa tensão ampliada é novamente aplicada à bobina L_2 que por sua vez a induz em L_1 e assim, sucessivamente.

Este ciclo continuará até que a tensão induzida em L_1 seja suficientemente grande para tornar a base de Q_1 positiva em relação ao emissor. Quando isso ocorre a junção base-emissor fica polarizada inversamente e Q_1 entra em corte. O campo magnético nas bobinas torna-se agora estacionário e não há mais tensão induzida em L1.

O capacitor C_2 que se carregou com a tensão induzida, se descarrega através de R_1. Tão logo se tenha descarregado até um valor suficientemente baixo, que permita ao transistor conduzir novamente, o ciclo de operação se repete.

R_1 e C_2 são selecionados para dar uma constante de tempo que forneça tensão de polarização suficiente para manter Q_1

inoperante durante quase todo ciclo exceto nos picos negativos da tensão de entrada.

A frequência de oscilação é determinada por L_1 e C_1 e L_2 é a bobina de realimentação.

R_1 fornece passagem para a corrente de polarização e C_2 acopla o sinal para o circuito de base e bloqueia a componente CC do mesmo.

A frequência de oscilação do tanque ressonante é calculada pela seguinte fórmula:

$$Fo = \frac{1}{2\Pi\sqrt{Lc}} = \frac{0,159}{\sqrt{Lc}}$$

Oscilador Hartley

Neste circuito a realimentação é obtida através de uma indutância e temos osciladores desse tipo, alimentados em série e em paralelo. Essas alimentações se referem ao método de obtenção da polarização de coletor.

No circuito alimentado em série a corrente constante e a variável passam pelo circuito tanque.

A figura 9-6 mostra o oscilador Hartley

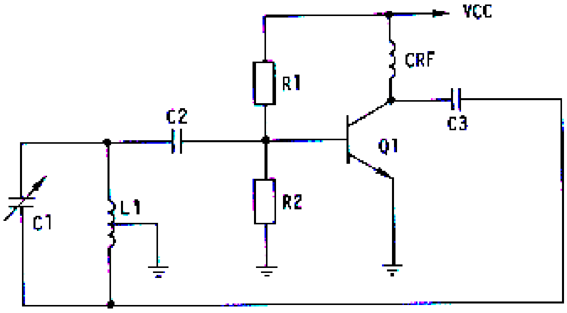


Figura 9-6 Oscilador Hartley

Ao aplicarmos energia ao circuito flui uma corrente instantânea através de Q_1 que é acoplada por C_3 à parte inferior de L_1. Esta parte de L_1 gera um campo magnético e induz uma tensão na parte superior da mesma, fazendo com que a parte superior do tanque fique positiva.

Isso faz com que a polarização direta da junção base-emissor aumente, fluindo então maior corrente, até que Q_1 atinja a saturação. Neste ponto o capacitor C_1 estará carregado com sua placa superior positiva e a parte inferior de L_1 deixará de induzir tensão, uma vez que não haverá mais nenhuma corrente variável através dela.

A partir daí C_1 começa a se descarregar e quando estiver totalmente descarregado, teremos a energia em forma de campo. Este campo por sua vez, induzirá uma corrente que irá carregar C_1 novamente com polaridade oposta à anterior. Quando a tensão do tanque ultrapassar, em sentido oposto, a polarização base-emissor o transistor entrará em corte.

C_1 começará a se descarregar novamente e o transistor Q_1 sairá do corte. Nesse ponto, com a descarga de C_1, a parte superior de L_1 estará novamente menos negativa. Teremos então a repetição do ciclo.

O transistor conduz aproximadamente 120°, isto é, permanece em corte a maior parte do ciclo. Ele conduz somente no momento preciso, para repor energia, que é consumida pelos componentes do circuito.

No circuito da figura 9-6, C_1 e L_1 constituem o circuito tanque ressonante.

R_1 e R_2 são os componentes que fornecem a polarização para o transistor Q_1.

O capacitor C_2 bloqueia a CC e acopla as oscilações para Q_1, que por sua vez amplifica essas oscilações.

C_3 bloqueia a CC e acopla as variações para L_1.

O CRF é um "Choque de Radiofrequência" que serve para evitar que as oscilações atinjam a fonte CC.

L_1 (parte inferior) é a bobina de realimentação.

A fórmula para determinação da frequência de oscilação é a mesma usada para o oscilador Armstrong, ou seja:

$$Fo = \frac{0,159}{\sqrt{Lc}}$$

Isto, uma vez que o circuito tanque deste oscilador é constituído pelo conjunto L_C.

Oscilador Colpitts

O oscilador Colpitts assemelha-se ao oscilador Hartley, alimentado em paralelo. A diferença está em que o Colpitts, ao invés de ter o conjunto de indutância dividida, para se obter a realimentação, usa um conjunto de capacitância dividida.

O oscilador Colpitts é mostrado na figura 9-7.

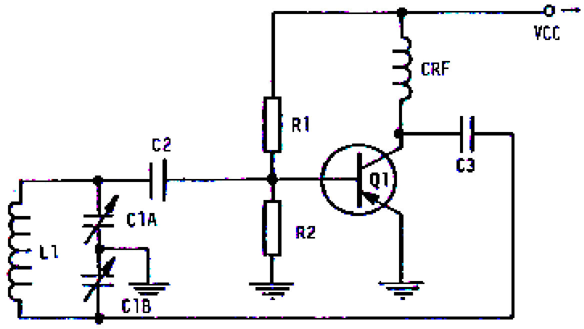


Figura 9-7 Oscilador Colpitts

Os resistores R_1 e R_2 dão a polarização ao transistor Q_1. O capacitor C_2 bloqueia a componente CC do sinal e acopla as oscilações do tanque à base de Q_1, que por sua vez amplia essas oscilações.

C_1B constitui o componente que realimenta o circuito tanque e C_3, além de bloquear a componente CC, acopla as variações do coletor Q_1 ao circuito tanque que é formado por L_1, C_1A e C_1B.

Oscilador a cristal

Quando certos cristais são comprimidos ou expandidos em direções específicas, os mesmos geram cargas elétricas em suas superfícies. Este fenômeno é chamado de efeito piezoelétrico.

Se um cristal piezoelétrico, geralmente quartzo, possui eletrodos localizados nas faces opostas e se um potencial é aplicado entre esses eletrodos, serão exercidas forças que farão com que o cristal vibre mecanicamente num movimento de contração e expansão.

Estas vibrações é que darão origem ao aparecimento de cargas elétricas nas superfícies desses cristais.

Para oscilarem perfeitamente, os cristais devem ainda ser submetidos a um tratamento de laboratório, onde sofrerão um determinado tipo de corte, que é um dos fatores determinantes da frequência de oscilação.

Tipos de cristais

Podemos dizer que a maioria dos cristais apresenta o efeito piezoelétrico, mas poucos são adequados para serem usados como equivalentes de circuitos sintonizados para fins de frequência.

Entre esses poucos cristais encontram-se o quartzo, o sal de Rochelle e a Turmalina.

Dos três tipos citados o sal de Rochelle é o que tem atividade piezoelétrica mais ativa, ou seja, gera uma maior quantidade de tensão por uma dada pressão mecânica. Estas substâncias, porém, são mecânica e eletricamente instáveis, o que as torna inadequadas para o controle de freqüências em circuitos osciladores.

Normalmente, em circuitos osciladores o cristal usado é o quartzo, devido ao seu baixo custo, robustez mecânica e a pouca variação de frequência em função da temperatura.

É um dos materiais mais permanentes que se conhece, sendo quimicamente inerte e fisicamente resistente.

De todos os materiais encontrados é o mais satisfatório, embora sua faixa de operação esteja limitada entre 50 kHz e 50 MHz, ou seja, fora da faixa de áudio.

Relação entre frequência, espessura e largura

A frequência de oscilação fundamental de um cristal depende da largura, da espessura e do tipo de corte do cristal. Quanto mais delgado for o cristal, mais elevada será a frequência de oscilação.

A frequência fundamental de oscilação é dada pela fórmula

$$F = \frac{K}{T}$$

onde: F – Frequência, em MHz;
K – Constante que depende do tipo de corte do cristal;
T – Espessura, que é dada em milésimos de polegada.

A fórmula anterior se refere à vibração com relação a espessura, porém podemos calcular a frequência de oscilação com relação a largura, para isso basta substituir na fórmula dada, a espessura (T) do cristal pela largura(W) do mesmo. De tal modo que temos:

$$F = \frac{K}{W}$$

onde: W é a largura em milésimos de -polegada.

A tabela das constantes de frequência (K) para quatro diferentes tipos de cortes é dada a seguir.

CORTES	(K)
X	112,6
Y	77,2
AT	66,2
BT	100,7

Figura 9-8 Tabela dos valores de “K” em função do corte do cristal

Circuito equivalente do cristal

Em sua frequência de ressonância o cristal comporta-se como um circuito sintonizado, no que se refere aos circuitos elétricos a ele associados. Portanto um cristal pode ser substituído por um circuito equivalente, o qual é mostrado na figura 9-9.

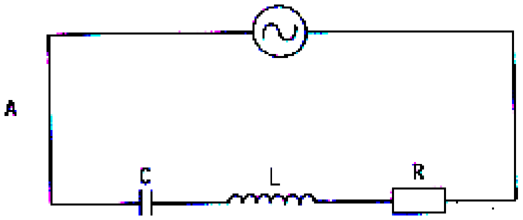


Figura 9-9 Circuito equivalente de um cristal sem placas

A figura 9-9 mostra um circuito equivalente de um cristal desprezando-se o efeito das placas que o envolverem.

A figura 9-10 mostra o circuito equivalente de um cristal colocado entre suas placas. Nesta figura vemos o aparecimento da capacitância “C” que representa a capacitância das placas.

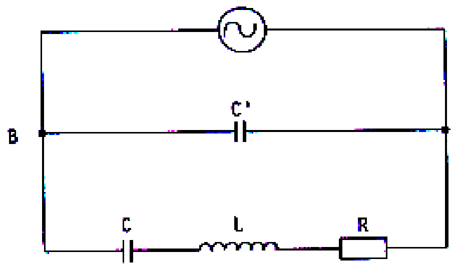


Figura 9-10 Circuito equivalente de um cristal entre as placas

Circuitos osciladores a cristal

O oscilador Armstrong a cristal funciona de maneira semelhante ao oscilador Armstrong elementar.

Com a inserção do cristal na trajetória de realimentação, consegue-se um aumento na estabilidade da frequência de operação. O cristal é o elemento determinante da frequência de operação, de tal modo que para se obter freqüências diferentes, outros cristais deverão ser usados.

A figura 9-11 mostra o oscilador Armstrong a cristal.

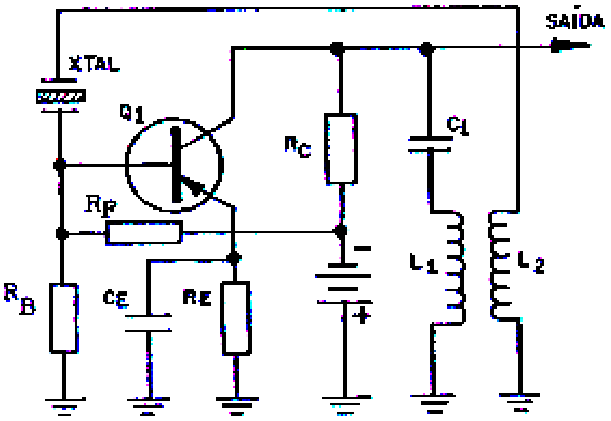


Figura 9-11 Circuito do oscilador Armstrong a cristal

Na figura 9-11 as bobinas L_1 e L_2 são responsáveis pela realimentação.

Os resistores R_B, R_F e R_C fornecem a polarização ao transistor Q_1.

O resistor R_E é desacoplado pelo capacitor C_E, para tensões CA. A impedância do cristal aumenta fora da frequência de ressonância ou de operação, com isso tem-se uma redução na realimentação total, o que evita que o cristal oscile em outra frequência diferente daquela de ressonância.

Oscilador Colpitts

A figura 9-12 mostra um oscilador a cristal na configuração base-comum com a realimentação fornecida do coletor para o emissor, através do capacitor C_1. Os resistores R_B, R_C e R_F dão as condições adequadas de polarização para o circuito. O capacitor C_2 desacopla o resistor R_B nas tensões CA.

A frequência de oscilação desse circuito não é determinada somente pelo cristal, mas também pela capacitância em paralelo formada pelos capacitores C_1 e C_E. Estes capacitores são normalmente grandes, a fim de reduzir as capacitâncias de entrada e de saída do transistor e assim tornas as oscilações independentes das mudanças dos parâmetros do transistor.

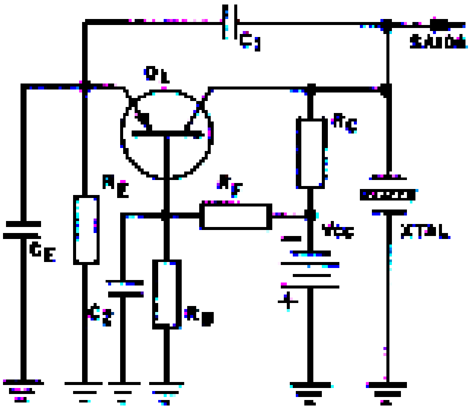


Figura 9-12 Circuito do oscilador Colpitts a cristal

MULTIVIBRADOR ASTÁVEL

Introdução

Com o desenvolvimento dos sistemas eletrônicos, houve a necessidade de se criar circuitos que operem ou que forneçam sinais não senoidais. Esses sinais podem ser definidos como variações momentâneas de tensão ou correntes. Estes sinais incluem tensões de onda quadrada, onda retangular ou pulsos.

O multivibrador é um circuito eletrônico capaz de produzir uma tensão de saída em forma de onda quadrada ou retangular. Estes sinais podem ser contínuos, como uma cadeia repetitiva de ondas quadradas ou simples pulsos produzidos em intervalos retangulares de tempo.

Existem diversos tipos de multivibradores, cada um elaborado para uma aplicação específica.

Os circuitos multivibradores são atualmente muito usados em receptores de TV, osciloscópios, computadores e sistemas digitais em geral.

Circuito multivibrador astável

O circuito multivibrador astável é aquele que não necessita de pulsos de excitação na entrada, para o seu funcionamento. Basicamente o circuito é formado por dois transistores que conduzem alternadamente. Enquanto um dos transistores é levado ao corte o outro é levado à saturação, pois o corte de um transistor produz um pulso que satura o outro.

Se todos os componentes do circuito fossem exatamente iguais e se os transistores conduzissem exatamente a mesma quantidade de corrente, na prática o circuito nunca oscilaria.

O início das oscilações dá-se devido ao fato de que na prática os elementos nunca são exatamente iguais.

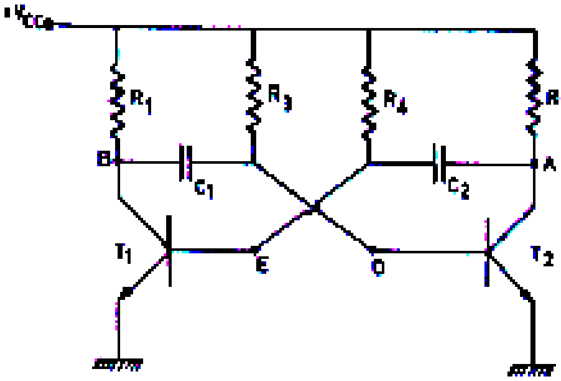


Figura 9-13 Multivibrador astável

Funcionamento

Ao conectarmos ao circuito a fonte de alimentação V_{CC}, os capacitores C_1 e C_2 que estavam descarregados, começarão a se carregar através dos resistores R_1 e R_2 fechando-se o circuito através das bases de T_1 e T_2. A figura 9-13 ilustra melhor esse processo.

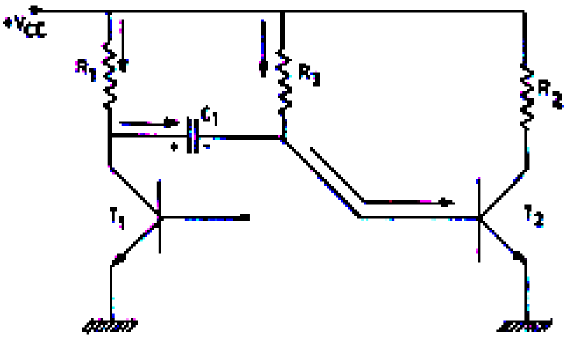


Figura 9-14 Circuito do multivibrador

Para que possamos compreender melhor o funcionamento do circuito, vamos estabelecer as seguintes condições:

a) Quando T_1 ou T_2 estiverem cortados, a tensão nos pontos A e B, será aproximadamente a da V_{CC}.

b) Quando T_1 ou T_2 estiverem saturados, a tensão nos pontos A ou B da figura 9-13 será aproximadamente 0,3 volts, recebendo a denominação de V_{CE} de saturação.

c) Quando T_1 ou T_2 estiverem cortados, a tensão V_{BE} de início de condução (0,6V), caracterizando o estado em que se encontram T_1 e T_2.

d) Quando T_1 ou T_2 estiverem saturados, a tensão V_{BE} de T_1 ou T_2 será denominada V_{BE} de saturação, e seu valor 0,7V

De posse dessas condições, ficará mais simples descrevermos o comportamento do circuito apresentado.

Como ponto de partida, vamos considerar o instante "t0", admitindo que nesse instante T_1 esteja cortado e T_2 saturado, logo teremos no ponto B da figura 9-13 uma tensão igual a V_{CC} e no ponto A igual a 0,3V.

Consideremos agora o estado do circuito após decorrido um tempo "t", ou seja: t = t0+t.

Ainda com relação às condições adotadas temos que o ponto A estará praticamente em terra (0,3V), logo, C_2 se descarregará através do coletor de T_2, carregando-se em sentido contrário, agora através de R_4 elevando desta maneira o potencial do ponto E, fazendo com que T_1 que estava cortado, caminhe para a saturação.

T_1 indo para a saturação, leva T_2 para o corte, dessa maneira o ponto B será de aproximadamente 0,3V (praticamente o ponto B estará em terra), e o capacitor C_1 se descarregará pelo coletor de T_1, carregando-se agora em sentido contrário por R_3.

Desta forma o potencial do ponto D irá aumentar e T_2 será levado à saturação fazendo com que T_1 vá para o corte, estabelecendo-se assim um estado oscilatório.

A figura 9-15 mostra as formas de onda de saída do multivibrador astável.

Como principais características do multivibrador astável podemos citar:

- tem sua frequência de oscilação controlada pelas constantes de tempo de carga e descarga dos capacitores.
- a saída pode ser retirada de qualquer um dos coletores dos dois transistores usados.

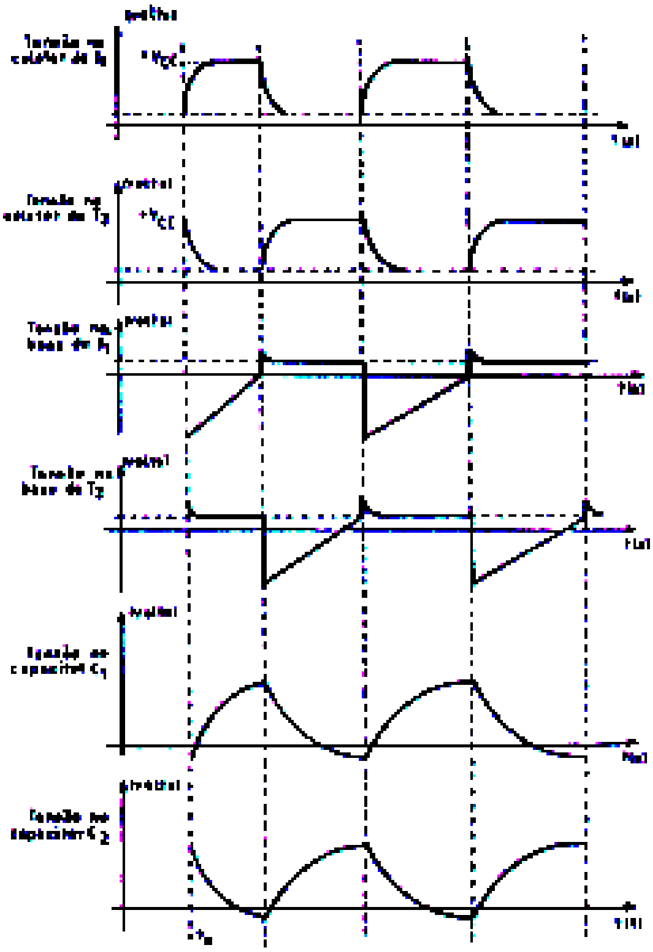


Figura 9-15 Formas de onda de saída do multivibrador astável

CAPÍTULO 10

TRANSISTORES ESPECIAIS

INTRODUÇÃO

Os laboratórios das grandes fábricas de dispositivos semicondutores procuram continuamente melhorar as características e diminuir as limitações dos transistores utilizados e também descobrir novos tipos com características diferentes que permitam aplicações até então fora do campo dos transistores e, de maneira geral, dos semicondutores.

Foram estão criados numerosos tipos de transistores, muitos dos quais baseados no mesmo princípio de operação do transistor bipolar, mas, fabricados por meio de técnicas novas ou modificações das técnicas já conhecidas. Outros tipos de transistores baseiam-se em princípios diferentes do transistor bipolar. São esses tipos que estudaremos a seguir.

TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO

O transistor de efeito de campo, conhecido como TEC ou FET (Field Effect Transistor), apresenta características elétricas bastante interessantes que permitem sua utilização numa gama muito grande de aplicações práticas.

A diferença fundamental entre os transistores de efeito de campo e os de junção convencionais é que nos primeiros, a corrente é dada pelo fluxo de portadores de um só tipo. Por este motivo, os transistores de efeito de campo são conhecidos como transistores unipolares em contraposição aos demais que são bipolares.

Construção física

O mais comum dos transistores de efeito de campo é o tipo de junção, também chamado de TECJ ou JFET. A figura 10-1 ilustra uma sequência da constituição física do TEC. Ele é formado por uma minúscula barra de silício, que pode ser tipo "N" ou "P", formando o que é conhecido com o nome de canal.

Em cada extremo da barra são feitos contatos ôhmicos que são chamados de dreno (*drain*) ou fonte (*source*). No centro, em torno da barra, é aplicada uma camada de silício do tipo oposto ao do material do canal (tipo N ou P). Neste material é feito contato ôhmico, formando a porta ou gatilho (gate).

A figura 10-2 ilustra a constituição física dos transistores TECJ com canais tipo N e P e os respectivos símbolos. Conforme o material do canal seja do tipo N ou P, a seta aponta respectivamente, para dentro ou para fora do transistor.

No TEC canal P, por exemplo, a seta é dirigida para fora do transistor. Com efeito, se o material do canal é do tipo N, o gatilho é formado de material tipo P e, portanto, a seta aponta para dentro.

NOTA: Usaremos indistintamente as seguintes nomenclaturas: porta ou gatilho (P de porta ou G de gatilho); fonte ou supridouro (S de *source* ou de supridouro).

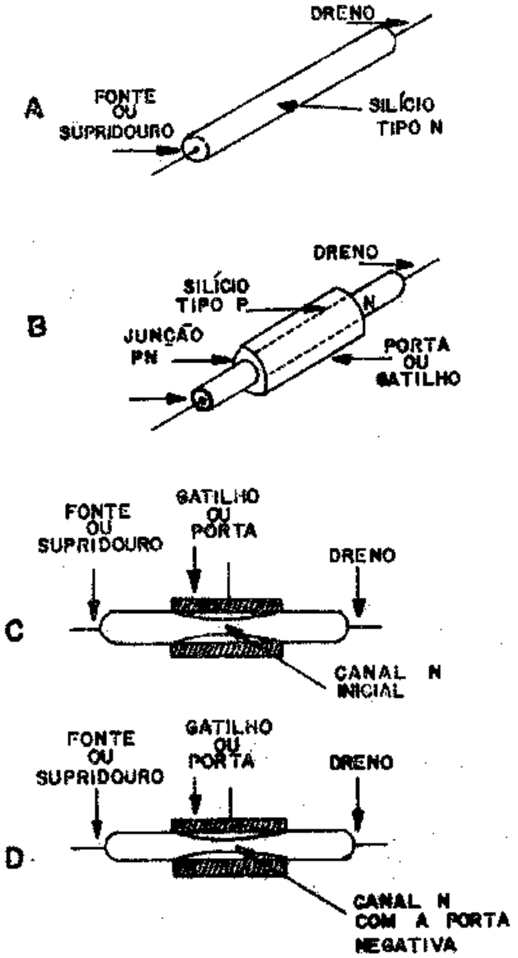


Figura 10-1 Seqüência da constituição física do TEC canal N

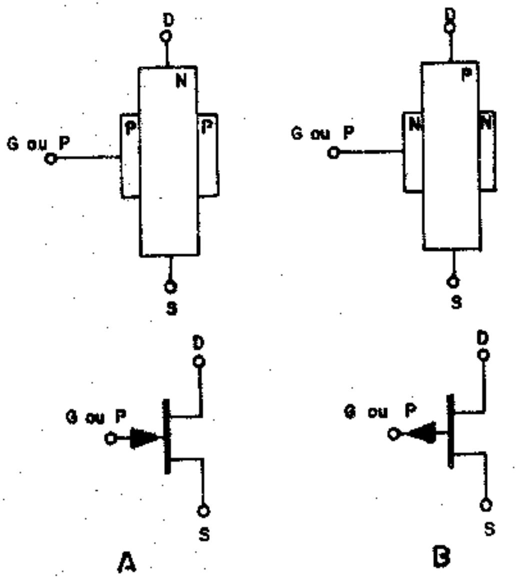


Figura 10-2 Constituição física e símbolos dos transistores TEC canal tipo N e canal tipo P

Funcionamento

Podemos observar, na figura 10-3, a polarização normal de funcionamento do TEC canal tipo N.

O gatilho, normalmente polarizado inversamente em relação à fonte, faz com que a entrada tenha alta impedância. A tensão aplicada ao gatilho tem alto poder de controle sobre a corrente fonte-dreno, por causa do aumento da área de depleção e redução da área efetiva de condução.

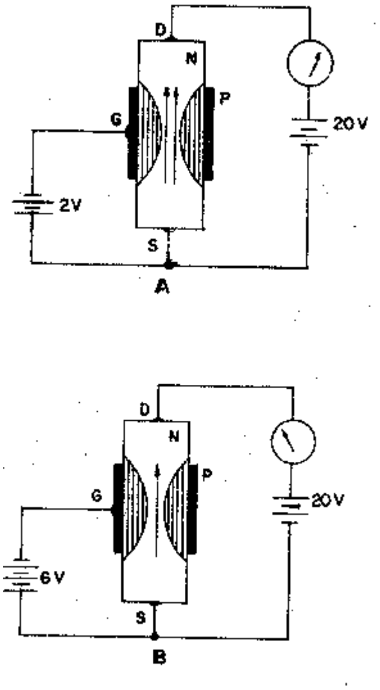


Figura 10-3 Variação da corrente em função da polarização inversa

Podemos observar, em A da figura 10-3, onde a polarização é somente de 2 volts, que a corrente através do canal do transistor é grande; ao contrário, em B, onde temos a tensão de –6V no gatilho, a corrente é bem menor. A diferença entre um TEC canal N e outro de canal P é a inversão da polaridade de todas as tensões, da mesma forma como nos transistores comuns do tipo PNP e NPN.

Curvas características

A figura 10-4 mostra as curvas características de um TEC típico canal N.

Observamos que a corrente de dreno é máxima, ou seja, a corrente de saturação (8 mA), quando a polarização entre gatilho e supridouro é igual a zero.

Quando aumentamos a polarização inversa, a corrente no dreno diminui gradativamente até chegar a zero. Isto acontece quando a tensão é de –6V aproximadamente. Esta polarização inversa, necessária para suprimir totalmente a corrente através do transistor, é chamada de tensão de corte.

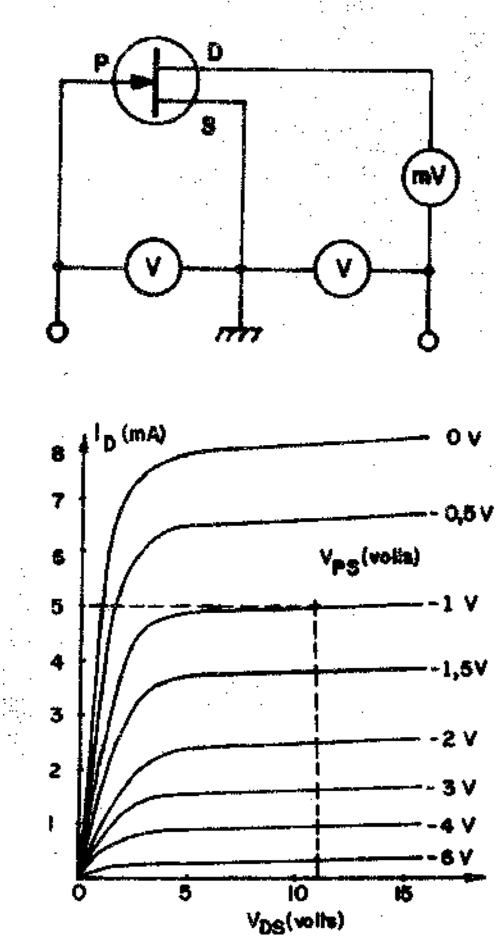


Figura 10-4 Curvas características de um TEC canal N

Esta tensão de corte, para a maioria dos transistores TEC está situada entre –6 e –10V.

Podemos também verificar, através de curvas, que a variação de tensão do dreno acima do joelho (5 volts) tem pouca influência sobre a corrente de dreno (I_D).

Pelo espaçamento regular que se obtém com polarizações até –2 volts nota-se que o transistor pode amplificar sinais pequenos com um mínimo de distorção.

A resistência interna entre dreno e fonte varia conforme a polarização; assim, temos com zero volts no gatilho (porta) uma resistência interna por volta de 150 ohms, enquanto que com polarização inversa acima de –6 volts obtem-se valores superiores a 1000 megohms.

O TEC, da mesma forma como os transistores comuns, também pode ser usado em 3 configurações, sendo que a mais usada é o supridouro ligado à massa, que corresponde ao circuito emissor à massa.

Como podemos observar, o circuito é muito semelhante ao de um amplificador usando válvula triodo.

A autopolarização do TEC pode ser feita da mesma maneira como na válvula, isto é, pelo resistor do supridouro. Por exemplo, se escolhermos o ponto de trabalho do transistor em 5 miliampéres e verificarmos, pelas curvas características, que para isso é necessária uma polarização no gatilho de –1 volt, o resistor de supridouro (R_1) deve ter um valor de:

$$R_1 = \frac{1\,V}{0{,}005\,A} = 200\,ohms\,.$$

O resistor é normalmente escolhido em função da frequência de trabalho. O resistor R_2 corresponde à resistência de carga (R_L). A fase do sinal de saída está 180 graus invertida em relação ao sinal de entrada.

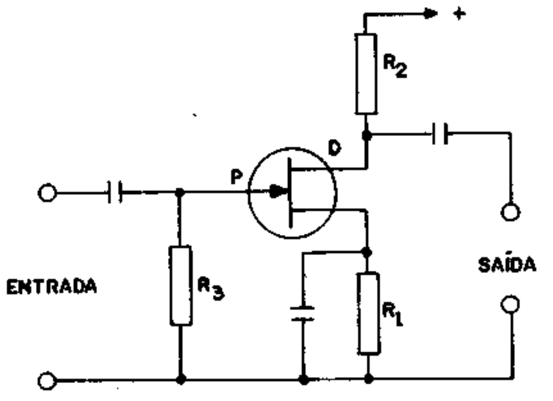


Figura 10-5 Amplificador típico com TEC

A principal vantagem do transistor de efeito de campo diz respeito à sua impedância de entrada que, na realidade, é dada pela impedância de um diodo inversamente polarizado, podendo atingir, dependendo do tipo do TEC, valores tão altos como centenas de megohms. Isto possibilita aplicações impossíveis para os transistores bipolares.

Finalmente devemos apresentar outro tipo de transistor de efeito de campo, o chamado IGFET (Insulated Gate Field Effect Transistor), também chamado MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

O funcionamento deste transistor é diferente do anterior no sentido de que, com tensão V_{GS} nula, não há nenhuma condução no dreno.

Quando aplicamos uma tensão positiva, por exemplo, no caso da figura 10-6, surge na superfície da região N um canal tipo P, correspondente ao dreno e à fonte, possibilitando, então, o deslocamento de buracos entre a fonte e o dreno.

A vantagem deste tipo de transistor é a elevadíssima impedância de entrada, e é com este tipo que se consegue obter os valores mais elevados.

Outra extraordinária vantagem deste último tipo de FET é que ele possibilita a fácil fabricação de complexos arranjos integrados com aplicações sem limites no campo digital.

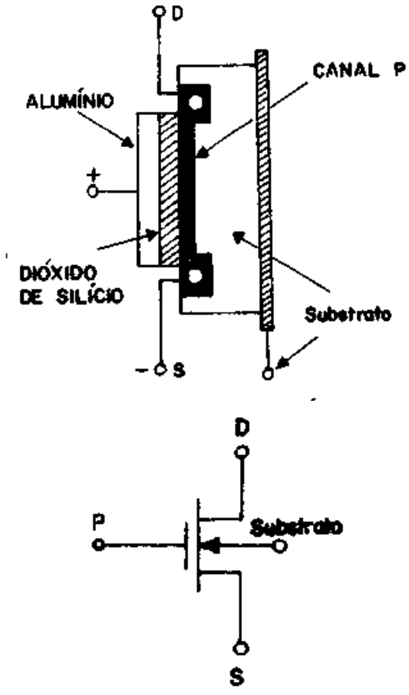


Figura 10-6 Constituição e símbolo do MOSFET canal P

TRANSISTOR DE UNIJUNÇÃO

O transistor de junção única (TJU ou UJT) é um dispositivo semicondutor de três terminais que tem sua principal aplicação em circuitos osciladores não senoidais e de comutação.

A figura 10-7 mostra a constituição física e o símbolo do transistor de unijunção. Ele é constituído por uma pequena barra de silício do tipo N, na qual são feitos contatos ôhmicos nos extremos que são denominados Base 1 (B_1) e Base 2 (B_2) e na parte lateral é feita uma junção PN, na qual também é feito um contato ôhmico, o que constitui o emissor. Eletricamente, o TJU atua como divisor resistivo de tensão, entre B_1 e B_2 e um diodo no centro.

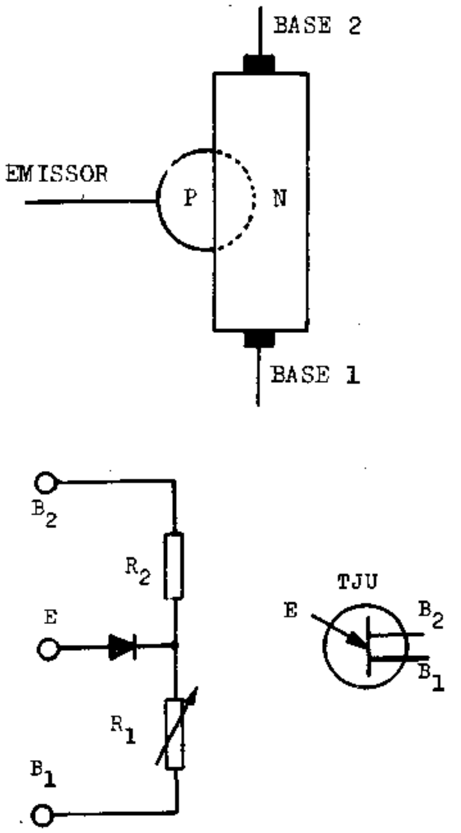


Figura 10-7 Construção física, circuito equivalente e símbolo elétrico do TJU

Curvas características

Vimos que entre as bases B_1 e B_2, o dispositivo apresenta a característica de um resistor comum. Quando a base B_2 está aberta, isto é, quando I_{B2} é igual a zero, temos apenas no circuito a junção E-B_1, polarizada diretamente pela bateria V_{EE}. Isto significa que, quando I_{B2} for igual a zero, a curva característica relacionando I_E e V_E será a de um diodo comum, como podemos observar na "curva 1" da figura 10-8.

Devemos observar que nesta figura a corrente I_E está representada no eixo das abscissas e a tensão V_E no eixo das ordenadas, o que explica o aparecimento diferente da "curva 1" de um diodo comum.

Além disto, devemos salientar que a "curva 2" foi traçada para uma dada tensão V_{BB}, obtendo-se curvas com aspecto semelhante para diferentes tensões de V_{BB}.

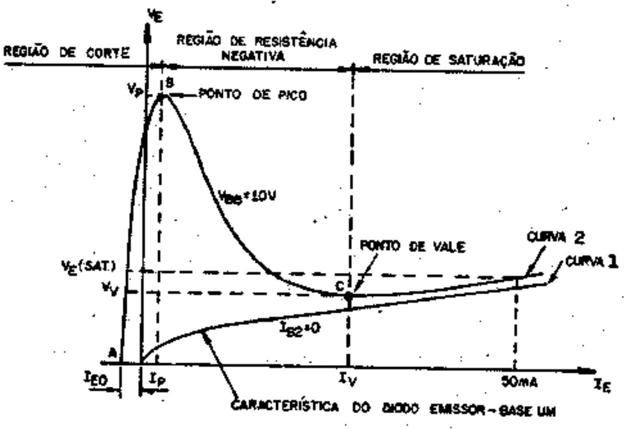


Figura 10-8 Curvas características de um transistor unijunção

Partindo do ponto "A", à medida que a tensão V_E aumenta, a corrente vai aumentando lentamente até que seja atingido o ponto "B"(chamado de ponto de pico), a partir do qual a tensão diminui e a corrente aumenta. Portanto, o trecho B_C é caracterizado pelo fato, aparentemente contraditório, de uma diminuição da tensão provocar um aumento de corrente.

Isto é explicado se considerarmos que, no trecho B_C, o dispositivo apresenta uma resistência negativa, característica esta que permite a aplicação do transistor de unijunção em osciladores (geradores dentes-de-serra, multivibradores, etc).

A figura 10-9 mostra as curvas características de saída do transistor de unijunção.

Podemos observar a relação entre a corrente I_{B2} e a tensão de saída, entre as bases, para diferentes valores da corrente no emissor (I_E).

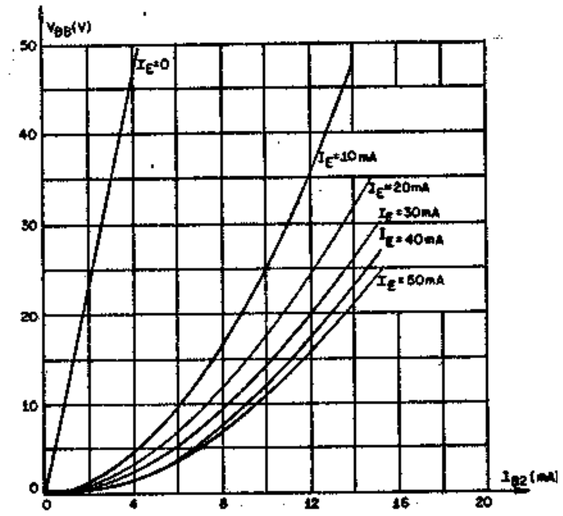


Figura 10-9 Curvas características de um transistor de unijunção, relacionando I_{B2}, V_{BB} e I_E

Aplicação

Um exemplo simples da aplicação do TJU é o circuito da figura 10-10 que é um oscilador de relaxação.

Quando o interruptor é ligado, a ação divisora de tensão, da resistência da barra de silício do TJU, da base um e da base dois, em série produz uma queda de 12 volts, aproximadamente, entre a base um e o lado N da junção do emissor.

Neste momento, a tensão do emissor é zero, por causa do capacitor C_1. O capacitor C_1 começa a adquirir carga através do resistor R_1. Quando a tensão do capacitor chega a 12 volts, a junção do emissor se polariza diretamente e começará a fluir uma corrente pela base um, reduzindo a resistência interna. Esta ação descarrega a energia armazenada no capacitor, através do resistor R_3. Logo, o ciclo se repete e o capacitor se recarrega e volta a descarregar-se.

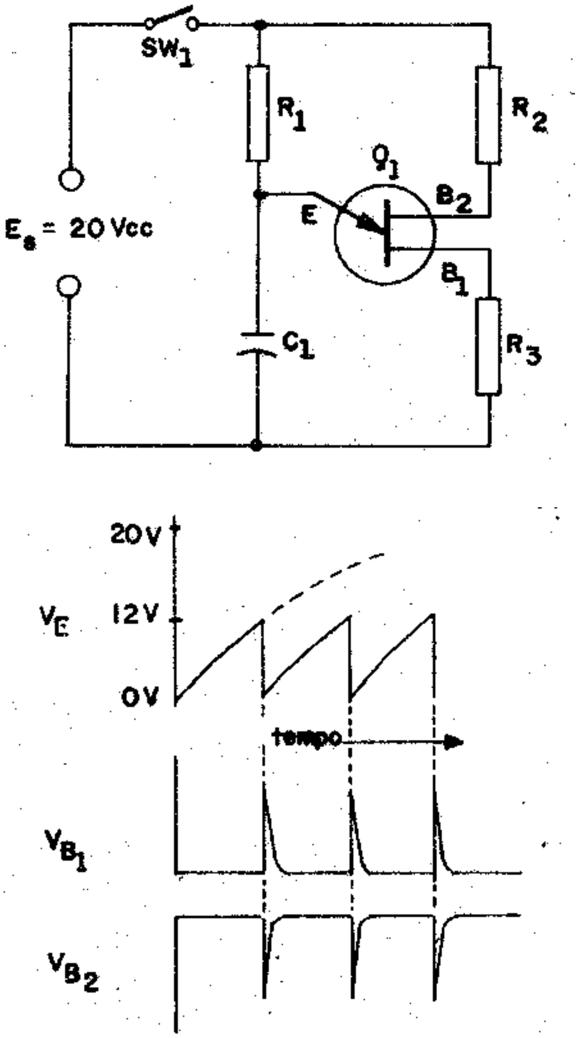


Figura 10-10 Oscilador de relaxação

Cada vez que o emissor se polariza diretamente, diminui a resistência total entre as bases um e dois, o que permite um aumento na corrente que passa pelo TJU.

Como resultado, na base um aparecerá um pulso positivo e na base dois um pulso negativo, no momento em que o capacitor se descarrega. Assim temos no emissor uma onda dente-de-serra.

CAPÍTULO 11

CIRCUITOS INTEGRADOS

INTRODUÇÃO

Com a invenção do transistor os projetistas puderam produzir equipamentos eletrônicos menores, mais versáteis e de maior confiabilidade. Porém o transistor foi apenas o primeiro passo para um avanço tecnológico ainda maior, a implementação do circuito integrado monolítico.

Os circuitos integrados, com as funções próprias de um circuito completo, em um espaço comparável ao que antes era ocupado por um único transistor, estão convertendo-se nos componentes básicos dos equipamentos eletrônicos.

Para a construção de um circuito integrado efetua-se uma série de operações de difusão gasosa e centenas de circuitos integrados são produzidos simultaneamente em uma pastilha de silício, com cerca de 3 cm de diâmetro.

MICROELETRÔNICA

Na eletrônica sempre houve uma tendência de miniaturização dos equipamentos. O aparecimento do transistor e do diodo semicondutor depois da guerra, incentivou mais o desenvolvimento dessa miniaturização.

A utilização dos elementos semicondutores em miniatura foi possível devido às características do transistor permitir o funcionamento dos circuitos com baixa tensão e potência.

A montagem de transistores e outros componentes em pequenas placas de circuitos impressos proporcionou uma redução significativa no tamanho e peso dos equipamentos.

O resultado, mesmo em miniatura era, todavia, convencional no que se refere à montagem dos diversos componentes, formando o que se poderia chamar de micromontagem. A partir daí as pesquisas se desenvolveram, chegando atualmente à chamada microeletrônica.

Um circuito integrado é um caso particular de microeletrônica, recebendo essa denominação um conjunto inseparável de componentes eletrônicos, em uma única estrutura, a qual não pode ser dividida sem que se destruam suas propriedades eletrônicas.

Os circuitos integrados de semicondutores podem ser divididos em dois grupos: os circuitos monolíticos e os circuitos híbridos. Nos circuitos monolíticos todos os componentes dos circuitos são fabricados por meio de uma tecnologia especial dentro de uma mesma pastilha de silício, enquanto que nos circuitos híbridos, várias pastilhas são colocadas em um mesmo invólucro e são conectadas entre si.

TÉCNICA DE FABRICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS MONOLÍTICOS

Como mencionado anteriormente os circuitos integrados monolíticos são aqueles em que todos os componentes do circuito são fabricados simultaneamente em um único cristal de silício com menos de 1mm^2 de área.

O processo usado atualmente para a fabricação de CI (circuito integrado), é baseado na técnica de difusão do silício, que foi desenvolvida para a fabricação de transistores de silício.

Inicialmente o material é um cristal de silício simples, do tipo P ou do tipo N, como mostrado em “A”.

As técnicas de difusão permitem a introdução de impurezas nas profundidades e larguras desejadas no material inicial. A penetração vertical das impurezas é controlada pela temperatura de difusão e pelo tempo. O controle lateral de difusão torna-se possível pela combinação das propriedades de vedação do dióxido de silício com as técnicas fotoquímicas.

Quando determinadas regiões do tipo N são difundidas em um material inicial do tipo P, como mostrado na figura “B”, são formados núcleos isolados no circuito.

Os diodos formados pela substância P e os núcleos do material tipo N, fornecem o isolamento elétrico entre os núcleos.

A difusão de regiões adicionais do tipo P e do tipo N formam transistores, como mostrado na figura “C”.

As fases básicas às quais é submetido o silício, durante o processo de fabricação do CI são mostradas na figura 11-1

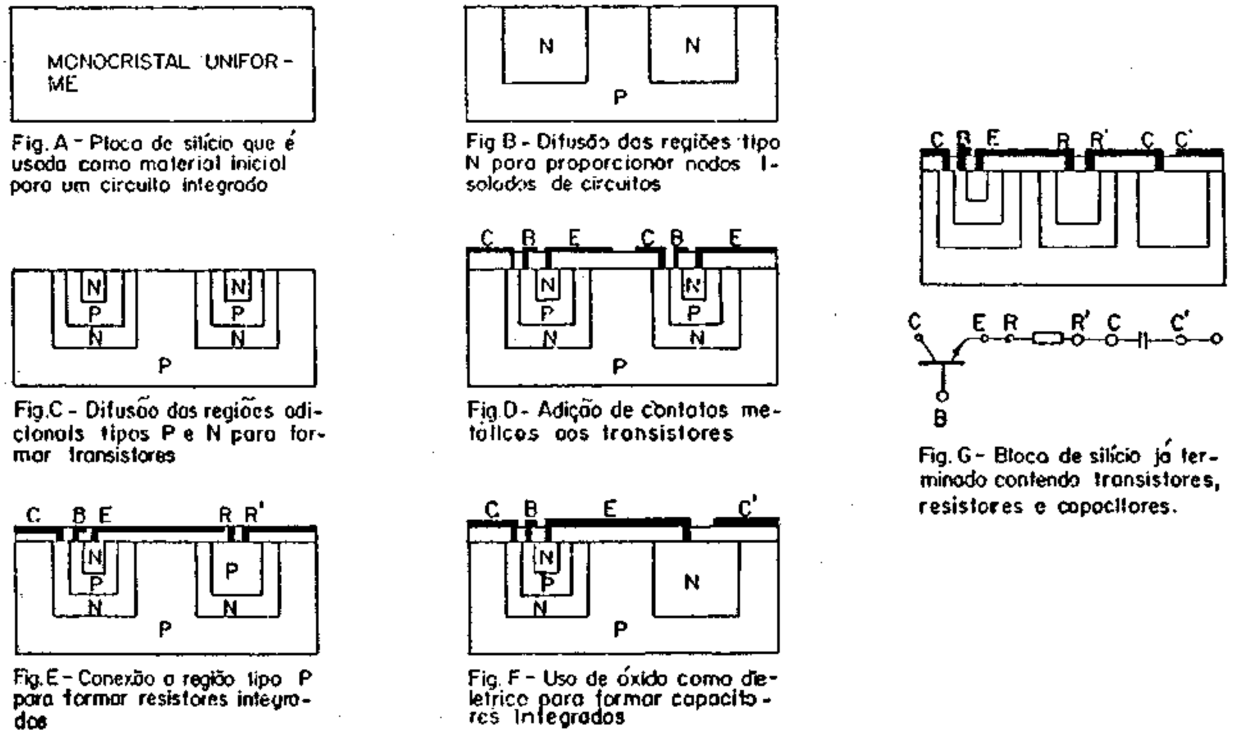


Fig. A - Bloco de silício que é usado como material inicial para um circuito integrado

Fig B - Difusão das regiões tipo N para proporcionar nodos isolados de circuitos

Fig.C - Difusão das regiões adicionais tipos P e N para formar transistores

Fig.D - Adição de contatos metálicos aos transistores

Fig.E - Conexão a região tipo P para formar resistores integrados

Fig. F - Uso de óxido como dielétrico para formar capacitores integrados

Fig. G - Bloco de silício já terminado contendo transistores, resistores e capacitores.

Figura 11-1 Fases do processo de fabricação do CI

A placa de silício é então, revestida com uma camada de óxido isolante. Essa camada é aberta nos pontos adequados, para permitir a metalização e a interconexão, como mostrado na figura “D”.

Quando se necessita de resistores no circuito, a difusão do emissor do tipo N é omitida e dois controles ôhmicos são estabelecidos para uma região do tipo P, formada simultaneamente com a difusão da base, como mostrado na figura “E”.

Quando se necessita de capacitores, o próprio óxido é usado como dielétrico, como mostrado na figura “F”.

A figura “G” mostra a combinação de três tipos de elementos em uma placa simples.

Devido ao fato do processo básico de fabricação dos circuitos integrados ser idêntico ao usado para fabricar transistores, estes em um circuito integrado feito por esse processo são similares aos convencionais. Por outro lado, os resistores dos circuitos integrados são completamente diferentes dos comuns.

Nos resistores comuns os diferentes valores ôhmicos são obtidos variando-se a resistência do material condutor, já nos circuitos integrados a resistência do material não pode variar para se obter valores diferentes de resistores, porque a resistência do material é determinada pelo valor requerido para a fabricação do transistor, e seu valor ôhmico depende basicamente de sua forma geométrica.

O valor do resistor é determinado pelo produto de sua espessura “S” de difusão pela razão entre o comprimento “L” e a largura “W”, ou seja:

$$R = S \bullet \frac{L}{W}$$

O valor da capacitância de um capacitor integrado é dado pelo produto de uma superfície “A” e a razão entre a constante dielétrica “E” do material difundido e a espessura do óxido “d”, ou seja:

$$C = A \bullet \frac{E}{d}$$

TIPOS DE ENCAPSULAMENTO E CONTAGEM DE PINOS

O invólucro de um circuito integrado desempenha quatro funções importantes:

a) Protege a pastilha de silício contra a ação do meio ambiente, que de certo modo pode alterar as características do CI;

b) Protege mecanicamente a pastilha do circuito integrado;

c) Possibilita um meio simples de interligar o CI com os outros componentes do circuito;

d) Dissipa o calor dentro da pastilha, durante o funcionamento do CI.

Na figura 11-2 são mostrados alguns dos invólucros usados na prática.

Os dois primeiros CI's possuem invólucro do tipo "dual" em linha, sendo a cápsula geralmente de material plástico e moldada em torno dos terminais do suporte onde a pastilha de silício foi montada.

O último CI mostrado na figura possui invólucro do tipo TO (metálico), extensivamente usado em muitos tipos de transistores.

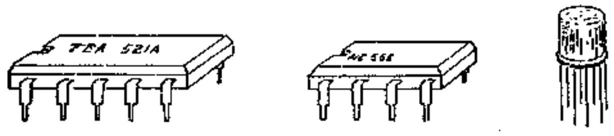


Figura 11-2 Invólucros usados em CI's

A contagem de pinos de circuitos integrados com encapsulamento do tipo "dual" é feita, contando-se a partir do guia de referência no sentido anti-horário como mostrado na figura 11-3

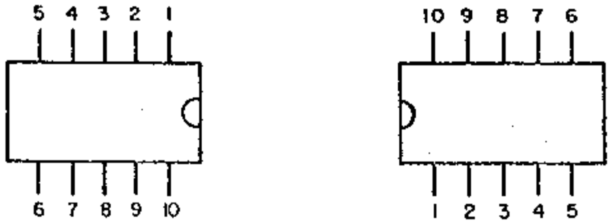


Figura 11-3 Contagem de pinos em CI's

Já para o CI com encapsulamento do tipo TO a contagem é feita do pino guia para a direita no sentido horário, quando a vista interior de sua base estiver voltada para o observador. Essa contagem é mostrada na figura 11-4.

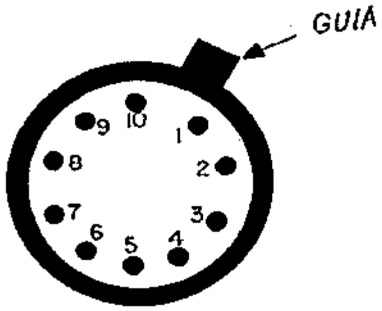


Figura 11-4 Contagem de pinos para CI com encapsulamento do tipo TO.

CAPÍTULO 12

SENSORES

SENSOR DE UMIDADE

Existem certos materiais semicondutores cuja resistência varia com a umidade relativa do ar. Estes materiais têm um certo padrão específico de carga elétrica em suas moléculas e os níveis de energia entre elas são controlados mediante a umidade do ar.

Este tipo de dispositivo semicondutor é fabricado na forma de película delgada, depositada sobre os eletrodos que estão dispostos um ao lado do outro. A resistência entre os eletrodos varia com a quantidade de umidade do meio ambiente, pela qual é possível medir a umidade relativa do ar.

A figura 12-1 mostra a curva característica, dada pelo fabricante. Por essa curva pode-se observar que o sensor de umidade apresenta uma resistência elevada que decresce rapidamente com o aumento da umidade.

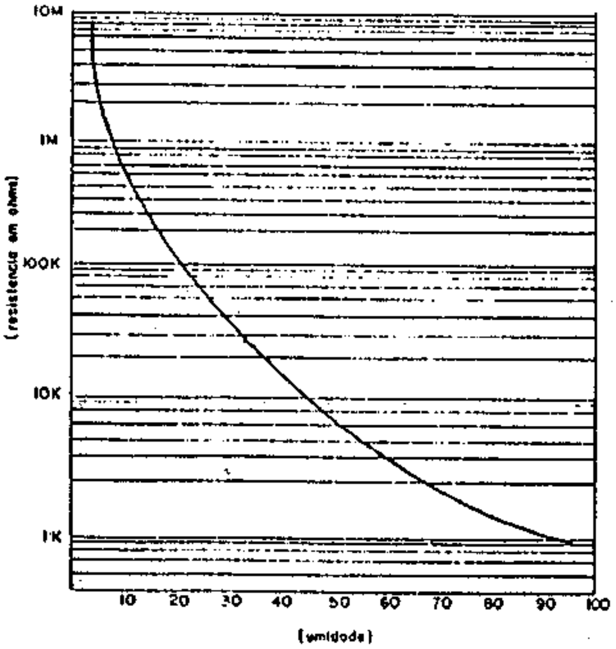


Figura 12-1 Curva de variação da resistência com a umidade

A figura 12-2 mostra um circuito que pode ser usado, por exemplo, para medir a umidade relativa do ar de um depósito de componentes eletrônicos.

A lâmpada L_1 acenderá todas as vezes que a umidade do ar atingir níveis prejudiciais aos componentes eletrônicos do depósito.

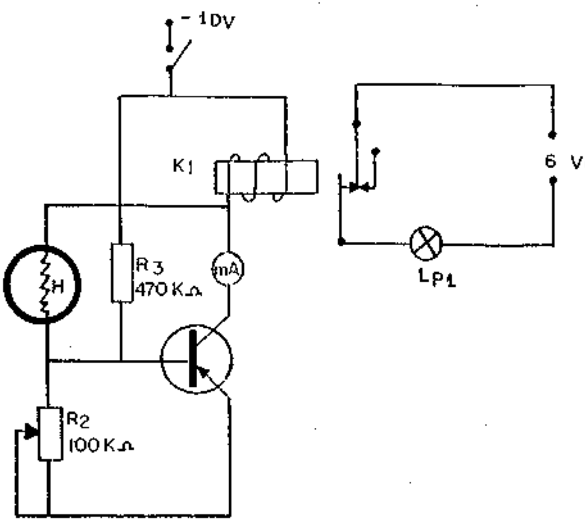


Figura 12-2 Circuito medidor da umidade relativa do ar

O circuito da figura 12-2 possui o funcionamento descrito a seguir.

Havendo um aumento da umidade relativa do ar, a resistência do sensor de umidade diminui, ocasionando um aumento da polarização direta base-emissor e com isso também um aumento de I_C.

Se o miliamperímetro estiver graduado em percentagem de umidade do ar, teremos desta forma uma indicação precisa dessa umidade.

Porém, se a umidade do ar continuar a aumentar, o relé K_1 será ativado através do aumento de I_C, fazendo com que a lâmpada L_1 acenda, indicando que a umidade está sendo prejudicial aos componentes.

TERMISTORES

Os termistores são componentes eletrônicos que têm a capacidade de alterar a resistência ôhmica com a variação da temperatura.

Existem termistores com coeficiente de temperatura positiva (PTC) e negativo (NTC), ou seja, no primeiro caso teremos um aumento de resistência quando ocorrer um aumento de temperatura e no segundo caso teremos uma diminuição no valor ôhmico do termistor quando ocorrer um aumento de temperatura.

Os termistores são amplamente utilizados em circuitos de polarização de transistores pois neste caso, eles compensariam as variações da polarização devido ao aumento ou diminuição da temperatura.

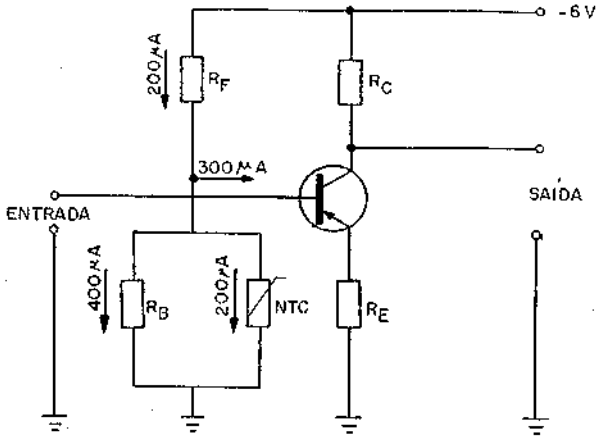


Figura 12-3 Circuito com estabilização de polarização

Os termistores com coeficiente negativo de temperatura (NTC) são os mais utilizados.

Um circuito com estabilização de polarização através de um NTC é mostrado na figura 12-3.

A tensão V_{BE} do circuito é 0,2V e a I_B é 300 mA. Com o aumento da temperatura ambiente a I_C tende a aumentar devido ao aumento da I_{CO}.

Porém, esse aumento da temperatura afeta também o NTC, diminuindo sua resistência, ocasionando um aumento da corrente através dele.

Essa maior corrente solicitada aumenta a queda de tensão em R_F, diminuindo a V_{BE} e com isso menores serão a I_B e a I_C.

O resultado é que este dispositivo tende a manter o circuito no seu ponto de operação.

A figura 12-4 a seguir mostra as curvas características de um NTC e um PTC respectivamente.

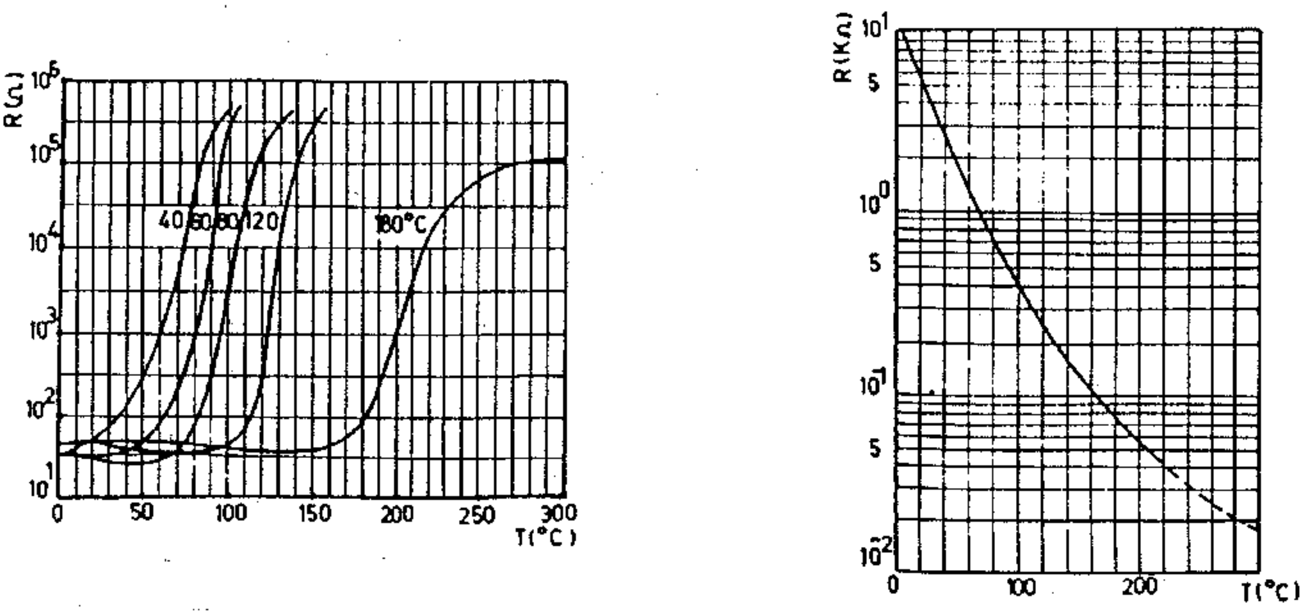


Figura 12-4 Curvas características de um NTC e de um PTC

DISPOSITIVOS FOTOSSENSÍVEIS

Diz-se que um dispositivo é fotossensível se o mesmo alterar suas características mediante a incidência de luz.

Dentro do grupo de componentes fotossensíveis, destacam-se as células fotoelétricas que podem ser a gás ou a vácuo, as células fotocondutivas que podem ser do tipo fotor resistor, fotodiodo e fototransistor e as células fotovoltaicas.

Células fotocondutivas

Estas células baseiam-se no fenômeno descrito a seguir, que ocorre quando um fluxo luminoso incide sobre um material semicondutor.

Quando isso acontece, os fótons (partículas que compõem a luz) podem fornecer aos elétrons energia suficiente para produzir a ruptura das ligações covalentes, um elétron abandona a ligação deixando uma lacuna em seu lugar. Portanto a ação dos fótons ocasiona a produção de pares elétron-lacuna, o que provoca o aumento da condutividade no semicondutor.

Este fenômeno é conhecido como fotocondutividade.

Entre os dispositivos que funcionam baseados no fenômeno da fotocondutividade temos os fotorresistores, fotodiodos e os fototransistores.

Fotorresistores

Os fotorresistores são constituídos de material semicondutor.

Quando um fluxo luminoso incide sobre eles a sua condutividade aumenta, ou seja, a sua resistência diminui.

Os materiais mais utilizados para a construção dos fotorresistores são o sulfato de cádmio e o sulfeto de chumbo.

Os fotorresistores são caracterizados pelas iniciais LDR (Light Dependent Resistor), ou seja, resistor dependente da luz.

Os fotorresistores são geralmente aplicados em circuitos para a operação de relés.

A figura 12-5 ilustra esse processo.

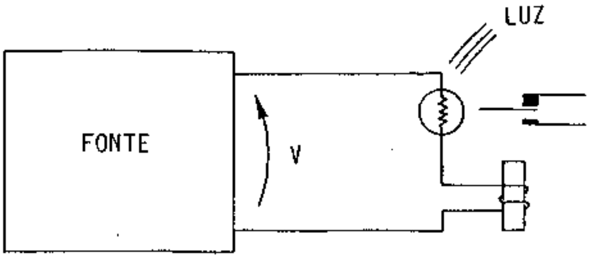


Figura 12-5 Circuito de aplicação do fotorresistor

Quando não há fluxo luminoso, a resistência do LDR é alta e a corrente que circula na bobina do relé não é suficiente para aciona-lo. Quando um fluxo luminoso incide sobre o fotorresistor a sua resistência diminui, a corrente aumenta atingindo um valor suficiente para acionar o relé.

Consequentemente, com esse simples circuito é possível efetuar o controle automático de portas, alarmes de segurança, controles de iluminação de ambientes etc.

Fotodiodo

Os fotodiodos são constituídos de maneira análoga aos diodos de função já estudados..

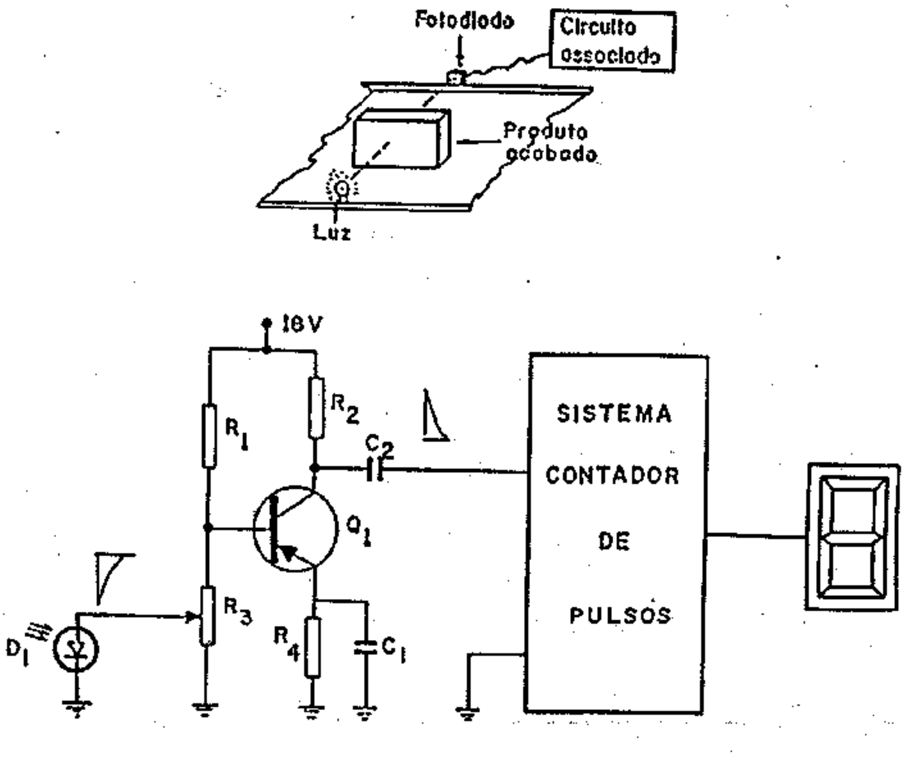


Figura 12-6 Aplicação do fotodiodo

A única diferença é que a função PN é influenciada pela intensidade da luz, através de uma janela de material transparente adaptada na parte superior de seu invólucro.

Alguns fotodiodos possuem nesta janela uma pequena lente convergente que concentra ainda mais os feixes de luz.

O fotodiodo, em condições normais é polarizado no sentido inverso e, portanto, circula através do diodo apenas a corrente de fuga.

Quando um feixe luminoso incide na função, são quebradas ligações covalentes, aumentando a concentração de portadores minoritários e conseqüentemente, a corrente de fuga aumenta.

Esse aumento da corrente vai atuar num circuito acoplado ao fotodiodo.

O circuito da figura 12-6 tem por objetivo processar a contagem de produtos que estão sendo transportados por uma correia

O fluxo luminoso proveniente de uma lâmpada é interrompido quando o produto se interpõe entre a lâmpada e o fotodiodo.

Quando isso ocorre a corrente através do diodo diminui, fazendo com que a tensão estática aplicada na base do transistor amplificador aumente. Isso provoca um aumento da polarização direta base-emissor, logo, a I_C aumenta, fazendo com que a tensão coletor-terra diminua.

Desta forma temos na saída do circuito um pulso que é acoplado ao contador. Estes pulsos serão registrados pelo contador, o qual informará a quantidade de objetos.

Fototransistores

Esses dispositivos são constituídos por duas funções PN acondicionados num invólucro, tendo uma pequena lente que converge o fluxo luminoso sobre a função base-emissor, a qual é denominada função fotossensível.

Quando a luz incide em sua função base-emissor sua condutividade aumenta, ocasionando um aumento na corrente de coletor.

Quanto mais intenso for o fluxo luminoso, mais intensa será a corrente de coletor.

Devido a sua amplificação, o fototransistor fornece dez vezes mais corrente que o fotodiodo, sob as mesmas circunstâncias.

Os fototransistores possuem as mesmas aplicações dos fotodiodos tais como a leitura ótica, controle automático de brilho etc. Todavia, apresentam a vantagem de não necessitar de ampliação adicional.

Células fotovoltaicas

Como o nome indica, essas células produzem uma tensão elétrica quando submetidas a ação de um fluxo luminoso.

Uma das aplicações mais típicas das células fotovoltaicas é nos chamados fotômetros que são instrumentos usados pelos fotógrafos para obterem informações sobre a iluminação do ambiente.

Quando a luz incide sobre a fotocélula, que é normalmente de selênio, é produzida uma tensão que é aplicada a um milivoltímetro graduado em unidades de intensidade de luz.

Bateria solar

Uma aplicação moderna de grande importância das células fotovoltaicas é nas chamadas “baterias solares”.

Células são colocadas, em grande número, lado a lado e ligadas de maneira conveniente, em série, em paralelo ou em combinação série-paralelo.

Quando exposto à luz solar, o conjunto pode fornecer energia suficiente para o funcionamento dos instrumentos de um farol, de uma estação meteorológica e principalmente de um satélite artificial.

CAPÍTULO 13

REGULADORES DE TENSÃO

O DIODO ZENER COMO REGULADOR DE TENSÃO

O diodo Zener é um dispositivo semicondutor, de dois terminais, diferente dos diodos comuns, tanto na sua construção física, quanto no seu funcionamento.

O Zener possui uma junção maior que a do diodo comum, o que possibilita uma dissipação de potência.

Quanto ao seu funcionamento, foi projetado para operar na região inversa da curva característica e assim sendo, sua polarização normal é a polarização inversa.

Apesar do seu funcionamento diferir um pouco do diodo comum, o Zener pode operar do mesmo modo que o diodo anteriormente estudado.

Os diodos que operam na região inversa da curva característica são chamados Zener, ou diodo de referência, ou ainda diodo de avalanche.

CARACTERÍSTICAS DO DIODO ZENER

A diferença essencial, entre um diodo Zener e um diodo comum, está no grau de definição do ponto (tensão) de Zener.

O diodo Zener possui um joelho de alta tensão, de curvatura bastante acentuada, ao passo que outros diodos possuem uma curvatura mais suave, como se vê na figura 13-1.

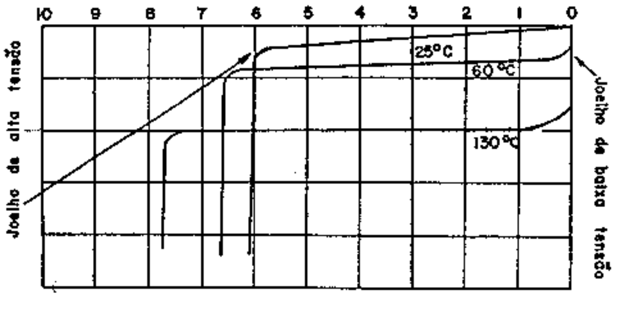


Figura 13-1 Curva na região inversa do diodo comum

Outra característica importante do diodo Zener é a maior largura física da junção. A razão de ser desta característica está na potência que a junção pode dissipar.

Por exemplo, um diodo comum de Ge, com uma corrente de 1 mA, dissipa:

Pj = 1 mA x 0,25 V = 0,25 mW

Como o diodo Zener opera com tensões mais elevadas (6 volts), teríamos, com a mesma corrente de 1 mA, a potência:

Pj = 1 mA x 6 V 6 mW

Por este motivo é que a junção do diodo Zener deve ser maior que a de um diodo comum, a fim de possibilitar uma dissipação maior.

O diodo Zener pode ser usado em substituição à válvula V_R, como mostra a figura 13-5. Isso se deve à característica do Zener que mantém a tensão constante, dentro de determinados limites, quando está operando na região de Zener.

Funcionamento

O diodo comum não deve atingir a zona Zener, sob pena de possível destruição, enquanto que o Zener é projetado e fabricado para trabalhar nesta região.

Quando o diodo Zener é polarizado inversamente, uma corrente muito pequena circula através dele – é a corrente de fuga. À medida que a tensão inversa cresce, também cresce o campo elétrico existente na região de transição. Este campo pode acelerar, suficientemente, os elétrons livres, fazendo com que eles adquiram bastante energia, para provocar por choque, o rompimento das ligações covalentes.

Consideremos de início, a situação de um elétron livre. Quando este elétron sofre a ação de um campo elétrico, adquire uma aceleração suficiente, para romper uma ligação covalente. Com isso, passam a existir três portadores – uma lacuna e dois elétrons. Estes dois elétrons podem ser acelerados e provocar o rompimento de duas outras ligações, fornecendo agora, sete portadores – quatro elétrons e três lacunas. Em pouquíssimo tempo ocorre uma multiplicação de portadores de carga – avalanche – a corrente cresce, sendo limitada somente pela resistência externa do circuito.

A tensão sobre o diodo se mantém aproximadamente constante, o que indica que o diodo possui uma resistência muito pequena nessa região. Esse fenômeno é chamado "ruptura da junção por avalanche" ou mais comumente "ruptura por avalanche".

Dependendo da construção da junção, da tensão aplicada e da corrente, pode produzir-se a ruptura, mesmo que os elétrons livres não tenham sido acelerados o suficiente para romper as ligações covalentes. É o caso em que o campo elétrico, produzido pela aplicação da tensão inversa, é suficiente para provocar, ele próprio, a quebra das ligações covalentes e, portanto, a rápida multiplicação dos portadores de carga.

Este tipo de ruptura é chamado de "ruptura Zener", e o ponto no qual ela se inicia é chamado "ponto de tensão Zener".

Nesse caso a corrente também aumenta bruscamente e a tensão no diodo se mantém quase constante.

Praticamente a ruptura por avalanche distingue-se da ruptura Zener, pelo seu coeficiente de temperatura. Costuma-se chamar de região de Zener ou tensão de Zener, à região e à tensão nas quais a corrente inversa cresce rapidamente e a tensão se mantém quase constante, qualquer que seja o motivo real da ruptura.

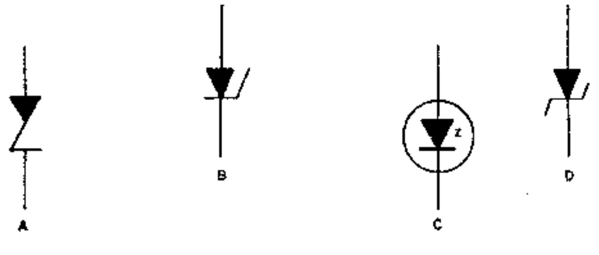


Figura 13-2 Símbolos do diodo Zener

Como o diodo Zener possui mais de um símbolo para sua representação, vamos escolher para emprego em nosso curso o símbolo "D" da figura 13-2.

ESPECIFICAÇÕES DA TENSÃO ZENER

Existem diodos Zener comerciais, com tensão variando de alguns volts até centenas de volts. Para aplicações práticas deste dispositivo, é desejado que a região de ruptura seja bem definida e que a tensão se mantenha a mais estável possível, durante a ruptura. Por esse motivo, prefere-se fabricar diodos Zener de silício e não de germânio, pois estas características são mais definidas no Si, que no Ge.

Cada diodo Zener comercial possui sua tensão característica. Entretanto, esta tensão varia ligeiramente com a corrente, pois a característica não é exatamente vertical.

Vejamos a curva característica do diodo OAZ203, na figura 13-3. O fabricante fornece os seguintes dados:

Iz = corrente de Zener

Vz = tensão de Zener

Para Iz de 1mA temos Vz de 6,2V

Para Iz de 5mA temos Vz de 6,3V

Para Iz de 20mA temos Vz de 6,4V

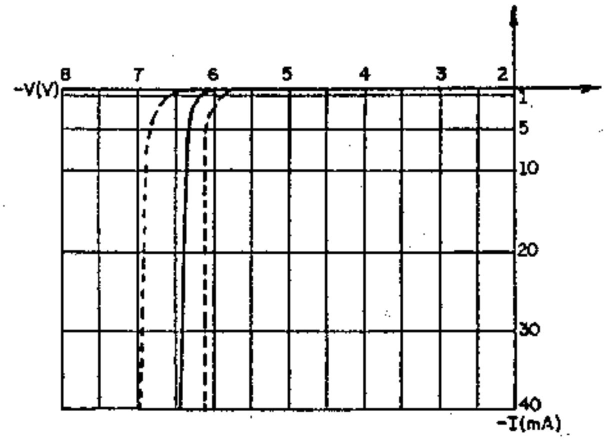


Figura 13-3 Curva característica inversa do diodo Zener OAZ203

Falamos anteriormente em tensão média, porque os valores da tensão Zener variam para o mesmo tipo de diodo, de unidade para unidade, dentro das tolerâncias de fabricação, que podem ser de 10%, 5%, 1% ou ainda menores, dependendo do tipo de diodo. Isto obriga o fabricante a fornecer os valores máximos e mínimos para a tensão Zener conforme mostra a figura 13-3.

Observe também na tabela a seguir, as características do diodo OAZ203, à 25° C.

Tensão Zener	Valores típicos		
	Mínimo,	médio,	máximo
Iz = 1mA	Vz = 5,8V	6,2V.....	6,6V
Iz = 5mA	Vz = 6,1V	6,3V	6,8V
Iz = 10mA	Vz = 6,1V	6,4V	6,9V

IMPEDÂNCIA DINÂMICA

O fato da tensão Zener não se manter exatamente constante, com a variação da corrente inversa, indica que o diodo Zener não tem uma resistência nula, na região inversa, porém apresenta uma certa resistência, embora baixa. É a impedância dinâmica, que corresponde à inclinação da curva característica.

A impedância dinâmica também varia de diodo para diodo, dependendo de sua tensão Zener e, para um mesmo diodo, varia com a corrente.

Por exemplo, na figura 13-4, a curva característica do diodo OAZ201, para tensão Zener baixa, apresenta uma Rz de 340 ohms para uma Iz de 1 mA. Quando a corrente cresce, a curva característica se aproxima de uma linha vertical e a impedância dinâmica diminui.

Ainda para o mesmo diodo temos: Rz de 40 ohms para Iz de 5 mA – Rz de 4,7 ohms para Iz de 20 mA – estes valores de Rz são os valores médios, correspondendo às tensões médias de Zener.

Para diodos de Vz mais elevadas, nas baixas correntes, Rz é mais baixa, porque o joelho da curva é quase reto: Rz de 21 ohms para Iz de 1 mA, para o diodo OAZ213.

Quando a corrente se eleva, a curva característica não é tão vertical, quanto àquela dos diodos de baixa tensão. A impedância é maior para diodos de alta tensão (7 ohms para 20 mA, para o diodo OAZ213).

Como do ponto de vista dos circuitos que utilizam o Zener, é geralmente mais interessante ter diodos, cuja impedância seja a menor possível, o projetista deve ter cuidado na hora da escolha do diodo e da corrente de operação, a fim de obter a mínima variação de tensão, quando a corrente se modifica.

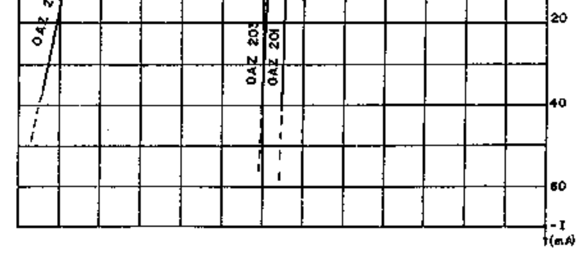


Figura 13-4 Curvas características de três diodos Zener

Efeito da temperatura

Conforme já sabemos, muitas características dos dispositivos semicondutores dependem da temperatura. O efeito causador da ruptura determina o sentido da variação. Se a ruptura for por avalanche, a tensão Zener cresce com a temperatura, isto é, o coeficiente de temperatura é positivo. Se a ruptura for do tipo Zener, a tensão Zener decresce com a temperatura, o que equivale ao coeficiente negativo de temperatura.

Nas aplicações práticas, se a temperatura do equipamento onde é utilizado o diodo Zener variar, é importante saber qual será o sentido da variação da tensão Zener. Ás vezes, deve ser procurado, um ponto onde a tensão não varie, ou pelo menos varie o mínimo possível (ponto de coeficiente nulo de temperatura).

O coeficiente de temperatura varia de diodo para diodo, pois depende da tensão Zener e, para um mesmo diodo, ele varia de acordo com a corrente de operação.

Os diodos Zener com tensões maiores que 6 volts têm coeficientes positivos de temperatura, enquanto que os de tensões menores que 4,5 volts têm coeficientes negativos de temperatura. Por exemplo, o diodo OAZ203, com tensão Zener de 6,3 volts, tem os seguintes coeficientes de temperatura: para Iz de 1mA, o coeficiente é de +0,5 mV/ grau centígrado, o que significa um acréscimo de 0,5 mV, para cada grau centígrado de aumento de temperatura. À medida que a corrente cresce, o coeficiente de temperatura também cresce.

Corrente	Coeficiente
5 mA	+1,7 mV/ ° C
20 mA	+2,6 mV/ ° C

Para diodos de tensões mais elevadas, o coeficiente é também mais elevado. Vejamos, por exemplo, os coeficientes para o diodo OAZ213, com tensão Zener média de 12,2 V.

Corrente	Coeficiente
1 mA	+ 9,2 mV/ ° C
5 mA	+ 9,3 mV/ ° C
20 mA	+ 9,4 mV/ ° C

Para diodos, cuja tensão Zener está compreendida entre 4,5 e 6 volts, o coeficiente de temperatura passa de negativo para positivo, à medida que a corrente cresce. O diodo

OAZ201, com tensão média de 5,6 volts, tem os coeficientes a seguir.

Corrente	Coeficiente
1 mA	- 1,6 mV/ ° C
20 mA	+ 1,0 mV/ ° C

Com estes dados que o fabricante fornece é possível fixar a corrente de operação, de tal modo que o coeficiente de temperatura seja o mais próximo de zero. Por exemplo, no caso do diodo OAZ201, poder-se-ia escolher uma corrente compreendida entre 5 e 20 mA, intervalo no qual o coeficiente de temperatura, passando do negativo para o positivo, em algum ponto se anulará.

LIMITAÇÕES DO DIODO ZENER

As limitações do diodo Zener são: a corrente máxima direta (caso venha a trabalhar naquela região), a corrente máxima inversa e a máxima dissipação. Esse último dado é muito importante e depende da temperatura na qual o diodo vai operar; para os diodos de potência, depende também dos meios utilizados para dissipar o calor produzido, conforme já assinalamos no caso dos diodos retificadores e conforme será visto no apêndice.

Quando se necessita de tensão Zener elevada, é preferível, às vezes, colocar vários diodos de baixa tensão, em série, em vez de usar um diodo de alta tensão, pois esses últimos têm coeficiente de temperatura maior, impedância dinâmica maior e necessitariam ser de maior dissipação. Os diodos de baixa tensão, em série, podem ter dissipações mais baixas, por dividirem entre si a dissipação total.

Notamos que existem diodos Zener de tolerância muito pequena, em relação à tensão, e de grande estabilidade, em relação à temperatura, que servem como elementos de referência de grande precisão. São constituídos geralmente de dois ou três diodos, em série, colocados no mesmo invólucro, sendo um ou dois no sentido direto, a fim de conseguir uma compensação dos efeitos de temperatura.

APLICAÇÕES DO DIODO ZENER

Inúmeras são as aplicações do diodo Zener, substituindo nos circuitos transistorizados, a válvula reguladora de tensão, sua correspondente em equipamentos. O aproveitamento da característica da região Zener (tensão constante com corrente variável) leva, com efeito, à aplicação mais importante do diodo Zener que é a regulação de tensão em fontes reguladas.

Entre outras aplicações, citamos o seu emprego como chave, em circuitos limitadores, em circuitos de estabilização da polaridade de transistores, na proteção de circuitos e de medidores, na supressão de faísca e na regulação de tensão alternada.

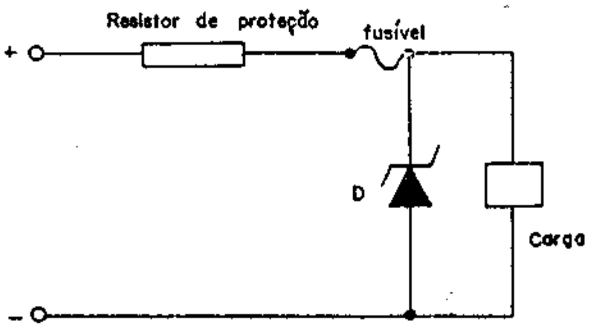


Figura 13-5 Diodo Zener em proteção de circuitos

Proteção de circuitos

Os circuitos elétricos e eletrônicos costumam ser protegidos contra sobrecarga de tensão ou corrente por fusíveis que interrompem a corrente quando esta ultrapassar um valor prefixado.

Em certos casos, torna-se difícil escolher um fusível que interrompa o circuito no momento de uma sobrecarga e, ainda assim, não chagar a fundir quando operado continuamente no valor máximo de corrente perto da sobrecarga.

Uma solução para esse problema consiste em escolher um fusível que esteja afastado do ponto de fusão, quando o circuito opera no valor máximo de corrente, e colocar em paralelo com a carga um diodo Zener com tensão um pouco superior à tensão máxima permissível para a carga como mostrado na figura 13-5.

Havendo uma elevação da tensão, essa tensão é ultrapassada, é atingida a tensão Zener, o diodo oferece uma resistência muito menor que a carga, a corrente aumenta muito e funde o fusível que abre o circuito.

Uma aplicação baseada no mesmo princípio exposto acima é a proteção de medidores com diodo Zener. Para evitar que uma tensão alta demais possa ser aplicada inadvertidamente a um medidor colocado em uma escala baixa, que poderia danificar o sensível sistema de medição, coloca-se um diodo Zener em paralelo com o medidor, cuja tensão seja um pouco maior que a tensão máxima aceitável. Se esta tensão for ultrapassada, o diodo Zener a conduzirá e toda a corrente passará por ele, deixando o medidor fora do circuito. Veja a figura 13-6.

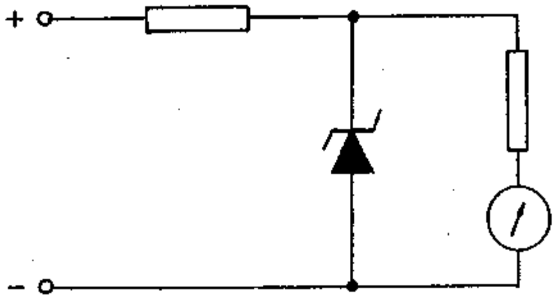


Figura 13-6 Diodo Zener como proteção de medidores

Supressão de faíscas

Quando são interrompidos circuitos em que existem cargas indutivas (transformadores, relés, solenóides), aparecem oscilações transitórias, com amplitudes que podem ultrapassar o valor normal de funcionamento e provocar faíscas nos contatos do interruptor.

Para evitar a aplicação dessas altas tensões ao circuito e o faiscamento dos contatos, pode-se colocar um diodo Zener em paralelo com a carga indutiva, com um resistor de proteção em série, para absorver a oscilação, tanto com alimentação CC (figura 13-7 A) ou CA (figura 13-7 B).

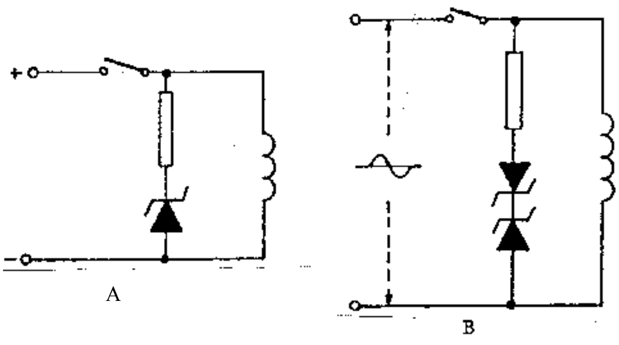


Figura 13-7 Diodo Zener como supressor de faíscas

Regulação da tensão alternada

Quando a rede de alimentação (CA) varia a sua tensão, o efeito pode ser prejudicial em muitos casos, citando-se como exemplo, a alimentação de lâmpadas fornecedoras de luz para células fotoelétricas, porque uma ligeira variação na tensão da rede modifica a intensidade luminosa da lâmpada e a resposta da célula fotoelétrica.

Para diminuir essas variações, usam-se dois diodos Zener, em oposição (figura 13-8). Na alternância positiva, o diodo de cima entra na região Zener, quando a tensão alternada iguala a tensão de ruptura, estando o outro diodo sempre polarizado diretamente e funcionando praticamente como um curto-circuito.

Na alternância negativa, o diodo de cima funciona como um curto e o outro limita a tensão no valor Zener. Quando a tensão de CA altera seu valor, seja para mais ou para menos, os diodos Zener limitam a onda de tensão sempre nos mesmos valores, fixados pelas suas tensões Zener.

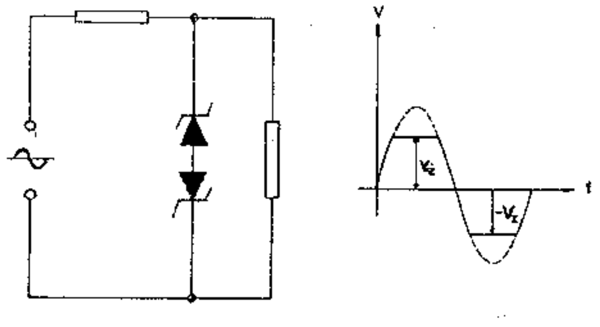


Figura 13-8 Diodos Zener em circuito de regulação de tensão alternada

DIODOS ZENER COMERCIAIS

Existem diodos comerciais, com tensões Zener variando de alguns volts até centenas de volts, dissipações permissíveis, variando de algumas centenas de mW até alguns W e correntes máximas de algumas centenas de mA até dezenas de Ampéres. A figura 13-10 apresenta um quadro comparativo de alguns diodos Zener comerciais da IBRAPE.

Curva característica do diodo Zener

A curva característica do diodo Zener é bem semelhante à curva do diodo comum. As poucas diferenças existentes são a regularidade da intensidade de corrente, até que atinja o ponto de Zener e, a queda brusca na região inversa da curva (mais intensa que nos diodos comuns).

O diodo Zener, quando trabalha na região direta, trabalha como um diodo comum. Na região inversa, entretanto, há uma alta resistência até que atinja o ponto de ruptura; daí em diante a resistência é baixa.

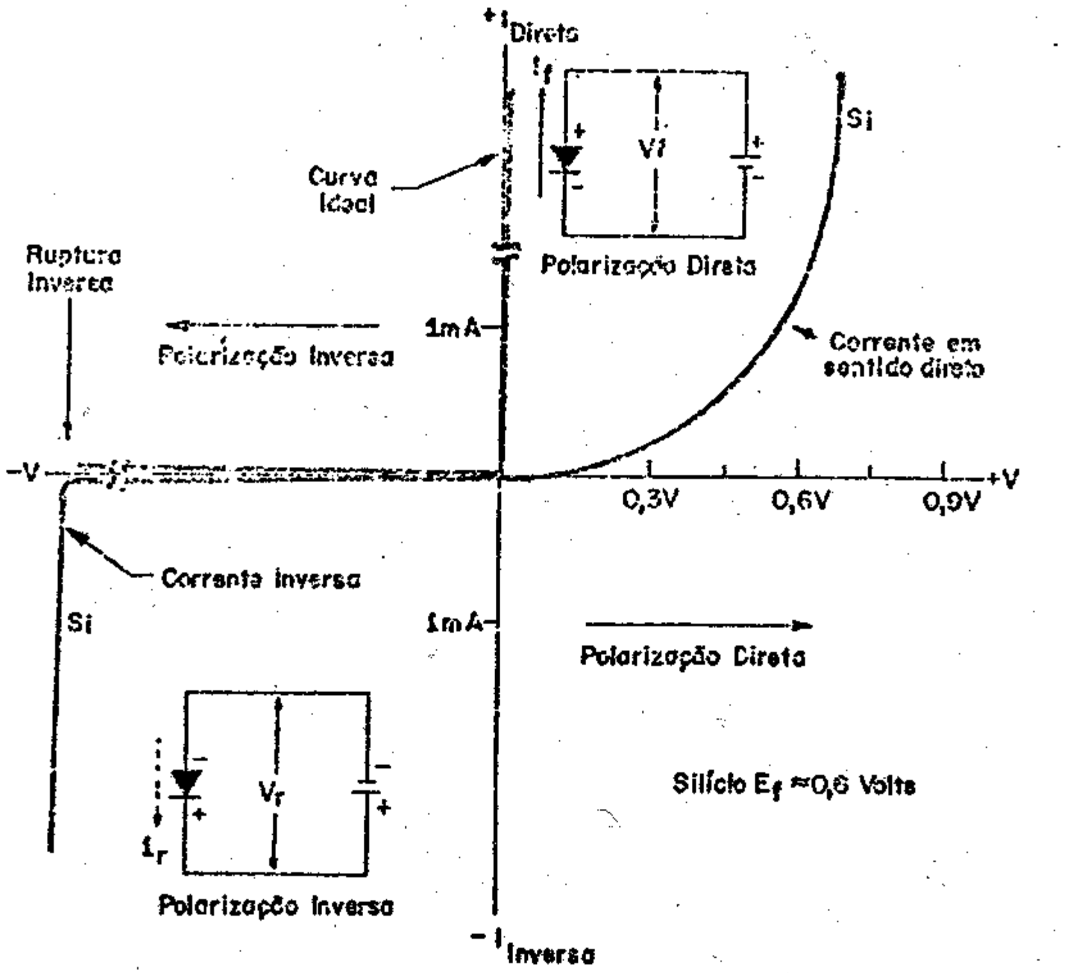


Figura 13-9 Curva característica do diodo Zener

Características a 25º C									
Diodo	**Tensão *Zener***			**Para corrente *Zener* -I (mA)**	**Impedância dinâmica R (Ω)**	**Para corrente Zener -I (mA)**	**Coeficiente de temperatura (mV/ ºC)**	**Para corrente Zener -I (mA)**	**Dissipação (mW)**
	Mínima (V)	**Média (V)**	**Máxima (V)**						
BZZ10	**5,3**	**6,0**	**6,6**	**1**	**27**	**5**	**+ 1,0**	**5**	**280**
OAZ201	**5,2**	**5,6**	**6,0**	**5**	**45**	**5**	**- 0,6**	**5**	**320**
OAZ202	**5,6**	**6,0**	**6,3**	**5**	**24**	**5**	**+ 0,6**	**5**	**320**
OAZ203	**6,1**	**6,3**	**6,8**	**5**	**9,5**	**5**	**+1,7**	**5**	**320**
OAZ213	**9,4**	**12,2**	**15,3**	**5**	**12**	**5**	**+ 9,3**	**5**	**320**
BZZ14	**5,3**	**5,6**	**6,0**	**20**	**<13**	**20**	**Min.Max. - 0,4 +2,5**	**20**	**8W**

Figura 13-10 Quadro comparativo de alguns diodos Zener da IBRAPE

REGULADOR ELETRÔNICO DE TENSÃO

No estudo anterior sobre reguladores com Zener, pudemos ver que, embora o Zener regule a tensão, razoavelmente, há necessidade de se elaborar um circuito mais complexo que resulta da combinação de diodos Zener e de transistores.

Esta combinação apresenta como resultado uma regulação quase perfeita.

O regulador que vamos estudar nesta unidade é um regulador eletrônico em série.

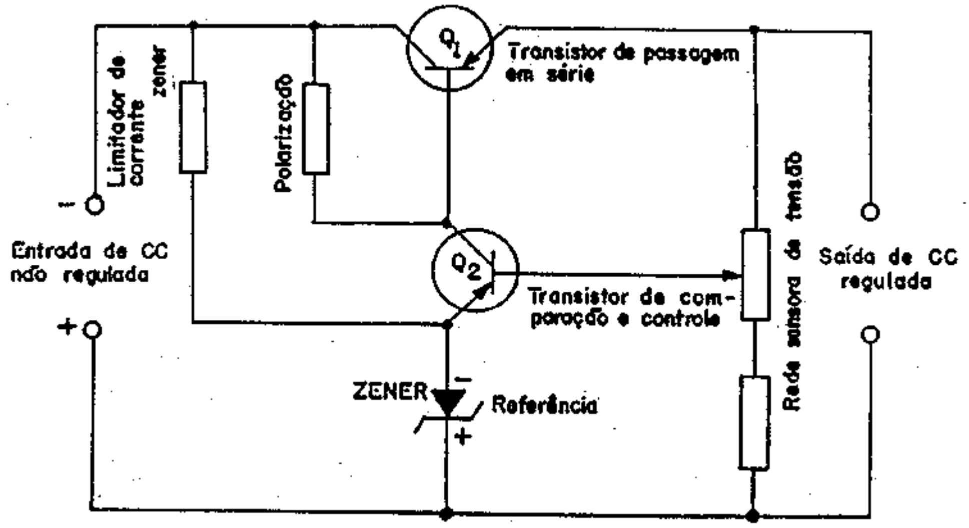
Uma tensão bastante constante na saída, às vezes torna-se necessária, pois existem equipamentos bastante sensíveis, nos quais um mínimo de variação na sua alimentação é o bastante para que afete o seu funcionamento ideal.

Funcionamento

O circuito que analisaremos a seguir é um dispositivo conhecido como regulador em série.

Observe que o transistor Q_1 está ligado diretamente ao terminal negativo da fonte de força não regulada; o terminal positivo passa diretamente para a saída do regulador. O transistor Q_1 é denominado “transistor de passagem” e sua resistência depende do grau de polarização direta.

Quando sua base se faz mais negativa, com respeito ao emissor, sua resistência diminui.



Q1
Transistor de passagem em série
Limitador de corrente zener
Polarização
-
Entrada de CC não regulada
+
Q2
Transistor de comparação e controle
ZENER
-
Referência
+
Rede sensora de tensão
Saída de CC regulada

Figura 13-11 Regulador em série

A tensão de entrada está dividida entre a rede sensora e o transistor em série com esta rede.

O resistor de passagem se comporta como um resistor variável. Toda variação de tensão que poderia ocorrer na saída ocorre na V_{CE} de Q_1.

Q_2 é denominado “transistor de controle” e determina a quantidade de polarização de base de Q_1 e, portanto, a resistência em série de Q_1.

A tensão de entrada do regulador é sempre maior que a tensão requerida para a saída.

Observe que o potenciômetro e o resistor em série com Q_1 ligam-se diretamente aos terminais de saída de CC. Estes resistores são conhecidos como “rede sensora” ou “detectora de tensão”.

Quando diminui a corrente contínua de carga, a tensão contínua de saída tende a aumentar. À medida que há esse aumento, a rede detectora varia a polarização da base de Q_2 e isto torna a base mais positiva. Como consequência, a resistência de Q_1 aumenta, para compensar a tendência ao aumento da tensão de saída.

Quando a carga requer uma corrente considerável, a tensão da rede sensora tende a diminuir, variando a polarização de Q_2, de tal forma que a base de Q_1 torna-se mais negativa; assim, a resistência de Q_1 diminui, reduzindo a queda de tensão em Q_1, compensando a tendência de diminuir a tensão de carga.

O diodo Zener possui duas funções. A primeira é regular as variações na tensão contínua de entrada, como já foi visto anteriormente. A segunda e mais importante função é manter uma tensão constante no emissor de Q_2. Esta tensão é quase igual a normal que se desenvolve na base de Q_1, mediante a rede sensora.

Quando a tensão contínua de saída tende a aumentar ou diminuir, a diferença entre esta tensão de referência e a da rede sensora, controla a corrente de base de Q_1; assim pois, a resistência de Q_1 varia em forma ascendente ou descendente, dependendo da forma de variação da tensão de entrada, para mais ou para menos, com a variação da corrente de carga ou com a variação da tensão de linha.

Este tipo de regulador possuía vantagem de poder regular maiores tensões contínuas de saída, com mais capacidade de corrente que o regulador que usa apenas o diodo Zener. Este tipo de regulador permite fazer variar a tensão regulada, para alguns valores desejados.

SUMÁRIO

O diodo Zener é um dispositivo semicondutor de dois terminais, projetado para funcionar na região inversa da curva característica.

Região Zener é a região onde a corrente de Zener aumenta e a tensão permanece constante.

Existem dois tipos de ruptura: uma por avalanche e outra por Zener.

Cada diodo Zener possui sua tensão característica.

É desejável escolher-se diodos, cuja impedância dinâmica seja a menos possível.

Diodos Zener com tensões acima de 6 V possuem coeficientes de temperatura positivos.

Diodos Zener com tensões abaixo de 4,5V possuem coeficientes de temperatura negativos.

As limitações do Zener são corrente máxima direta, corrente máxima inversa e a máxima dissipação.

O Zener é o substituto da válvula Vr.

A principal aplicação do Zener é como regulador de tensão.

O regulador eletrônico é uma combinação de dispositivos semicondutores que regulam com bastante precisão tensões de corrente contínua.

No regulador da figura 13-11, o diodo Zener possui duas funções: fornecer uma tensão de referência para a base de Q_2 e regular as variações da tensão de entrada.

Os resistores na saída do regulador constituem a rede sensora ou detectora de tensão.

É possível variar a tensão de saída regulada, através do controle do potenciômetro ligado à base de Q_2.

CAPÍTULO 14

DIODOS ESPECIAIS

THYRISTORES (SCR)

O Thyristor é um comutador quase ideal, é retificador e amplificador ao mesmo tempo. Constitui-se um componente de escolha para a eletrônica de potência. Concebido, originalmente para substituir a válvula "thyratron" à gás, o thyristor se impôs, rapidamente, em diversos domínios, cujos mais importantes são a comutação pura e simples, a variação de velocidade dos motores e a variação da intensidade luminosa.

O thyristor permanece normalmente bloqueado, até o momento em que se deseja que ele se torne condutor.

O termo "thyristor" designa uma família de elementos semicondutores, cujas características, originalmente, estão próximas às das antigas válvulas thyratrons. O nome thyristor é uma contração de THYRatron e transISTOR.

Os thyristores, também conhecidos por SCR (Silicon Controlled Rectifier) são elementos unidirecionais a três saídas (anodo, cátodo e gatilho).

Os TRIACS, são chamados "thyristores triodos bidirecionais". O nome Triac provém da contração de "TRIode AC Switch".

Fazem parte ainda da família dos thyristores, os fotothyristores ou thyristores fotossensíveis, os thyristores bloqueáveis, os comutadores unilateral e bilateral SUS e SBS (Silicon Unilateral Switch e Silicon Bilateral Switch, respectivamente) e o diodo Shockley, também conhecido por diodo thyristor ou diodo de quatro camadas.

Estrutura e símbolo do thyristor

O thyristor é um semicondutor de silício a quatro camadas alternadas.

Duas conexões principais são realizadas para o anodo e o cátodo. A condução, no sentido direto (corrente de cátodo para anodo) é comandada por um eletrodo, chamado gatilho (em inglês – *gate*). Após a aplicação de um sinal de comando no gatilho, o thyristor deixa passar por ele uma corrente unidirecional, isto é, só num sentido. A exemplo dos diodos comuns, o sentido é, repetimos, do cátodo para o anodo.

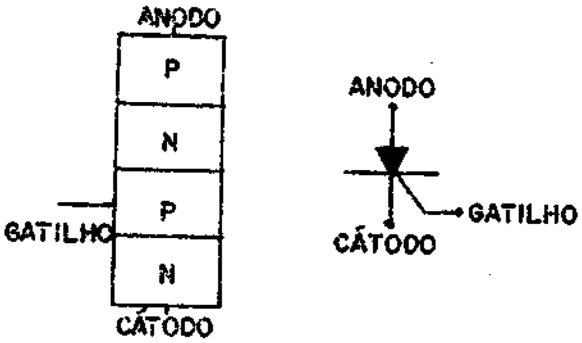


Figura 14-1 Estrutura e símbolo do thyristor

Thyristor sob tensão

O thyristor pode ser comparado com dois diodos, montados em oposição, conforme mostrado na figura 14-2.

Para simplificação da análise que se segue, vamos admitir que o cátodo está ligado à massa e o gatilho está desligado, isto é, no ar.

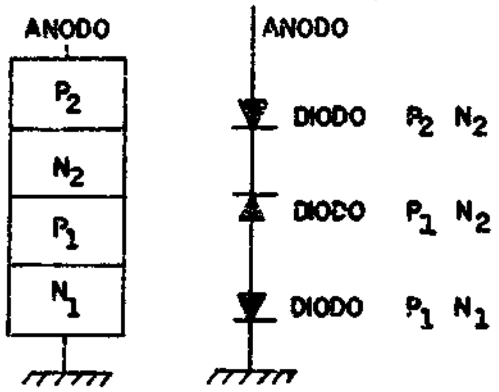


Figura 14-2 Comparação do thyristor com diodos

As camadas P_1N_2 formam o diodo em oposição, que assegura a não condução do dispositivo.

Se o anodo está positivo, os diodos P_2N_2 e P_1N_1 estão polarizados diretamente, porém, o diodo P_1N_2 bloqueia a condução. Se, ao contrário, o anodo é negativo, os diodos P_2N_2 e P_1N_1 estão polarizados inversamente. Por causa da tensão de avalanche de P_1N_1 ser baixa, a limitação da corrente inversa de fuga é feita por P_2N_2. Na prática, a tensão máxima é limitada pela tensão de avalanche dos diodos P_2N_2 e P_1N_1. Neste caso, só haverá condução se a tensão inversa alcançar a tensão de ruptura dos diodos, o que poderá danifica-lo.

Thyristor sob tensão direta

O comportamento do thyristor é melhor compreendido se fizermos uma analogia com dois transistores PNP e NPN.

Veja a figura 14-3.

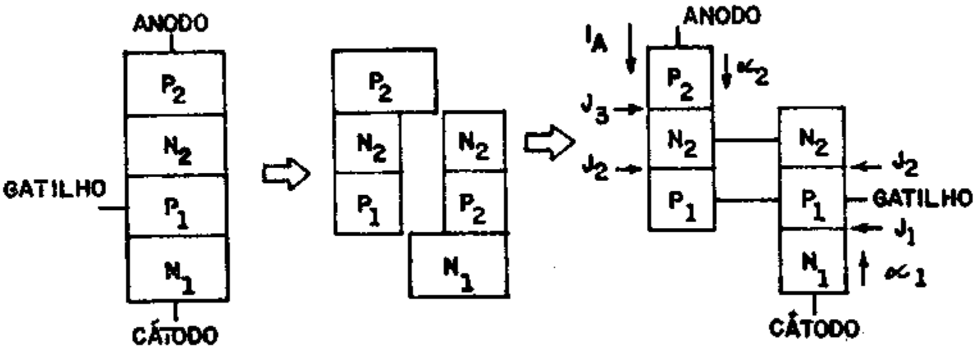


Figura 14-3 Thyristor sob tensão direta

Estes dois transistores são montados de modo que uma realimentação positiva seja realizada. Suponhamos que a região P_2 seja positiva em relação à região N_1. As junções J_3 e J_1 ficam polarizadas diretamente e deixam passar, respectivamente, os portadores positivos e negativos para as regiões N_2 e P_1. Estes, após se espalharem pelas bases de cada um dos transistores, alcançam a junção J_2, onde a carga espacial cria um intenso campo.

Se α_2 é o ganho de corrente, que dá a fração da corrente de buracos injetados no emissor e que atinge o coletor do PNP, e se de outra parte α_1 é o ganho de corrente, que dá a fração de corrente de elétrons injetados no emissor e que atinge o coletor do NPN, podemos escrever que:

$I_{C2} = I_A \cdot \alpha_2$ e $I_{C1} = I_A \cdot \alpha_1$

A corrente total de anodo é, evidentemente, a soma de I_{C1} e I_{C2}, as quais se somam à corrente de fuga residual (I_{CX}), através da junção central. A I_A será então:

$I_A = \alpha_1 \cdot I_A + \alpha_2 \cdot I_A + I_{CX}$ que nos dá:

$$I_A = \frac{Icx}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}$$

Para a maioria dos transistores de silício, o ganho é baixo para as baixas correntes e cresce muito quando a corrente aumenta. Portanto, se I_{CX} é baixa, o denominador da equação anterior está próximo de 1 (para as pequenas correntes), e a corrente I_A permanece um pouco superior à corrente de fuga.

A estrutura PNPN, ainda que polarizada diretamente, está bloqueada, e oferece uma grande impedância à passagem da corrente.

Quando, por qualquer razão, I_{CX} aumenta, a corrente e os ganhos aumentam também. A soma $\alpha_1 + \alpha_2$ tende para 1 e a corrente I_A tende para o infinito. Em realidade, ela toma um valor bem elevado, que é limitado somente pelo circuito exterior. O thyristor está então no estado de condução, dizendo-se então que ele está desbloqueado.

Observação: Este tipo de disparo do thyristor é desaconselhado na maioria dos casos.

Princípio de disparo pelo gatilho

O disparo do thyristor pelo gatilho é o mais comumente utilizado. A explicação será mais clara, se observarmos a figura 14-4.

O thyristor estando polarizado diretamente, uma impulsão positiva (I_G) de comando será injetada no gatilho. O transistor Q_1, recebendo a I_G, como corrente de base, tem sua corrente de coletor igual a $I \cdot \beta_1$, onde β_1 é o seu ganho de corrente (montagem emissor comum). Esta corrente é, por sua vez, injetada na base do transistor Q_2, que produz uma I_{C2} igual a $I_G \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$, onde β_2 é o ganho de corrente de Q_2. Esta corrente é então reaplicada à base de Q_1. Duas situações podem ocorrer:

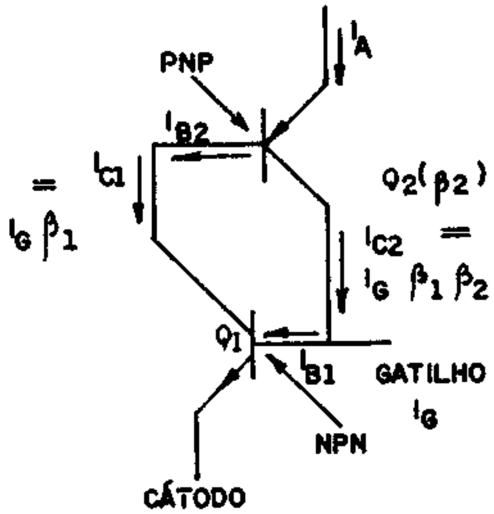


Figura 14-4 Disparo pelo gatilho

Se o produto $\beta_1 \cdot \beta_2$ for menor que 1, o dispositivo não será disparado.

Se o produto $\beta_1 \cdot \beta_2$ tender à unidade (1), o processo de amplificação irá se manifestar e o thyristor irá conduzir..

Desde que o disparo do thyristor ocorreu, a realimentação dos transistores os faz conduzir à saturação. Eles se mantêm neste estado, mesmo que a impulsão inicial do gatilho desapareça e que o circuito exterior mantenha a corrente I_A.

Como um thyristor pode ser disparado

Como já vimos, o thyristor dispõe dos seguintes estados: *bloqueado*, quando polarizado diretamente e não tenha sido disparado; *bloqueado,* quando polarizado inversamente; *condutor*, se polarizado diretamente e tenha sido disparado.

Quando o thyristor passa do estado *bloqueado* para o de *condutor*, é porque o transistor de silício teve um ganho de corrente, o qual fez aumentar a corrente de emissor.

Consequentemente, todos os mecanismos capazes de provocar um aumento da corrente I_E são utilizados. Os principais são:

1- *TENSÃO* – Quando a tensão cátodo-anodo do thyristor aumenta, chega a um ponto onde a corrente de fuga é suficiente para provocar um crescimento abrupto da I_E. Este modo de disparo é principalmente empregado com diodos de quatro camadas (diodos-thyristores).

2- *AUMENTO DA TENSÃO* – Sabemos que toda junção PN apresenta uma certa capacitância de junção. Se aplicarmos uma tensão brusca entre anodo e cátodo, carrega-se esta capacitância com uma corrente proporcional à variação de tensão e logo que esta tensão seja suficiente, o thyristor dispara.

3- *TEMPERATURA* – A corrente inversa de fuga em transistor de silício, aumenta com o aumento da temperatura. Quando a corrente de fuga for suficiente, teremos o disparo do thyristor.

4- *EFEITO TRANSISTOR* – É o modo clássico de disparar um thyristor, injetando-se portadores suplementares na base do transistor equivalente, ou seja, no gatilho do thyristor.

5- *EFEITO FOTOELÉTRICO* – Provocando-se a criação de pares elétron-lacuna, um foco de luz pode disparar um thyristor. Neste caso utiliza-se um *fotothyristor;* que consiste em um tipo de thyristor, no qual existe uma "janela", ou seja, uma lente transparente aos raios luminosos.

CURVA CARACTERÍSTICA DE UM THYRISTOR

A curva típica de um thyristor, elemento unidirecional, é mostrada na figura 14-5. Ela representa a corrente I_A em função da tensão anodo-cátodo.

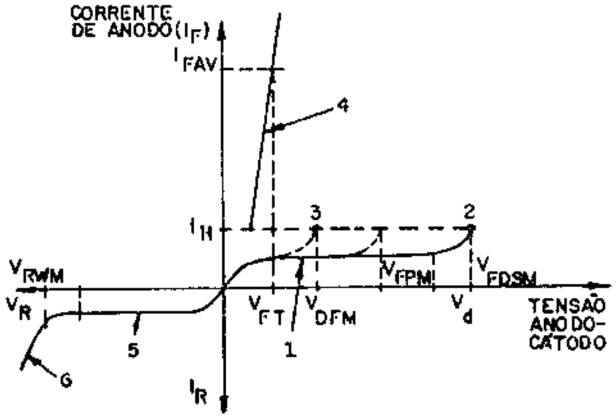


Figura 14-5 Curva característica de um thyristor

V_D = Tensão direta em bloqueio
V_{DRM} = Valor máximo de tensão direta (em bloqueio)
V_{DSM} = Máxima tensão direta não repetitiva (em bloqueio)
V_T = Tensão sobre o thyristor desbloqueado (em condução)
I_H = Corrente mínima de condução
V_{RWM} = Tensão máxima inversa

Quando a tensão "V" é nula, a I_A também será nula. A tensão "V", ao crescer no sentido direto, será denominada V_F ("F" de forward, em inglês). É necessário atingir um valor mínimo (V_D), para disparar o thyristor. Nesse momento, o thyristor torna-se condutor e a queda de tensão entre seus bornes diminui, enquanto que a corrente I_A aumenta. Esta corrente direta será denominada I_F.

Se polarizarmos inversamente o thyristor, com a aplicação de uma tensão V_R ("R" de reverse, em inglês), observa-se o aparecimento de uma pequena corrente de fuga (I_R), até que uma tensão máxima inversa que se for aplicada ao thyristor o destruirá.

O thyristor é, portanto, condutor somente no primeiro quadrante. Note-se que o disparo direto foi provocado pelo aumento da tensão direta.

Se aplicarmos uma corrente de comando no gatilho, deslocaremos o ponto V_D para a esquerda. Ver a figura 14-5.

Disparo do thyristor (SCR)

O processo de disparo pode ser considerado separadamente do mecanismo de condução do anodo.

O desempenho do circuito de controle dependerá, porém, sob certo aspecto, do circuito do anodo.

Um SCR nunca disparará, se o circuito do anodo limitar a sua corrente a um valor menor que I_H (corrente de manutenção). Com correntes de anodo inferiores a I_H, um SCR comportar-se-á como um transistor; quando a corrente de disparo for interrompida, a corrente de anodo cessará.

Entre os terminais de disparo e de cátodo, há uma junção PN. Esta junção comporta-se como um diodo e suas características são pouco afetadas pela presença das outras duas camadas, mesmo quando existe uma diferença de potencial entre anodo e cátodo.

A figura 14-6 mostra uma característica típica do - diodo **gatilho cátodo**, obtida com a aplicação de uma tensão positiva ao primeiro elétrodo.

A curva se aplica para as condições "ligado" e "desligado" do SCR, já que a alteração de impedância entre ambas é pequena.

A característica de impedância varia com a temperatura, para diferentes SCR do mesmo tipo, mas, sempre dentro dos limites apresentados nas publicações.

Na figura 14-6, podemos ver a característica desse diodo em diferentes temperaturas.

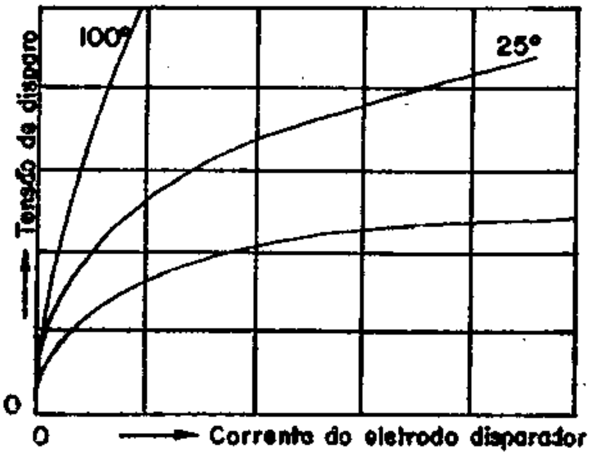


Figura 14-6 Variações da característica de impedância em temperaturas diferentes

Consideremos um SCR com a característica de impedância conforme a figura 14-6. Se uma tensão positiva for aplicada entre o anodo e o cátodo, e a tensão do disparados for aumentada, a corrente deste elétrodo aumentará segundo a curva da figura 14-6.

Em certo ponto da curva haverá o disparo e este ponto é bastante independente da tensão do anodo, isto é, quando a I_{GF} atingir o valor de disparo, o SCR disparará, qualquer que seja a tensão positiva do anodo.

Evidentemente há um valor de potencial mínimo de **não disparo.**

Os valores de corrente e tensão do gatilho, em que há o disparo, variarão de um a outro SCR do mesmo tipo; isto se deve à variação da impedância do gatilho, entre os limites mostrados na figura 14-7 e à diferença de sensibilidade entre os SCR's.

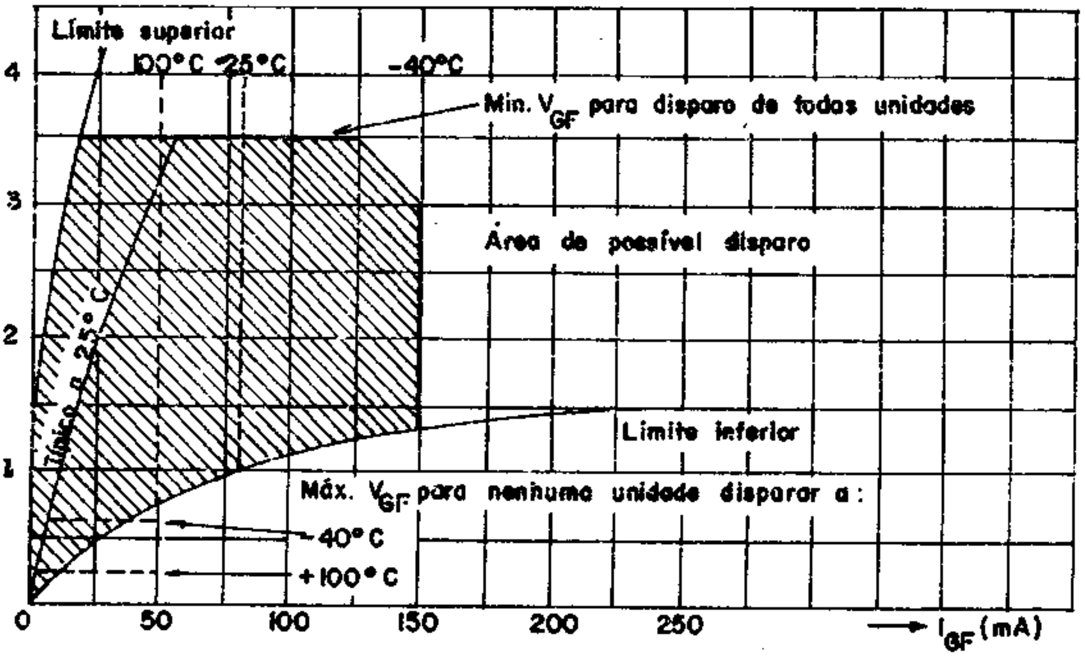


Figura 14-7 Limites da variação da impedância do gatilho

Fora da área hachurada da figura 14-7 e dentro dos limites de R_G, quaisquer valores de corrente e de tensão dispararão qualquer SCR desse tipo particular. Tensões e correntes que se localizem no interior da área hachurada dispararão alguns, mas não todos os diodos da série.

Os limites da área de disparo eventual são definidos, com referência às características mostradas na figura 14-7, na sequência a seguir.

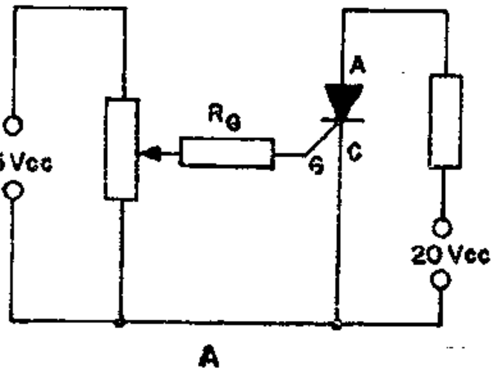
1- *LIMITES DE TENSÃO* – A tensão limite é a requerida para disparar o SCR, que é menos sensível à tensão, na mais baixa temperatura de operação. Em temperaturas mais altas, a variação da tensão requerida não é muito grande e é possível simplificar o diagrama, considerando a tensão constante e igual à requerida na mais baixa temperatura de operação.

2- *LIMITES DE CORRENTE* – A corrente limite é a requerida para disparar o SCR menos sensível à corrente, na mais baixa temperatura de operação. Nas mais altas temperaturas é requerida menor corrente e os limites para –40, +25 e +100 graus centígrados são mostrados na figura 14-7.

3- *LIMITES DE BAIXO NÍVEL* – Estes limites indicam níveis de tensão, abaixo dos quais nenhum SCR disparará, nas temperaturas indicadas. As características discutidas até agora determinam o limite inferior do nível de disparo, sob todas as condições. O limite superior é determinado por uma combinação da potência média de disparo (pico de disparo), e das máximas correntes e tensões diretas do gatilho.

4- *MÉTODOS DE DISPARO DO SCR* – Um circuito de disparo, quando bem projetado, deve disparar o SCR sem exceder a qualquer dos valores máximos de tensão e corrente do componente.

a) *Disparo por corrente contínua* – Quando o valor da tensão entre o gatilho e o cátodo, isto é, V_G atingir o valor de disparo, o SCR conduzirá. Se a tensão V_G for reduzida a zero, o SCR continuará a conduzir, por causa da baixa impedância de sua estrutura interna.



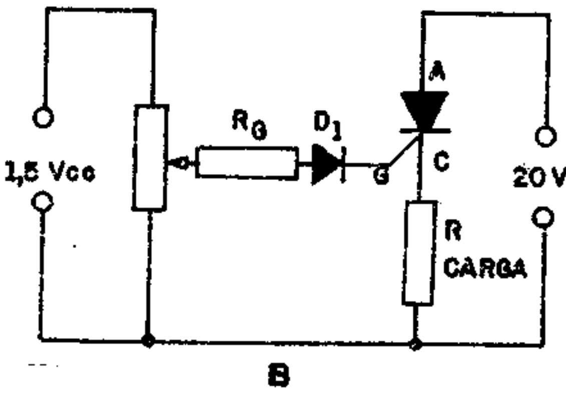


Figura 14-8 Disparo por corrente contínua

O SCR será bloqueado se a tensão positiva de anodo for reduzida até que a corrente de anodo seja menor que I_H.

No circuito da figura 14-8 B, a carga a ser alimentada foi colocada no circuito do cátodo (a carga está representada por um resistor). Neste caso, quando o SCR dispara, a tensão no cátodo se torna mais positiva que a tensão no gatilho. O diodo D_1 é, então, colocado no circuito de porta (ou gatilho) para evitar a sua ruptura.

Se a tensão que alimenta o anodo for de corrente alternada, o SCR conduzirá durante as alternâncias positivas e bloqueará, sempre que a tensão de anodo cair abaixo da tensão de manutenção.

b) *Disparo por corrente alternada* – Se o anodo de um SCR for alimentado com tensão alternada, o disparo poderá ser efetuado também com tensão de CA.

Neste caso pode-se obter um melhor controle da energia consumida na carga. O circuito básico de controle de energia com SCR é visto na figura 14-9.

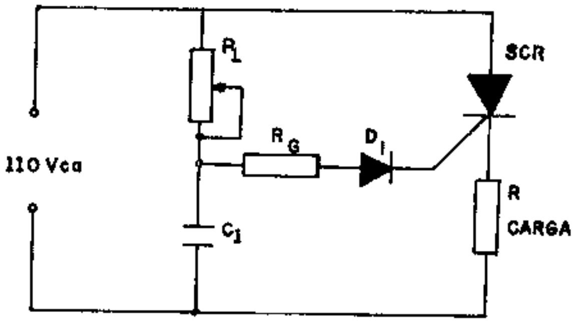


Figura 14-9 Disparo por corrente alternada

Podemos observar que a tensão do gatilho (V_G) pode sofrer um deslocamento de fase, com relação à fase da tensão no anodo. Este deslocamento de fase é efetuado pela rede R_1 C_1. Devido a este deslocamento de fase, a corrente através do SCR pode circular durante um tempo menor do que 180° do ciclo da tensão aplicada.

Através do gráfico da figura 14-10 podemos ver o trabalho do SCR. Vemos em E_A a alternância positiva da tensão aplicada no circuito. E_G é a tensão entre gatilho e cátodo e conforme o valor de R_1 poderá estar atrasada de E_A, num ângulo de 0° a 90°.

Podemos ver, ainda, como pode ser variado o tempo de condução do SCR, pelo deslocamento da fase de E_G. O controle da fase entre E_G e E_A, no circuito da figura 14-9, é efetuado através do potenciômetro R_1.

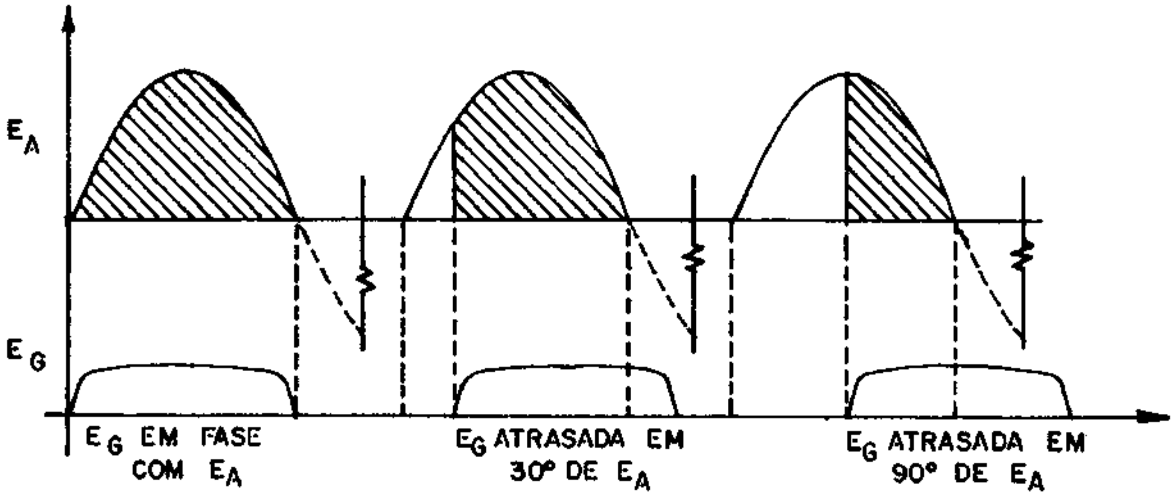


Figura 14-10 Trabalho do SCR

O TRIAC

O triac é um dispositivo semicondutor a três eletrodos, sendo um de comando (o gatilho) e dois de condução principal. Este dispositivo pode passar de um estado bloqueado a um regime de condução nos dois sentidos de polarização e voltar ao estado bloqueado, por inversão da tensão ou pela diminuição da corrente, abaixo do valor da corrente de manutenção (I_H).

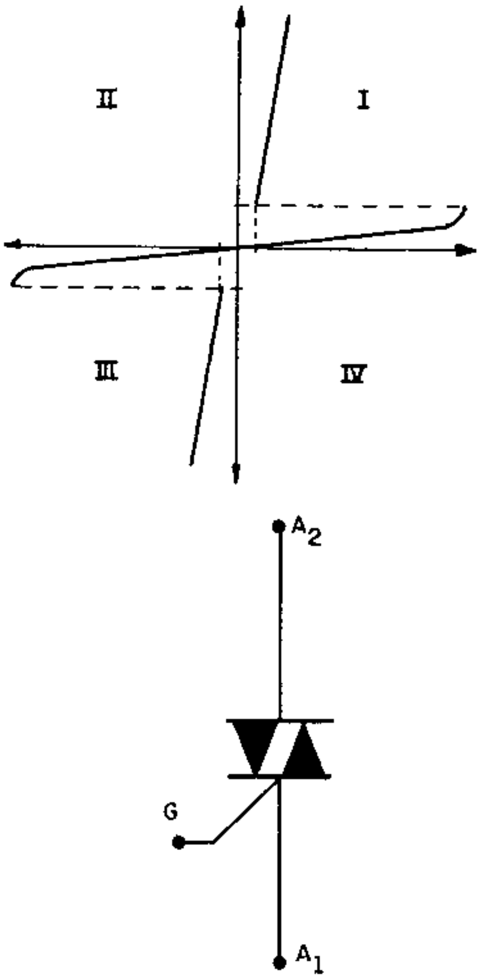


Figura 14-11 Curvas e símbolo do triac

O triac é, portanto uma versão bidirecional do thyristor. Em sua representação elétrica, podemos compara-lo com associação anti-paralela de dois thyristores.

Estrutura do triac

Para se realizar um triac, recorre-se a diversas estruturas de camadas espalhadas, como na figura 14-12.

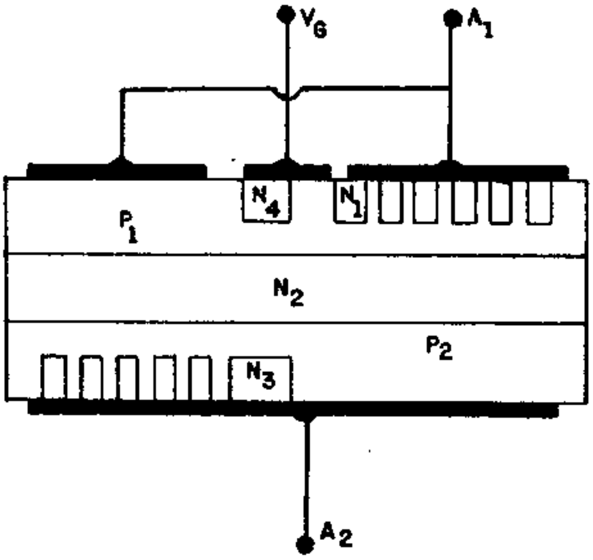


Figura 14-12 Estrutura de um triac

As junções N_1P_1 e N_2P_2 constituem um Thyristor, e as junções N_3P_2 e N_2P_1 constituem o outro. As junções N_4P_1 e N_2P_2,, formam o thyristor de disparo.

O disparo do triac

Se nós aplicarmos a tensão V_1 ao anodo A_1, V_2 ao anodo A_2 e a tensão V_G ao gatilho, e se tomarmos V_1 como referência de massa ($V_1 = 0$), podemos definir quatro quadrantes de polarização. Veja na figura 14-13.

QUADRANTE	V_2	V_G
I	+	+
II	+	-
III	-	-
IV	-	+

Figura 14-13 Quadrantes de polarização

Disparo no primeiro quadrante (+ +)

O triac dispara como um thyristor normal. A zona P_1 é o gatilho e a junção N_1P_1 injeta os portadores, disparando o thyristor entre P_2 e N_1 (Ver na figura 14-14)

A corrente de disparo I_G mínima, é função da repartição das lacunas entre N_1 e P_1, ou seja, do valor da resistência “R” shunt entre o gatilho e A_1.

Neste quadrante, o thyristor se comporta como um thyristor $N_1P_1N_2P_2$.

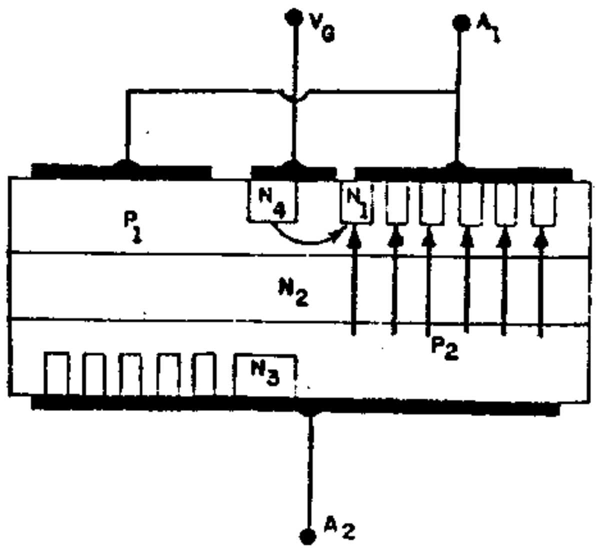


Figura 14-14 Esquema de um triac

Disparo do segundo quadrante (+ -)

A corrente de disparo circula de P_1 para N_4 e dispara o thyristor $N_4P_1N_2P_2$ (figura 14-14). Devido à geometria, a corrente principal de $N_4P1N_2P_2$ polariza as bases P_1N_2 e o thyristor $N_1P_1N_2P_2$ conduz. Este último tendo uma impedância mais baixa abre $N_4P_1N_2P_2$ (por I_H), salvo se a corrente de gatilho for mantida. Assim, a corrente principal, flui como para o primeiro quadrante, entre P_2 e N_1.

Disparo do terceiro quadrante (- -)

Neste caso, a situação é um pouco mais complexa.Usemos como referência o esquema da figura 14-14.

O potencial de P_1 é superior ao de N_1. A junção P_1N_4 está, portanto polarizada diretamente e injeta seus portadores. O thyristor que iremos disparar é composto das camadas $N_3P_2N_2P_1$ (cátodo em N_3 e anodo em P_1).

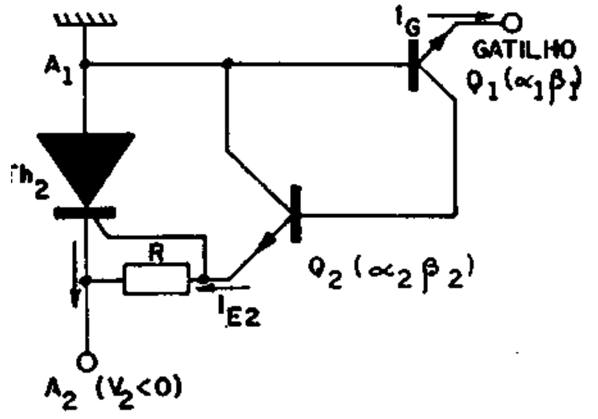


Figura 14-15 Disparo do terceiro quadrante

A junção de gatilho efetiva deste thyristor é o diodo N_3P_2 e para que ocorra o disparo é, portanto necessário, que N_3P_2 injete seus portadores. Uma melhor compreensão será possível, através da figura 14-15.

O transistor Q_1 é formado das camadas $N_4P_1N_2$ e T_2 das camadas $P_2N_2P_1$. O resistor "R" é a impedância entre N_3 e P_2. Para que o thyristor Th_2 dispare, é necessário que a corrente de emissor de Q_2 atravessando R polarize suficientemente a junção gate-cátodo de Th_2. Temos, portanto:

$$I_{B2} = \alpha_1 \cdot I_G$$

$I_{E2} = \beta_2 \; I_{B2} = \alpha_1 \; \beta_1 \; I_G$ onde:

I_{E2} é a corrente de gatilho real de Th_2;

I_G é a corrente injetada no gatilho do triac.

Nota-se que o transistor Q_1 tem suas junções emissor-base e coletor-base polarizadas diretamente, estando portanto saturado e α_1 é um "alfa" forçado. Portanto, de um modo geral, $\alpha_1 \; \beta_2$ não é muito diferente da unidade, se bem que os triacs têm neste quadrante, sensibilidades próximas às dos quadrantes precedentes.

Em conclusão: Th_2 é disparado por uma corrente I_{E2}, criada através dos transistores Q_1 e Q_2 por I_G.

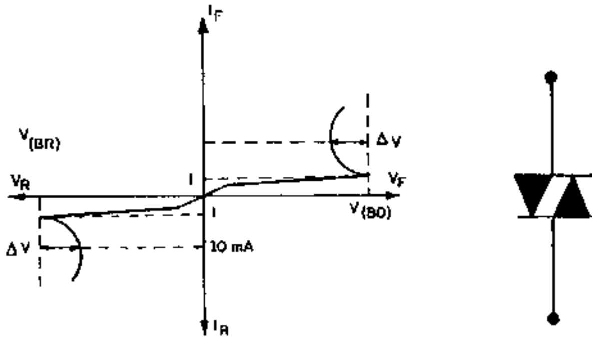
Disparo no quarto quadrante (- +)

O processo de disparo é idêntico ao do terceiro quadrante, sendo que a camada N_1 faz o que no terceiro quadrante foi feito pela camada N_4. Entretanto, a zona de $N_3P_2N_2P_1$ susceptível de disparar é fisicamente grande e, portanto, a sensibilidade será reduzida.

DIAC

O Diac é um elemento simétrico, que consequentemente não possui polaridade. Sua etmologia é a contração de "*Diode Alternative Current*". Sua estrutura é muito simples, sendo bastante similar a de um transistor bipolar. A diferença é que a concentração de impurezas é aproximadamente a mesma em ambas as junções e que não existe nenhum contato na camada que no transistor constitui a base.

As concentrações iguais de impurezas resultam em características de bloqueio-condução, segundo a figura 14-16.



I F
V (BR)
Δ V
V R
V F
V (BO)
Δ V
10 mA
I R

Figura 14-16 Curvas características e símbolo do Diac

A tensão de retorno é geralmente próxima de 30 volts. Tensões mais baixas são difíceis de se obter, com uma resistência negativa suficiente, enquanto que valores mais elevados reduziriam as possibilidades de controle.

Quando se aplica uma tensão positiva ou negativa sobre os terminais de um Diac, se produz um fluxo muito pequeno de corrente de fuga $I_{(BO)}$, até que a tensão chega no ponto de ruptura $V_{(BO)}$. Neste momento, a junção polarizada inversamente sofre uma ruptura por avalanche e acima deste ponto, a característica “tensão x corrente” equivale a uma resistência negativa, ou seja, a corrente aumenta consideravelmente enquanto a tensão diminui.

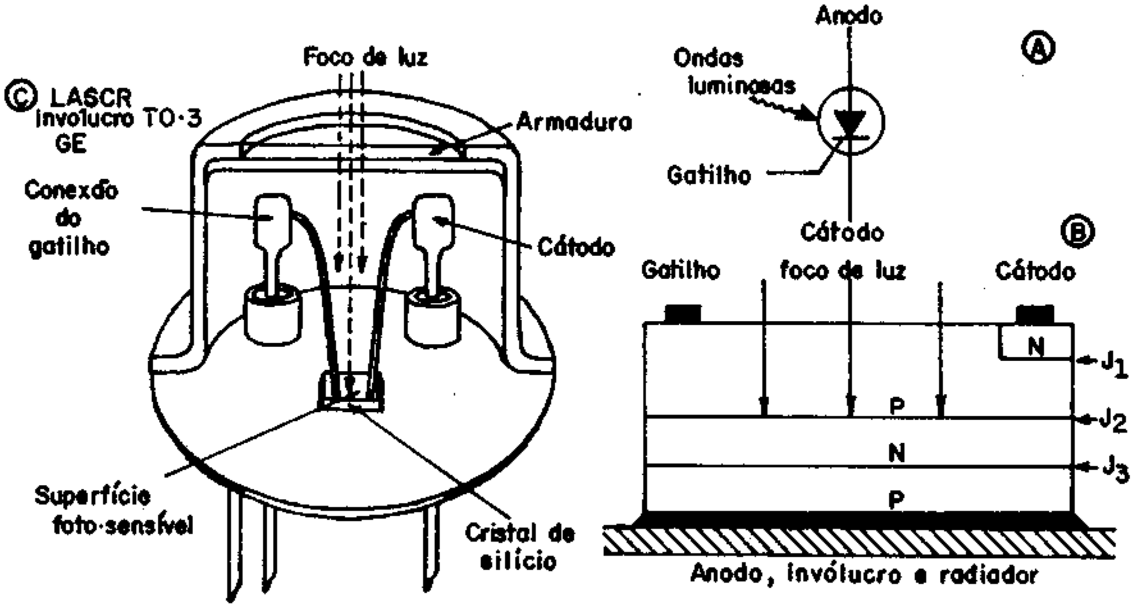
Os Diacs são muito usados em dispositivos de disparo para controle de fase de Triacs (em controles graduais de luminosidade), controle de velocidade de motores universais, controle de calefação, e diversas outras aplicações similares.

FOTOTHYRISTORES

Para disparar um thyristor, injeta-se uma corrente na base de um dos transistores que o constitui, o que leva à saturação. Pode-se ainda dispará-lo, criando-se através da luz, uma corrente em sua base. Para isto, criamos pares de elétrons-lacunas que serão separados por um campo elétrico ao nível da junção, e que são injetados na base do transistor considerado, sob a forma de portadores majoritários, criando assim a corrente de base.

Quanto maior for o número de elétrons-lacunas criados, maior será esta corrente. Isto é conseguido escolhendo-se um comprimento de onda ótimo, próximo de 1 μm, e tendo-se uma superfície de junção, a maior possível com polarização inversa e exposta aos raios luminosos.

O fotothyristor é o único elemento capaz de comutar sob a influência da luz, que possui dois estados estáveis, Na figura 14-17, vemos a estrutura, o símbolo e o aspecto de um fotothyristor.



Ⓒ LASCR
Invólucro TO-3
GE
Foco de luz
Armadura
Conexão do gatilho
Cátodo
Superfície foto-sensível
Cristal de silício
Anodo
Ondas luminosas
Gatilho
Cátodo
Ⓐ
Ⓑ
Gatilho
foco de luz
Cátodo
N
P
N
P
J1
J2
J3
Anodo, invólucro e radiador

Figura 14-17 Estrutura, símbolo e aspecto de um fotothyristor

THYRISTOR BLOQUEÁVEL

O thyristor bloqueável pode ser disparado quando lhe aplicamos uma tensão positiva ao seu elétrodo de comando e será rebloqueado se aplicarmos uma impulsão negativa a este mesmo elétrodo.

QUADRAC

A partir dos thyristores, triacs e diodos, os fabricantes idealizaram dispositivos compostos, visando simplificar os esquemas de aplicações e o uso prático dos elementos.

Normalmente utiliza-se um diac para disparar um triac. Pode-se muito bem conceber um elemento composto, compreendendo estes dois componentes. Este é o quadrac, cujo esquema é apresentado na figura 14-18.

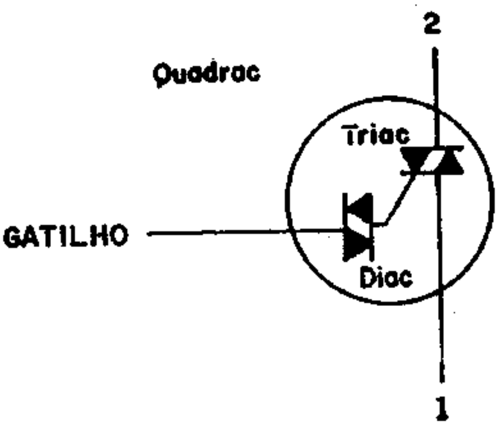


Figura 14-18 Esquema de um quadrac

DIODO SHOCKLEY

O diodo Shockley, também conhecido como diodo thyristor ou diodo de quatro camadas, é um dispositivo bipolar PNPN comparável em todos os sentidos à um thyristor, porém, estando disponíveis somente os bornes de anodo e cátodo.

Quando aplicarmos em seus bornes (entre cátodo e anodo), uma tensão crescente, mas inferior a um certo nível V_S , sua resistência será elevada e somente uma pequena corrente o atravessará.

Esta corrente é da ordem de alguns microampéres. Este é o seu primeiro estado estável, pois o diodo está bloqueado.

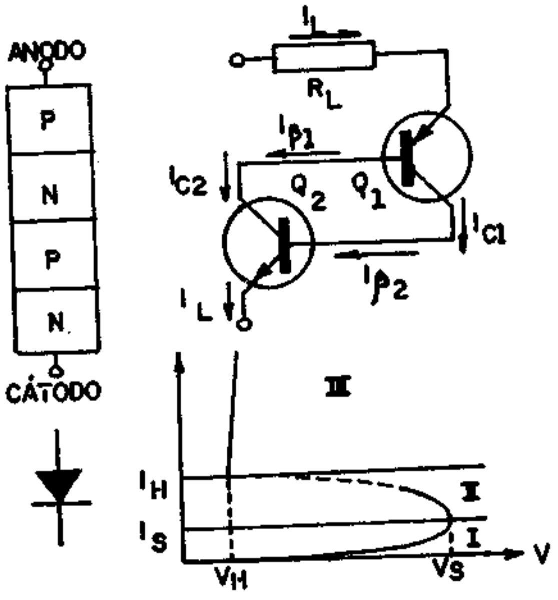


Figura 14-19 Estrutura, curva e símbolo de um diodo Shockley

Quando a tensão V_S é atingida, chegamos na segunda zona, na qual o diodo apresenta uma região negativa. Este é um estado instável.

A resistência do diodo vai decrescendo rapidamente e a partir do ponto I_H ela não tem mais do que alguns ohms. O diodo está plenamente condutor e assim permanece enquanto existir a corrente de manutenção, cujo valor mínimo é I_H. Esta é a terceira zona cujo funcionamento é estável. A queda de tensão introduzida pelo dispositivo é da ordem de 1V para os diodos de germânio e 1,3V a 1,7V para os de silício.

O rebloqueio efetua-se reduzindo-se a corrente, abaixo do valor de I_H ou a tensão, abaixo de V_H .

As tensões V_S são da ordem de 20 a 100V, enquanto que I_H é da ordem de 1 a 50 mA.

DIODO TÚNEL

Um diodo túnel é um pequeno dispositivo formado por uma junção PN, que tem uma elevada concentração de impurezas nos materiais semicondutores P e N. Esta alta densidade de impurezas faz tão estreita a região de depleção da junção (ou região de carga espacial), que as cargas elétricas podem se transferir através dela, mediante um efeito mecânico-quântico denominado “efeito túnel”. Este efeito túnel produz uma zona de resistência negativa, sobre a curva característica do diodo de referência, que o habilita para desempenhar as funções de amplificação, geração de pulsos e geração de energia de RF.

Características

Na figura 14-20 temos a característica típica de uma curva tensão-corrente de um diodo túnel e seu símbolo.

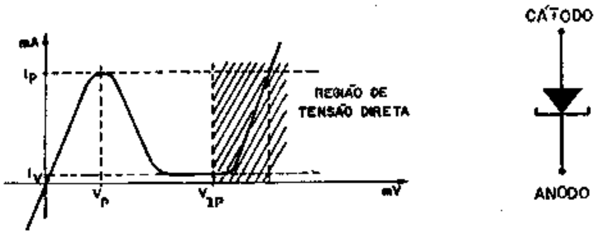


Figura 14-20 Curva característica de um diodo túnel e seu símbolo

Os diodos normais, quando polarizados inversamente, são percorridos por uma pequena corrente até que se atinja a tensão de ruptura.

Com polarização direta, a condução começa aproximadamente com 300 mV. Nos diodos túnel, ao contrário, uma pequena polarização inversa faz com que os elétrons de valência dos átomos do material semicondutor próximo à junção, atravessem a mesma por efeito túnel. Assim, o diodo túnel é altamente condutor para todas as polarizações inversas. Do mesmo modo, com pequenas polarizações diretas, os elétrons da região N passam por “efeito túnel” através da junção à região do tipo P, e a corrente do diodo cresce rapidamente até um valor de pico (I_P).

Com valores intermediários de polarização o diodo túnel apresenta uma característica de resistência negativa, e a corrente cai a um valor mínimo, denominado I_V (corrente de vale).

Com valores crescentes de polarização, o diodo túnel apresenta uma característica diódica. Devido à redução da corrente com o aumento da polarização na região de resistência negativa, o diodo túnel tem a capacidade de amplificar, oscilar e comutar.

Ponto de funcionamento

Quando se usa um diodo túnel em circuitos tais como amplificadores e osciladores, deve-se estabelecer um ponto de funcionamento na região de resistência negativa.

A linha de carga de CC, mostrada em linha cheia na figura 14-21 deve ter uma inclinação tal, que intercepte a região de resistência negativa somente em um ponto.

A linha de carga de CA pode ser bem inclinada, com uma só interseção (B) como no caso de um amplificador, ou um pouco inclinada, com três interseções (C, D, E)como ocorre em um oscilador.

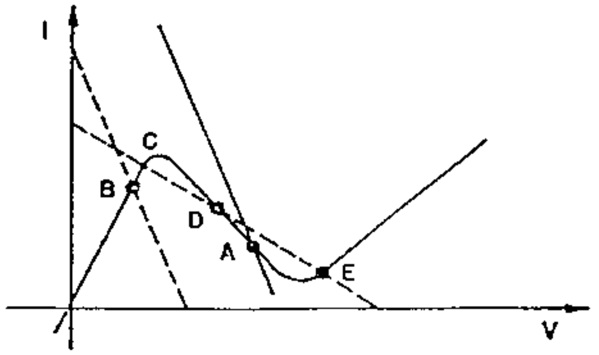


Figura 14-21 Linhas de carga

DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)

Num diodo com polarização direta, os elétrons livres atravessam a junção e combinam-se com as lacunas. À medida que esses elétrons caem de um nível mais alto de energia para um mais baixo, eles irradiam energia. Nos diodos comuns essa energia é dissipada na forma de calor. Mas no diodo emissor de luz (LED), a energia é irradiada na forma de luz.

Os LEDs substituíram as lâmpadas de incandescência em várias aplicações devido a sua baixa tensão, vida longa, e rápido chaveamento liga-desliga.

Os diodos comuns são feitos de silício, um material opaco que bloqueia a passagem da luz. Os LEDs são diferentes. Usando-se elementos como o gálio, o arsênio e o fósforo, um fabricante pode produzir LEDs que irradiam no vermelho, verde, amarelo, azul, laranja ou infravermelho (invisível).

Os LEDs que produzem radiação visível são úteis em instrumentos, calculadoras etc. Os LEDs infravermelhos encontram aplicação em sistemas de alarme contra roubo e outras áreas que exijam radiação invisível.

Tensão e corrente do LED

Os LEDs têm uma queda de tensão típica de 1,5 a 2,5 V para correntes entre 10 e 50 mA.

A queda de tensão exata depende da corrente, da cor, da tolerância do LED. A menos que seja feita alguma recomendação em contrário, use uma queda nominal de 2 V quando estiver verificando defeitos ou analisando circuitos com LEDs. Se tiver que fazer algum projeto, consulte a folha de dados, porque as tensões do LED têm uma grande tolerância.

A figura 14-22(a) mostra o símbolo esquemático de um LED, as setas para fora simbolizam a luz irradiada. Admitindo uma queda no LED de 2 V, pode-se calcular a corrente do LED, do seguinte modo:

$$I = \frac{10V - 2V}{680\Omega} = 11{,}8m$$

Tipicamente, a corrente do LED está entre 10 e 50 mA porque essa faixa produz luz suficiente para a maioria das aplicações.

O brilho de um LED depende da corrente. Idealmente, a melhor forma de se controlar o brilho é vincular o LED a uma fonte de corrente. A melhor coisa para se obter uma fonte de corrente é uma grande tensão de alimentação seguida de uma grande resistência em série. Neste caso, a corrente do LED é dada por:

$$I = \frac{V_S - V_{LED}}{R_S}$$

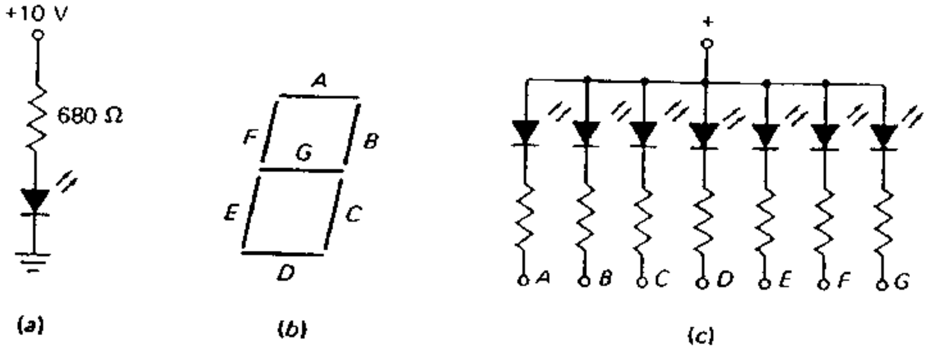


Figura 14-22 (a) Um circuito com LED.
(b) Indicador de sete-segmentos.
(c) Diagrama esquemático

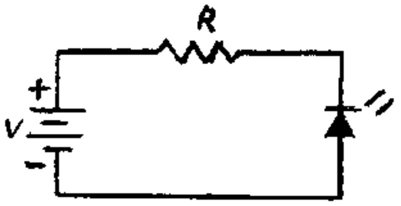


Figura 14-23 Fotodiodo

Quanto maior a tensão da fonte, menor o efeito que V_{LED} produz. Em outras palavras, um alto valor de V_S encobre a variação na tensão do LED.

Por exemplo, um TIL222 é um LED verde com uma queda mínima de 1,8V e uma queda máxima de 3V para uma corrente de aproximadamente 25 mA.

Se ligarmos um TIL222 a uma fonte de 20 V e a um resistor de 750 Ω, a corrente variará de 22,7 a 24,3 mA. Isto implica um brilho que é essencialmente o mesmo para todos os TIL222. Por outro lado, suponhamos que no circuito se utilize uma fonte de 5V e um resistor de 120 Ω. A corrente variará então cerca de 16,7 a 26,7 mA; isto causará uma variação sensível no brilho. Portanto, para se obter um brilho aproximadamente constante com LEDs, devemos utilizar tanto uma fonte de tensão como uma resistência em série o maior possível.

Indicador de sete-segmentos

A figura 14-22(b) mostra um indicador de sete-segmentos que contém sete LEDs retangulares (de A a G). Cada LED é chamado de um segmento porque ele faz parte do dígito que está sendo exibido. A figura 14-22(c) é o diagrama esquemático de um indicador de sete-segmentos; são incluídos resistores externos em série para limitar as correntes a níveis seguros.

Aterrando-se um ou mais resistores, podemos formar qualquer dígito de 0 a 9. Por exemplo, aterrando A, B e C, obtemos o 7. Aterrando A, B, C, D e G produzimos um 3.

Um indicador de sete-segmentos também pode exibir as letras maiúsculas A, C, E e F, mais as letras minúsculas b e d. Os instrutores de microprocessadores freqüentemente usam uma exibição de sete-segmentos para mostrar todos os dígitos de 0 a 9, mais A, b, C, d, E e F.

SUMÁRIO

1 – O thyristor (SCR), é um comutador quase ideal. Uma de suas várias funções é controlar a energia consumida em vários tipos de máquinas.

2 – O termo thyristor, designa uma família de elementos semicondutores, cujas características estão próximas às das antigas válvulas thyratron.

3 – O nome thyristor é uma contração de THYRatron e transISTOR.

4 – O thyristor básico é denominado SCR (retificador controlado de silício).

5 – Dos vários tipos de thyristores, os que se destacam atualmente são os SCR, triac, fotothyristor, diac, diodo Shockley, etc.

6 – O SCR é um diodo semicondutor de silício, a quatro camadas alternadas PNPN, com três terminais de saída, que são denominados anodo, cátodo e gatilho.

7 – Quando o anodo de um SCR é positivo em relação ao cátodo, duas junções internas ficam polarizadas diretamente, e uma junção fica polarizada inversamente. Neste caso, o diodo poderá conduzir, desde que o potencial de anodo seja suficiente para romper a junção com polarização inversa.

8 – O SCR poderá conduzir facilmente se estiver polarizado diretamente e se um potencial positivo for aplicado ao gatilho.

9 – Um SCR poderá disparar (conduzir) quando um sinal de comando é aplicado ao terminal gatilho, mas o seu bloqueio, só poderá ocorrer, diminuindo-se a corrente de anodo a um determinado nível.

10 – A tensão de disparo de um SCR depende da tensão V_G, mas o seu bloqueio não depende desta tensão.

11 – Um SCR pode controlar a energia dissipada em uma carga, através de um sistema que defasa a tensão V_G com relação a tensão de anodo.

12 – O triac é um dispositivo semicondutor de três terminais, sendo um de comando e dois de condução principal.

13 – Este dispositivo, pode passar de um estado bloqueado a um regime de condução nos dois sentidos de polarização.

14 – O triac poderá conduzir nos dois sentidos, desde que comandado, mas o seu bloqueio só se efetuará pela inserção da tensão de anodo ou pela diminuição da corrente, abaixo do valor da corrente de manutenção.

15 – O triac pode ser disparado por uma corrente negativa ou positiva no gatilho.

16 – O diac é um dispositivo semicondutor de dois terminais, que não possui polaridade. A sua condução é bidirecional.

17 – A condução de um diac é por ruptura das junções que o constituem.

18 – Quando conduz, o diac apresenta uma região de resistência negativa.

19 – Os diacs são muito usados em sistemas de disparo para controle de fase de triacs em controles de energia.

20 – Os fotothyristores, são SCR, cujo disparo é efetuado por um foco luminoso.

21 – O quadrac é um dispositivo semicondutor cuja estrutura é constituída de triacs e diacs.

22 – O diodo Shockley é aparentemente um thyristor SCR com apenas dois terminais.

23 – O diodo Shockley, tem três estados: o primeiro é o de não condução; o segundo é o de disparar quando apresentar um estado de resistência negativa e o terceiro é quando a sua condução é normal e igual a um diodo convencional.

24 – O bloqueio de um diodo Shockley é através da redução de I_H.

25 – O diodo túnel é um pequeno dispositivo formado por uma junção PN, com alta concentração de impurezas.

26 – O diodo túnel, altamente dopado, quando polarizado diretamente, apresenta inicialmente uma região de resistência negativa.

27 – A região de resistência negativa é devido a diminuição da corrente com o aumento da tensão direta.

28 – Devido a esta característica, o diodo túnel pode ser usado como amplificador ou oscilador.

CAPÍTULO 15

DECIBÉIS

INTRODUÇÃO

É muito comum ouvirmos, em eletrônica, frases como: “O atenuador reduz de 5 dB”; “Resposta plana de frequência dentro de 3 dB”; “Amplificador com ganho de 10 dB”; “Antena com ganho de 9 dB”, etc. Mas quantos são os que realmente têm uma exata noção do valor destes números? Pouquíssimos são os que estão familiarizados com o termo dB (abreviatura de decibel).

O decibel, que é a décima parte do Bel, é a unidade usada para se fazer a comparação entre quantidades de energia, seja na forma de potência ou de som. Para nós, quando nos referirmos a decibel, entenderemos como sendo dez vezes o logaritmo decimal da relação entre dois níveis de potência expressos em Watt.

$$N^o\ dB = 10 \times \log (P_2 : P_1)$$

Antes de prosseguirmos neste assunto, torna-se mister tecermos algumas considerações sobre a forma com que o ouvido humano responde (reage) aos diferentes estímulos sonoros.

Imaginemos um aparelho fornecendo-nos uma potência de 10 Watts e observemos a sensação auditiva. Aumentemos a potência sonora, até o nosso ouvido sentir o dobro do nível sonoro anterior. Se neste exato momento medirmos a potência, verificaremos que se trata de 100 W e não 20 W, como era de se supor.

Se aumentarmos ainda mais a potência até que dobre novamente, mediremos 1000 W, e, assim, sucessivamente.

Isso mostra que o ouvido humano reage ao som, não de maneira linear, mas muito aproximadamente, de acordo com uma curva logarítmica, razão pela qual os engenheiros, ao estabelecerem uma fórmula para a comparação de duas intensidades sonoras, tiveram que fazer com que ela obedecesse à mesma curva matemática que os logaritmos.

Aplicações

Inicialmente a aplicação do decibel restringia-se somente ao áudio. Mais tarde generalizou-se pela simplificação que ele traz, passando a ser aplicado em antenas, amplificadores, linhas de transmissão, etc.

Vejamos alguns exemplos de aplicação do dB:

a) Um amplificador requer 2 W de potência para excitá-lo na entrada.

Sabendo-se que a potência de saída do amplificador é de 8 W, qual será o ganho do amplificador em dB?

Solução:

$P_0 = 2\ W \qquad P_1 = 8\ W \qquad G(dB) = ?$

$$G(dB) = 10\ \log \frac{P_1}{P_0}$$

$$G(dB) = 10\ \log \frac{8}{2} = 10\ \log\ 4$$

$$G(dB) = 10\ (0{,}602) = 6{,}02$$

b) Um transmissor entrega uma potência de 500 W, mas na antena chegam apenas 455 W. Qual é o ganho de potência em dB?

Solução:

$P_0 = 500\ W \qquad P_1 = 455\ W \qquad G(dB) = ?$

$$G(dB) = 10\ \log \frac{455}{500}$$

$$G(dB) = 10\ \log\ 0{,}91$$

$$G(dB) = -10(0{,}041) = -0{,}41$$

Façamos algumas considerações sobre os dois resultados obtidos nos exercícios anteriores.

O primeiro resultado significa que a potência de saída do amplificador está 6,02 dB acima do nível de potência de entrada.

No segundo resultado, observamos o aparecimento do sinal - (menos). Este sinal indica que não se trata de ganho de potência, mas sim uma atenuação (perda de potência) e o resultado em si, significa que a potência que chega à antena está 0,41 dB abaixo do nível de potência entregue pelo transmissor.

RELAÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE

A partir da definição de ganho em potência e do conhecimento de que: $P = E \times I = I^2 \times R = E^2 : R$, podemos deduzir o ganho de tensão e ganho de corrente, sobre impedâncias iguais.

$G(dB) = 10 \log P_1 : P_0$

Supondo $R_1 = R_0$ e substituindo os valores de P_0 e de P_1 pelos valores correspondentes em tensão e resistência, teremos:

$$G(dB) = \frac{10\log(E_1^2 \bullet R_0)}{(E_0^2 \bullet R_1)}$$

$G(dB) = 10\log(E_1^2 : E_0^2)$ que pode ser escrito como:

$G(dB) = 20 \log (E_1 : E_0)$. Da mesma forma podemos deduzir para o ganho de corrente:

$G(dB) = 20 \log (I_1 : I_0)$

NÍVEIS DE REFERÊNCIA

O decibel, sendo essencialmente uma relação, ou mais exatamente, dez vezes o logaritmo decimal da relação entre duas potências, exige que se explicite ou subentenda-se uma referência, de acordo com convenções existentes. Por exemplo, quando se diz que o ganho de um amplificador é de tantos dB, isto equivale a expressar em dB o sinal de saída, tomando-se como referência o sinal de entrada.

Existem também alguns níveis de tensão ou de potência padronizados, escolhidos como referência, e freqüentemente os níveis de tensão ou de potência são expressos em relação a tais referências.

Os níveis mais comuns são 1 miliwatt e 6 miliwatt. O nível de 0,006 W corresponde a zero dB, enquanto que o nível 0,001 W corresponde ao nível zero dBm. Em outras palavras: dBm significa, dB relativo a 1 miliwatt.

Alguns exemplos a seguir elucidarão o emprego do dB e do dBm no cálculo do ganho ou atenuação de um circuito ou equipamento:

a) Sabendo-se que a potência de saída de um amplificador é 5 miliwatt, calcular o nível de potência de saída do amplificador, em dB.

Solução:

$P_0 = 1mW$

$P_1 = 5\ mW$

$G\ (dBm) = ?$

$G(dBm) = 10 \log (5 : 1) = 10 \log 5$

$G(dBm) = 10 \times 0{,}6990$

$G\ (dBm) = 6{,}99 = \pm 7$

Então, o nível de potência de saída do amplificador, está a 7 dB acima do nível de referência de 0,001 W.

b) Sabendo-se que um amplificador tem uma potência de saída de 6 Watts, calcular o seu ganho em dB.

Solução:

$P_1 = 6 \cdot 10^{-3}\ W$

$P_0 = 6\ W$

$G\ (dB) = ?$

$G\ (dB) = 10 \log (6 : 6 \cdot 10^{-3}) = 10 \log 10^3$

$G\ (dB) = 30 \log 10$

$G\ (dB) = 30$

Este resultado indica que a potência de saída do amplificador está a 30 dB acima do nível de potência de referência de 0,006 W.

MEDIDA DE POTÊNCIA

O dBm é usado para descrever níveis de potência em decibéis, com referência a potência de 1mW sobre 600 ohms. Um miliwatt é representado como zero dBm, 10 miliwatts como 10 dBm, e 100 miliwatts como 20 dBm.

As figuras 15-1 e 15-2 são úteis na conversão direta de Volts rms em dBm (15-1) ou mW para dBm (15-2). A diagonal de cada gráfico marca os valores de tensão (15-1) ou a junção de dBm e miliwatts (15-2)

a) Para converter 10 volts rms em dBm, localize 10 volts na escala inferior da figura 15-1, movendo para cima (verticalmente) até encontrar a linha diagonal. Deste ponto mova horizontalmente para a esquerda, até encontrar +22 dBm.

b) Para converter 1000 mW em dBm, localize 1000 na parte inferior da figura 15-2.

Siga a linha de 1000 mW até encontrar a linha diagonal. Deste ponto, mova horizontalmente até +30 dBm na margem esquerda do gráfico.

c) Para converter +15 dBm em mW, localize +15 dBm na margem esquerda do gráfico (figura 15-2), movendo horizontalmente até encontrar a linha diagonal. Deste ponto, mova verticalmente para baixo, até encontrar a linha inferior que corresponde ao ponto 33,3 mW da escala.

d) Para cargas diferentes de 600 ohms, um fator de correção, baseado na razão de 600 ohms para o atual valor de carga, deve ser somado ou subtraído dos valores encontrados para 600 ohms, com o auxílio do gráfico apropriado. A fórmula para encontrar o fator de correção é:

F.C. = 10 log (600 : R_1), onde R_1 é a atual resistência de carga.

Como exemplo do uso do fator de correção, consideremos um amplificador com uma carga de 8 ohms que dissipa 1000 mW (1W).

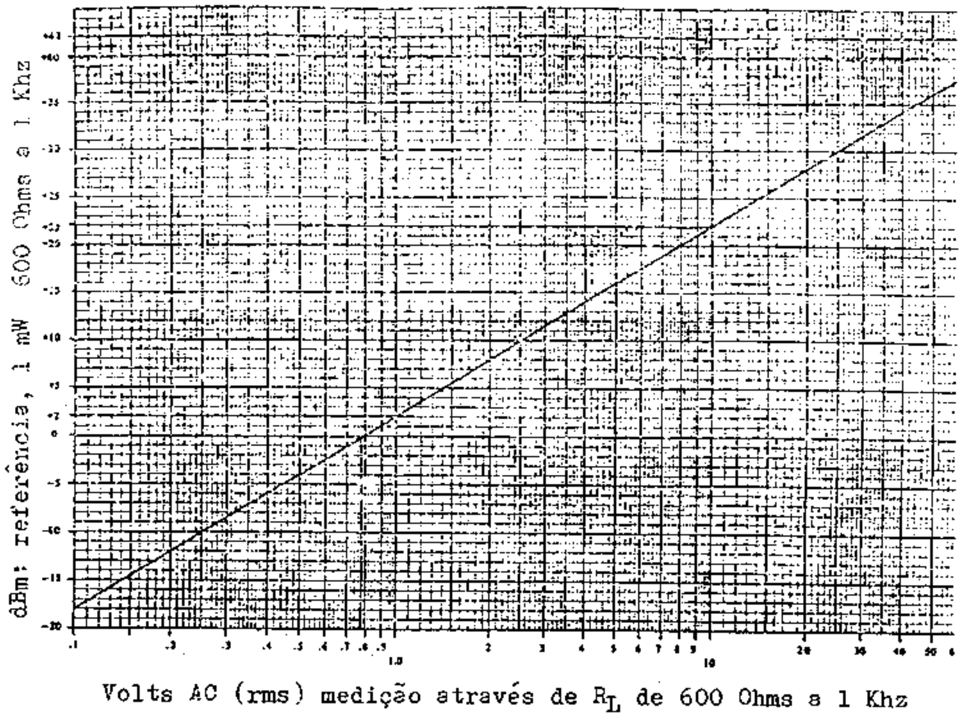


Figura 15-1 Conversão de volts rms em dBm

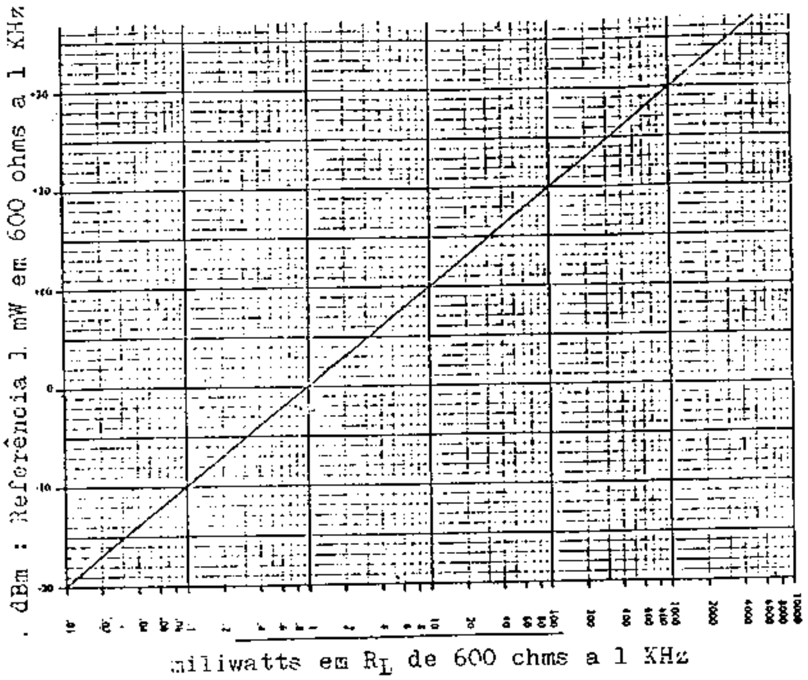


Figura 15-2 Conversão de mW em dBm

A figura 15-2 nos mostra que corresponde a +30 dBm numa carga de 600 ohms. Para determinarmos o verdadeiro valor em dBm sobre a resistência de 8 ohms, devemos calcular primeiramente o fator de correção.

$$F.C. = 10 \log (600 : 8) = 10 \log 75 =$$
$$= 10 (1,875) = 18,75$$

Como a nossa impedância é inferior a 600 ohms, teríamos que, do valor encontrado no gráfico, subtrair o fator de correção.

MEDIDORES DE POTÊNCIA

Um medidor de dB, mede, na realidade, tensão de CA e inclui-se uma escala de decibéis no mostrador do medidor, de modo que a leitura possa fazer-se em decibéis, em lugar de volts de CA.

A figura 15-3 ilustra um volt ohmímetro eletrônico com a escala inferior graduada em dB.

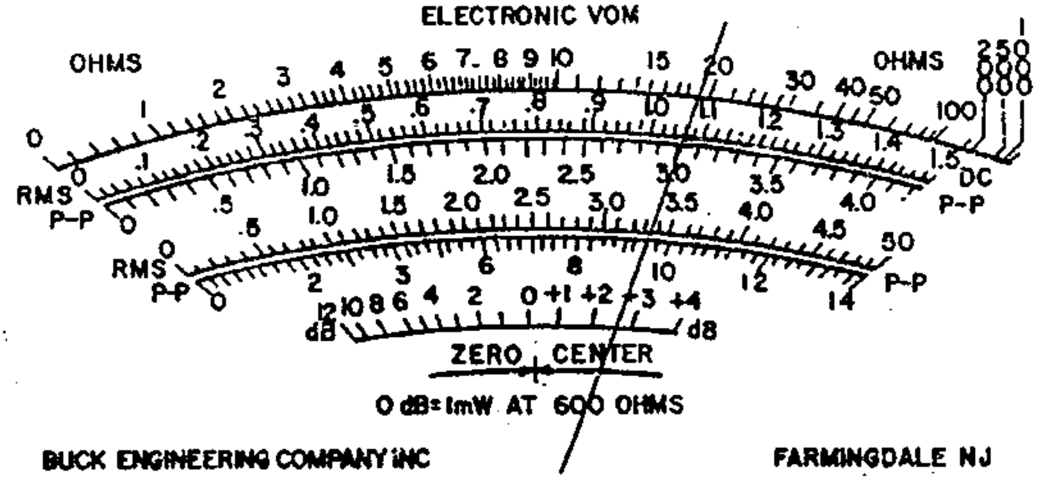


Figura 15-3 Mostrador de um volt ohmímetro eletrônico

SUMÁRIO

a) Logaritmo de um número, real e positivo N, em uma base a positiva e diferente da unidade, é o expoente real x que se deve elevar essa base a para obter o número N.

b) Somente números positivos têm logaritmos.

c) A mantissa do logaritmo de um número é fornecida em tábuas logarítmicas.

d) Todas as vezes que nos defrontarmos com logaritmos negativos, devemos transformá-los em logaritmos preparados a fim de facilitar o cálculo.

e) O decibel é muito usado em eletrônica, para comparação de níveis de tensão e de potência, sempre relacionados com um padrão de referência.

f) Quando medirmos a potência dissipada sobre uma impedância diferente de 600 ohms, devemos calcular o fator de correção, que deve ser somado ou subtraído dos valores em dBm, encontrados nos gráficos “dBm x volts rms” e “dBm x mW”.

CAPÍTULO 16

AMPLIADORES OPERACIONAIS

INTRODUÇÃO

O nome Ampliador Operacional (A.O.) deve-se ao fato do dispositivo ser empregado para realizar operações matemáticas, como multiplicação, integração, diferenciação e também para uma infinidade de funções.

Com esse dispositivo podem ser conseguidos amplificadores capazes de operar com sinais que vão desde corrente contínua até vários megahertz.

Simbologia

Na figura 16-1 é mostrado o símbolo do ampliador operacional.

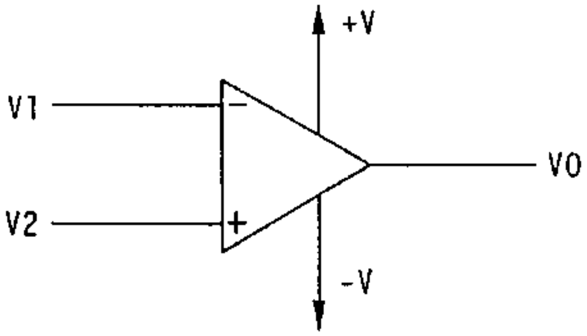


Figura 16-1 Símbolo do ampliador operacional

A entrada diferencial amplia a diferença dos sinais aplicados às entradas.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

O ampliador operacional ideal apresenta as seguintes características:

- Impedância de entrada infinita.
- Impedância de saída nula.
- Ganho de tensão infinito.
- Atraso nulo.
- Tensão de saída nula de V2 = V1.
- Resposta em frequência infinita.

ALIMENTAÇÃO

Na maioria das aplicações usa-se uma fonte simétrica (± V), porém há casos em que a fonte simples pode ser usada.

A alimentação pode ser obtida das seguintes maneiras:
-Duas fontes iguais, perfeitamente sincronizadas;
-Circuito divisor de tensão, com resistores exatamente iguais;
-Uma fonte simétrica, com valores típicos entre ± 10 V e ± 20 V.

PINAGEM

O ampliador operacional mais difundido é o 741 (TBA221B). É um circuito integrado monolítico construído numa única base de silício.

Caracteriza-se por apresentar um alto ganho e uma elevada impedância de entrada. Esse ampliador operacional é encontrado com diversas denominações: µA 741, LM 741, CA 741, MC 741 e TBA 221B.

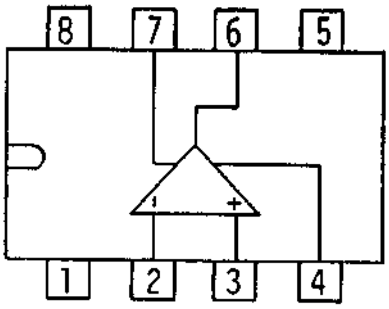


Figura 16-2 Pinagem do ampliador operacional 741

Pinos:

1 – Ajuste de *offset.*
2 – Entrada inversora.
3 – Entrada não inversora.
4 – Alimentação (- V).
5 – Ajuste de *offset.*
6 – Saída (Vb).
7 – Alimentação (+ V)
8 – Sem uso.

O ajuste de *offset* compensa a diferença entre os dois sinais de entrada.

AMPLIADOR OPERACIONAL COMO AMPLIFICADOR

O ampliador operacional como amplificador é mostrado na figura 16-3.

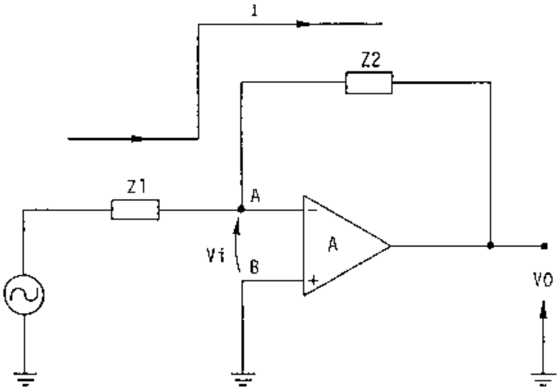


Figura 16-3 Ampliador operacional típico

O sinal de saída V_O é proporcional a V_{BA}; ($V_B - V_A$).

Como sabemos o ^{ao} apresenta uma impedância de par entrada infinita, logo a corrente I passará de Z_1 a Z_2, de onde podemos tirar a seguinte relação:

$$\frac{V_S - V_i}{Z_1} = \frac{V_O - V_i}{Z_2} \text{ ou seja:}$$

$$\frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{V_O - V_i}{V_S - V_i} = (1)$$

Como o ampliador operacional apresenta ganho 00 temos:

$$V_O = A \bullet V_i$$

$$V_i = \frac{V_O}{A}$$

Portanto se o ganho "A" tende a "00", a diferença de sinal 'Vi' tende a zero.

Com isso a expressão (1) pode ser escrita como:

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{Z_2}{Z_1}, \text{ como "A"} = \frac{V_O}{V_S} \text{ temos que:}$$

$$A = \frac{-Z_2}{Z_1}$$

O sinal negativo na fórmula deve-se ao fato do extremo de Z_2 estar aplicado no terminal inversor do ampliador operacional (ponto A).

Com essa demonstração chegamos a algumas conclusões importantes:

1) Podemos determinar o ganho em malha aberta (sem realimentação, ou seja Z_1 e Z_2): A= $\frac{-Vo}{Vi}$
2) O ganho do ampliador em malha fechada será A= - (Z_2/Z_1) = - V_O/V_i
3) A tensão de saída será negativa ou não, dependendo da aplicação do sinal de entrada : $V_O = -A \bullet V_i$, ampliador inversor de ganho –A
4) Se $Z_1 = Z_2$, o circuito comporta-se como um simples inversor: $V_O = -V_S$
5) Se $Z_1 < Z_2$, o circuito amplifica e inverte
6) Se $Z_1 > Z_2$, o circuito atenua e inverte.

APLICAÇÕES DOS AMPLIADORES OPERACIONAIS

Aplicações lineares

São circuitos que exercem funções analógicas. Circuitos analógicos ou lineares são os que processam ou manipulam sinais cujas amplitudes variam continuamente dentro de um certo período. Nessa categoria encontram-se os osciladores, os ampliadores, os filtros ativos, os circuitos somadores e outros.

Ampliador com inversão

O circuito da figura 16-4 mostra um ampliador com inversão.

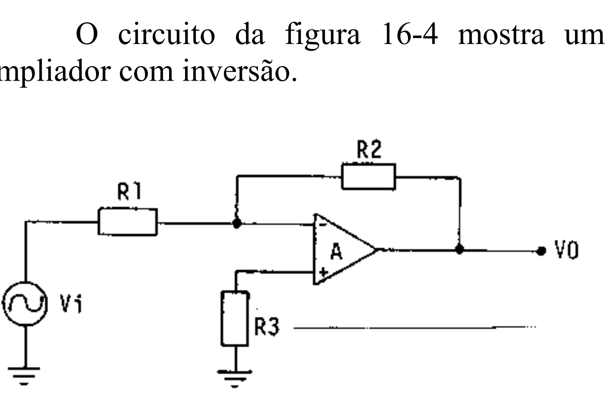


Figura 16-4 Ampliador com inversão

Suponhamos que os componentes do circuito da figura 16-4 assumam os seguintes valores: R_1 = 20K, R_2 = 100K e R_3 = 0. Com isso tem-se que o ganho (A) será:

$$A = \frac{-R_2}{R_1} = -5$$

Caso usemos R_3, o seu valor será:

$$R_3 = \frac{R_1 \bullet R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, se o sinal de entrada aplicado ao circuito for de 1V, a saída será de –5V. Esse circuito então executa também a função de multiplicador.

Ampliador sem inversão

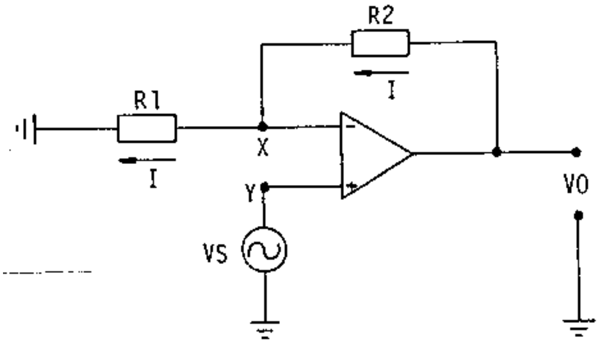


Figura 16-5 Ampliador sem inversão

Pelo circuito da figura 16-5 vemos que $I = \frac{V_S}{R_1}$, teremos, nesse circuito que:

$V_O = V_{R2} + V_S$.

Porém, como $V_{R2} = \frac{V_S}{R_1}$ temos que:

$$V_S \bullet \frac{R_2}{R_1} + V_S = V_O \therefore V_O = V_S \ (1 + \frac{R_2}{R_1})$$

Por outro lado: $\frac{V_O}{V_S} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

Ou seja: $A = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

Ampliador com ganho unitário

O ampliador com ganho unitário apresenta uma elevada impedância de entrada (cerca de 400 MΩ), devido a alta realimentação e baixa impedância de saída (inferior a 1).

O ampliador com ganho unitário é mostrado na figura 16-6.

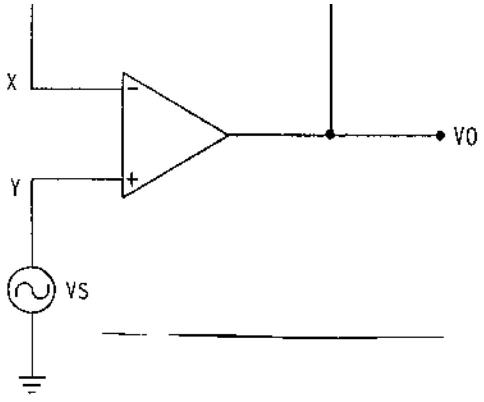


Figura 16-6 Ampliador com ganho unitário

No circuito, $A = \frac{V_O}{V_S}$

como $V_O = V_S$ temos $A = 1$

O ampliador nessa configuração é empregado como isolador ou "buffer". O circuito isolador permite que possamos medir tensões em circuitos de alta impedância utilizando um voltímetro de baixa impedância.

Circuito somador

Como o nome indica o circuito somador tem por objetivo fornecer na saída uma tensão cujo valor é igual a soma das tensões aplicadas à entrada.

Tal circuito é mostrado na figura 16-7.

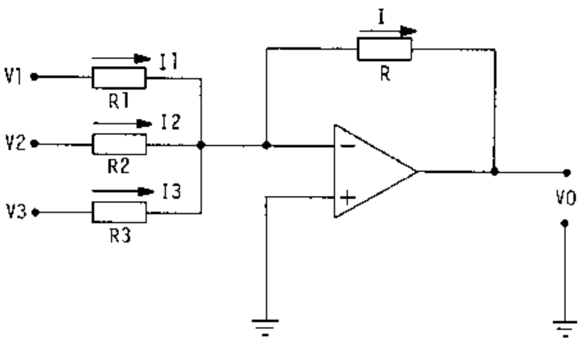


Figura 16-7 Circuito somador

Observando o circuito podemos escrever a equação da tensão de saída:

$$V_O = - I \times R = -(I_1 + I_2 + I_3) \times R$$

Ou ainda:

$$V_O = - (\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}) \times R$$

Se considerarmos $R_1 = R_2 = R_3 = R$ teremos:

$$V_O = - (V_1 + V_2 + V_3)$$

Circuito subtrator

É o circuito projetado para fornecer na saída um valor de tensão igual a diferença entre as tensões de entrada.

Para que o circuito funcione como subtrator é necessário que a seguinte relação seja obedecida:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

O circuito subtrator é mostrado na figura 16-8

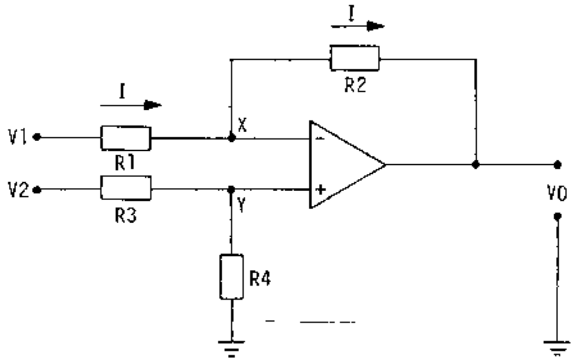


Figura 16-8 Circuito subtrator

Consideremos inicialmente todos os resistores iguais a “R”.

Temos então que: $I = \frac{VR_1}{R_1} = \frac{VR_2}{R_2}$,

Mas como $VR_1 = V_1 - V_X$ e $VR_2 = V_X - V_O$

A corrente “I” será: $I = \frac{V_1 - V_X}{R} = \frac{V_X - V_O}{R}$

Logo: $V_1 - V_X = V_X - V_O$

e $V_O = 2 V_X - V_1$

Se $V_y = \frac{V_2}{2}$ e $V_O = 2 (\frac{V_2}{2}) - V_1$

Finalmente tem-se que: $V_O = V_2 - V_1$

Aplicações não lineares

Circuitos não lineares são aqueles que ao contrário dos analógicos, sempre nos fornecerem saídas totalmente diferentes da forma de onda de entrada.

Circuitos comparadores – São circuitos cuja função principal é comparar o sinal de entrada V_1 com um sinal de referência V_R.

A figura 16-9 mostra um circuito comparador.

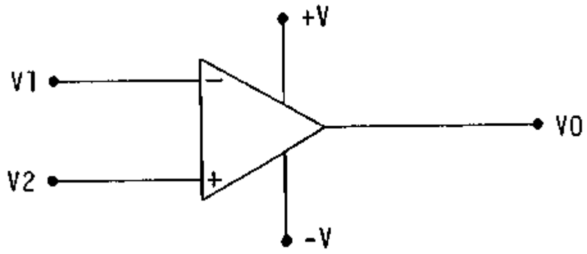


Figura 16-9 Circuito comparador

Comparador com tensão de referência nula – Um circuito comparador com tensão de referência nula é mostrado na figura 16-10.

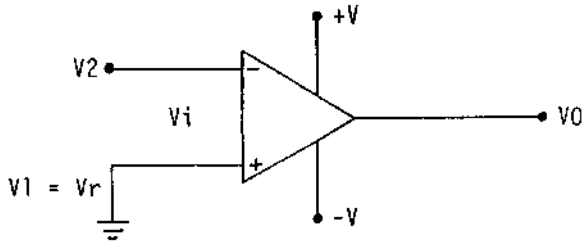


Figura 16-10 Circuito comparador com tensão de referência nula

No circuito temos que quando a tensão V_2 for positiva em relação à tensão V_1 de referência, a saída V_O será negativa.

E quando V_2 for negativa em relação à mesma tensão V_i, teremos uma V_O positiva.

CAPÍTULO 17

TÉCNICAS DIGITAIS

SISTEMAS DE NUMERAÇÃO

Os sistemas de numeração foram desenvolvidos na história da humanidade atendendo às crescentes necessidades.

Inicialmente o homem, por conveniência utilizou-se dos dedos como forma de contagem, criando o sistema decimal.

Com o advento do computador, outros sistemas vieram a ser criados, visando maior facilidade de representação interna codificada. Dentre os mais comuns podemos citar os sistemas Binário, Octal e Hexadecimal, que adequam-se às necessidades ou funções internas de diversos equipamentos.

O sistema decimal, porém, nunca foi deixado de lado como forma de representação numérica, convencionada para nós, humanos.

Sistema decimal de numeração

O sistema decimal é um sistema de base 10, no qual existem dez algarismos para representação de uma quantidade: 0, 1, 2, 3, 4, 5, ..., 9.

O menor algarismo de uma determinada base é zero (0) e o maior é igual a base menos 1 (10 – 1 = 9).

No exemplo 1 a seguir temos um número na base 10.

$(583)_{10}$

Podemos decompor este número em potência de dez, já que sua base é 10 e fazendo isso teremos:

$$(5 \text{ x } 100) + (8 \text{ x } 10) + (3 \text{ x } 1) = 583$$

Neste exemplo podemos notar que o algarismo menos significativo (no caso o três) multiplica-se a unidade (1 ou 10^0), o segundo algarismo (o oito) multiplica-se a dezena (10 ou 10^1) e o mais significativo (no caso o cinco) multiplica-se a centena (100 ou 10^2). A soma desses resultados irá representar o número.

Exemplo 2:

$(1592)_{10}$

Decompondo o mesmo teremos:

$$1 \text{ x } 10^3 + 5 \text{ x } 10^2 + 9 \text{ x } 10^1 + 2 \text{ x } 10^0 = 1592$$
$$1000 + 500 + 90 + 2 = 1592$$

Exemplo 3:

$(583{,}142)_{10}$

Notamos que no exemplo 3 temos um número com uma parte fracionária. Vejamos então sua decomposição em potência de dez:

$$5 \text{ x } 10^2 + 8 \text{ x } 10^1 + 3 \text{ x } 10^0 + 1 \text{ x } 10^{-1} + 4 \text{ x } 10^{-2} + 2 \text{ x } 10^{-3} \quad \text{ou}$$

$$500 + 80 + 3 + 1/10 + 4/100 + 2/1000 \quad \text{ou ainda}$$

$$500 + 80 + 3 + 0{,}1 + 0{,}04 + 0{,}002 = = 583{,}142$$

Sistema binário de numeração

No sistema binário a base é 2 (b = 2) e existem apenas dois algarismos para representar uma determinada quantidade: o algarismo 0 (zero) e o algarismo 1 (um).

Para representar a quantidade zero, utilizamos o algarismo 0, para representar a quantidade um, utilizamos o algarismo 1.

No sistema decimal, nós não possuímos o algarismo dez e representamos a quantidade de uma dezena utilizando o algarismo 1 (um) seguido do algarismo 0 (zero). Nesse caso, o algarismo 1 (um) significa que temos um grupo de uma dezena e o algarismo 0 (zero) nenhuma unidade, o que significa dez.

No sistema binário agimos da mesma forma, para representar a quantidade dois, utilizamos o algarismo 1 (um) seguido do algarismo 0 (zero). O algarismo 1 (um) significará que temos um grupo de dois elementos e o 0 (zero) um grupo de nenhuma unidade, representando assim o número dois.

Exemplo:

Seja o número $(1011)_2$ e façamos a sua decomposição em potência só que desta vez a base será dois:

$$1 \text{ x } 2^3 + 0 \text{ x } 2^2 + 1 \text{ x } 2^1 + 1 \text{ x } 2^0$$

$$1000 + 000 + 10 + 1 = (1011)_2$$

Sistema octal de numeração

No sistema octal a base é oito e temos oito algarismos para representar qualquer quantidade. Esses algarismos são: 0, 1, 2, 3, ...7.

Para a formação de um número, utilizam-se esses algarismos e toda vez que tivermos uma quantidade igual ao valor da base, soma-se um (1) ao algarismo de valor posicional imediatamente superior como fazemos no sistema decimal.

Notamos também que, em qualquer base o maior algarismo é igual ao valor da base menos um (1) e o número de algarismos é sempre igual ao da base.

Exemplo:

Decompondo o número $(361)_8$ em potência de base oito temos:

$$3 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 1 \times 8^0$$

$$3 \times 100 + 6 \times 10 + 1 \times 1 = (361)_8$$

Podemos escrever que a base elevada a uma determinada potência é igual a um (1 seguido de tantos zeros quantos forem os valores das potências, assim temos:

$2^3 = 1000$ $2^2 = 100$ $2^1 = 10$

$10^3 = 1000$ $10^2 = 100$ $10^1 = 10$

$8^3 = 1000$ $8^2 = 100$ $8^1 = 10$

No sistema decimal, o número 100 aparece após o número 99 na ordem crescente.

No sistema binário, o número 100 aparece após o número 11 na ordem crescente.

No sistema octal, o número 100 aparece após o número 77 na ordem crescente.

Sistema hexadecimal de numeração

No sistema hexadecimal de numeração, a base é dezesseis e dispomos de dezesseis algarismos para representação de uma determinada quantidade de coisas. Como existem apenas dez algarismos numéricos utilizamos também algarismos alfanuméricos. Portanto temos os seguintes algarismos:

0, 1, 2, 3,......9, A, B, C, D, E e F.

Hex	Dec
A	10
B	11
C	12
D	13
E	14
F	15

Exemplo:

Tomemos o número $(2C0A)_{16}$ e façamos sua decomposição.

$$2 \times 16^3 + C \times 16^2 + 0 \times 16^1 + A \times 16^0 \text{ ou}$$

$$2 \times 4096 + 12 \times 256 + 0 \times 16 + 10 \times 1 =$$

$$= 8192 + 3072 + 0 + 10 =$$

$$= (11274)_{10}$$

Complemento de um número

O complemento de um número é o que falta a este número para atingir o valor da base.

Exemplo:

Complemento de $(7)_{10}$ $10 - 7 = 3$

No sistema binário para chegar-se ao complemento, obtem-se primeiramente o falso complemento.

$$\begin{array}{l} \underline{(1011)_2} \\ 0100 \longrightarrow \text{Complemento falso} \end{array}$$

Complemento verdadeiro consiste em somar-se 1 (um) ao complemento falso.

$$\begin{array}{r} 0100 \\ \underline{+1} \\ 0101 \end{array}$$

Conversão de bases

Conversão para base decimal – Para convertermos um número representado em qualquer sistema numérico, para o sistema decimal usamos a notação posicional e resolvemos a expressão como na base decimal.

Seja o número 1101 no sistema binário.
A notação posicional seria:

$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 =$

$1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 =$

$8 + 4 + 0 + 1 = (13)_{10}$

Portanto $(1101)_2 = (13)_{10}$

Como segundo exemplo o número 107 do sistema octal. A notação posicional seria:

$1 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 =$

$1 \times 64 + 0 \times 8 + 7 \times 1 =$

$64 + 0 + 7 = (71)_{10}$

Portanto $(107)_8 = (71)_{10}$

<u>Conversão do sistema decimal para outras bases</u> – Para conversão da base 10 para outras bases, o método consiste em divisões sucessivas pela base desejada, até que o quociente seja nulo. Os restos das divisões indicarão o resultado da conversão, sendo o primeiro resto equivalente ao dígito menos significativo e o último ao mais significativo.

Exemplo 1

Façamos a conversão do número $(934)_{10}$ para base hexadecimal.

```
      →|                        (10     A)
    934 |  16
1º resto 6 | 58 |  16
  2º resto 10 |  3 |  16
       3º resto 3 |  0
```

Portanto $(934)_{10} = (3A6\ )_{16}$

Exemplo 2

Conversão do número $(76)_{10}$ para a base 8.

```
76 | 8
 4 | 9 | 8
     1 | 1 | 8
         1 | 0
```

Portanto $(760_{10} = (114\ )_8$

Exemplo 3

Conversão do número $(12\ )_{10}$ para a base 2.

```
12 | 2
 0 | 6 | 2
     0 | 3 | 2
         1 | 1 | 2
             1 | 0
```

Portanto $(12\ )_{10} = (1100)_2$

Contagem nas diversas bases

Na tabela de contagem nos sistemas de base decimal, binária, octal e hexadecimal observa-se que um número expresso num sistema de base menor exige maior quantidade de algarismos do que outro, de base maior, para representar a mesma quantidade.

DECI-MAL	BINARIA	OCTAL	HEXA-DEC.
0	0	0	0
1	1	1	1
2	$10 = 2^1$	2	2
3	11	3	3
4	$100 = 2^2$	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	$1000 = 2^3$	$10 = 8^1$	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	$10000=2^4$	20	$10=16^1$
-	-	-	-
31	11111	37	1F
32	$100000=2^5$	40	20
-	-	-	-
63	111111	77	3F
64	$1000000=2^6$	$100=8^2$	40
-	-	-	-
99	1100011	143	63
100	1100100	144	64
-	-	-	-
127	1111111	177	7F
128	$10000000=2^7$	200	80
-	-	-	-
255	11111111	377	FF
256	$100000000=2^8$	400	$100=16^2$
-	-	-	-
-	-	$1000=8^3$	-

Códigos

Ao códigos são formas de representação de caracteres alfanuméricos.

São vários os códigos existentes havendo porém vantagens de um ou outro, de acordo com a aplicação ou funções internas do equipamento.

Código BCD 8421 – A sigla BCD representa as iniciais de "Bynary Coded Decimal", que significa uma codificação no sistema decimal em binário. Os termos seguintes (8421) significam os pesos de cada coluna, isto é, $8 = 2^3$, $4 = 2^2$, $2 = 2^1$ e $1 = 2^0$. O valor corresponderá à soma dos pesos onde na coluna houver o "bit" um (1).

DECIMAL	BCD 8 4 2 1
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1

O número de "bits" de um código é o número de dígitos binários que este possui.

O código BCD 8421 é um código de 4 "bits".

Código excesso 3 – Consiste na transformação do número decimal, no binário correspondente, somando-se a ele três unidades.

Exemplo:

$(0)_{10} = (0000)_2$

Somando-se três unidades, teremos 0011

DECIMAL	EXCESSO 3
0	0 0 1 1
1	0 1 0 0
2	0 1 0 1
3	0 1 1 0
4	0 1 1 1
5	1 0 0 0
6	1 0 0 1
7	1 0 1 0
8	1 0 1 1
9	1 1 0 0

O código Excesso 3 é utilizado em circuitos aritméticos.

Código Johnson – Baseia-se no deslocamento de "bits" e é utilizado na construção do Contador Johnsos.

DECIMAL	JOHNSON
0	0 0 0 0 0
1	0 0 0 0 1
2	0 0 0 1 1
3	0 0 1 1 1
4	0 1 1 1 1
5	1 1 1 1 1
6	1 1 1 1 0
7	1 1 1 0 0
8	1 1 0 0 0
9	1 0 0 0 0

Código Gray ou sistema de numeração refletido – Sua principal característica é que, em contagens sucessivas, apenas um "bit" varia.

A codificação Gray é mostrada na tabela a seguir, onde os campos em destaque representam um "espelho" a ser refletido para a contagem seguinte, acrescentando-se um "bit" 1 (um) imediatamente à esquerda.

DECIM.	BINÁRIO	GRAY
0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
1	0 0 0 0 1	0 0 0 0 1
2	0 0 0 1 0	0 0 0 1 1
3	0 0 0 1 1	0 0 0 1 0
4	0 0 1 0 0	0 0 1 1 0
5	0 0 1 0 1	0 0 1 1 1
6	0 0 1 1 0	0 0 1 0 1
7	0 0 1 1 1	0 0 1 0 0
8	0 1 0 0 0	0 1 1 0 0
9	0 1 0 0 1	0 1 1 0 1
10	0 1 0 1 0	0 1 1 1 1
11	0 1 0 1 1	0 1 1 1 0
12	0 1 1 0 0	0 1 0 1 0
13	0 1 1 0 1	0 1 0 1 1
14	0 1 1 1 0	0 1 0 0 1
15	0 1 1 1 1	0 1 0 0 0
16	1 0 0 0 0	1 1 0 0 0

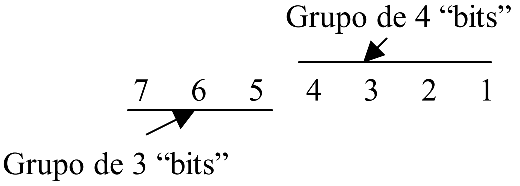
Este tipo de codificação garante que, com a variação de apenas um “bit” de uma contagem para outra, reduzam-se as conseqüências negativas geradas pela mudança de estado simultânea de registradores.

Código ASCII – O código ASCII é um tipo de codificação BCD, largamente utilizado em computadores digitais e em equipamentos de comunicação de dados. A sigla ASCII é formada pelas iniciais de American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações).

Consiste de um código binário de sete “bits” para transferir informações entre computadores e seus periféricos e em comunicação de dados a distância.

Com um total de sete “bits”, podemos representar $2^7 = 128$ estados diferentes ou caracteres, que são usados para representar os números decimais de 0 a 9, letras do alfabeto e alguns caracteres especiais de controle.

É formado por dois grupos de “bits”, sendo um de 4 “bits” e outro de 3 “bits”.



Formato do caráter no Código ASCII

CARACTER	ASCII 7 6 5 4 3 2 1
0	0 1 1 0 0 0 0
1	0 1 1 0 0 0 1
2	0 1 1 0 0 1 0
-	
9	0 1 1 1 0 0 1
-	
A	1 0 0 0 0 0 1
B	1 0 0 0 0 1 0
-	
Z	1 0 1 1 0 1 0
-	
a	1 1 0 0 0 0 1
b	1 1 0 0 0 1 0
-	
z	1 1 1 1 0 1 0

Exemplos de representações no código ASCII

OPERAÇÕES BINÁRIAS

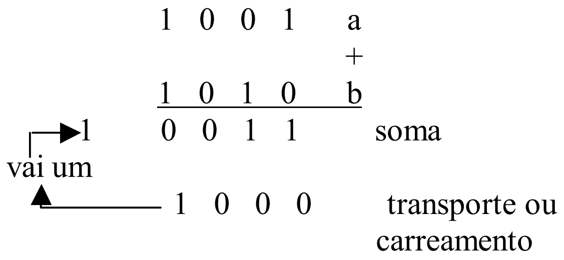
A eletrônica em seus primórdios, tinha sus cálculos baseados em álgebra convencional, através de sistemas analógicos ou lineares.

Com o advento de máquinas mais sofisticadas, processadores eletrônicos, sistemas de comunicação e controle digitais, os problemas vieram a ser resolvidos baseados em álgebra especial, não linear, mas binária, isto é, baseada em dois valores. É a álgebra Booleana.

Aritmética binária

As regras utilizadas em operações binárias no sistema decimal, são também seguidas nas mesmas operações em outros sistema de numeração. Neste capitulo trataremos de algumas técnicas que tornam mais simples a efetuação destas operações.

Adição no sistema binário – Para efetuarmos a adição no sistema binário, devemos agir como uma adição no sistema decimal, lembrando que no sistema binário temos apenas dois algarismos.

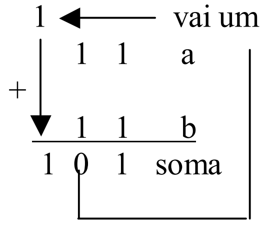


A tabela mostra a operação soma e o transporte em separado. O símbolo + é o operador soma.

Como 1 + 1 = 10 no sistema binário, o resultado é 0 (zero) e o transporte para a coluna imediatamente à esquerda é 1 (um). Esse transporte é idêntico ao do sistema decimal, pois quando tivermos uma soma igual ou maior que a base, haverá um “vai um” que será somado ao dígito de valor posicional imediatamente superior.

Exemplo 1:

a + b
$(11)_2 + (10)_2 = (101)_2$
3 + 2 = 5



Exemplo 2:

$$\begin{array}{lr}
 & 1\ 1\quad \text{vai um} \\
a\ +\ b & 1\ 1\ 0\ \text{a} \\
(110)_2 + (111)_2 = (1101)_2 & +\qquad\qquad \\
6\ +\ 7\ =\ 13 & \underline{1\ 1\ 1\ \text{b}} \\
 & 1\ 1\ 0\ 1\,\text{soma}
\end{array}$$

Exemplo 3

$$\begin{array}{lr}
 & 1\ 1\qquad\qquad \\
a\ +\ b & 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ \ \text{a} \\
11001\ +\ 1011\ =\ 100100 & +\qquad\qquad \\
25\ +\ 11\ =\ 36 & \underline{1\ 0\ 1\ 1\ \ \text{b}} \\
 & \text{soma}\ \ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0
\end{array}$$

Subtração no sistema binário- O método de resolução é análogo a uma subtração no sistema decimal:

$$\begin{array}{rl}
0\ 0\ 0\ \ 1 & \text{empréstimo} \\
\nearrow\ & \\
0\ 1\ 1\ 0 & \text{a} \\
-\ \underline{0\ 1\ 0\ 1} & \underline{\text{b}} \\
0\ 0\ 0\ 1 & \text{diferença}
\end{array}$$

Exemplo 1

$$\begin{array}{lr}
a\ -\ b & 1\ 1\ 1\quad \text{a} \\
111\ -\ 100\ =\ 011 & \underline{-1\ 0\ 0\quad \text{b}} \\
7\ -\ 4\ =\ 3 & 0\ 1\ 1\ \text{diferença}
\end{array}$$

Exemplo 2

$$\begin{array}{lr}
 & \nearrow\ \nearrow\ \nearrow 1\ \text{empréstimo} \\
a\ -\ b & 1\ 0\ 0\ 0\quad \text{a} \\
1000\ -\ 111\ =\ 1 & \underline{1\ 1\ 1\quad \text{b}} \\
8\ -\ 7\ =\ 1 & 0\ 0\ 0\ 1\ \text{diferença}
\end{array}$$

Nos exemplos acima foram utilizados números tais que a > b. Consideremos agora um caso com a < b.

$$\begin{array}{l}
a\ \ -\ \ b \\
10110\ -\ 11001\ =\ -00011 \\
22\ -\ 25\ =\ -3
\end{array}$$

$$\begin{array}{rl}
1\nearrow 0\ 1\ 1\nearrow 0 & \text{a} \\
-1\ \ -1\qquad -1\quad & \text{empréstimo} \\
\underline{1\ 1\ 0\ 0\ 1} & \underline{\text{b}} \\
1\ 1\ 1\ 0\ 1 & \text{resultado parcial}
\end{array}$$

Neste exemplo, seguindo-se as regras anteriores, observa-se que houve um empréstimo que ficou devedor. Nesta situação efetua-se a operação “ complemento” , que consiste em inverter-se os bits “0” por “1” e vice-versa, somando-se “1” em seguida.

$$\begin{array}{rl}
1\ 1\ 1\ 0\ 1 & \text{resultado parcial} \\
 & \\
0\ 0\ 0\ 1\ 0 & \text{resultado invertido} \\
+\qquad\quad 1 & \text{(complemento)} \\
\underline{0\ 0\ 0\ 1\ 1} & \\
0\ 0\ 0\ 1\ 1 & \text{resultado final}
\end{array}$$

Multiplicação no sistema binário- Procede-se como em multiplicações no sistema decimal, tendo-se como regra básica:

0 x 0 = 0
0 x 1 = 0
1 x 0 = 0
1 x 1 = 1

Exemplo 1

$$\begin{array}{lr}
a\ \ x\ b & 1\ 0\ 0\ 0\quad \text{a} \\
1000\ x\ 1\ =\ 1000 & \text{x}\,\underline{\qquad\quad 1\quad \text{b}} \\
8\ \ x\ 1\ =\ 8 & 1\ 0\ 0\ 0\quad \text{produto}
\end{array}$$

Exemplo 2

$$\begin{array}{lr}
 & 1\ 0\ 1\ 0\ 1\quad \text{a} \\
a\ \ x\ \ b & \underline{\text{x}\qquad\qquad 1\ 0\quad \text{b}} \\
10101\ x\ 10 = 101010 & 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ \ \\
21\ \ x\ \ 2 = \ 42 & \underline{1\ 0\ 1\ 0\ 1\qquad} \\
\text{produto} & 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0
\end{array}$$

Divisão no sistema binário- Procede-se como em divisões no sistema decimal.

Exemplo:

$$\begin{array}{l}
a\quad :\ \ b \\
111100\ :\ 1100\ =\ 101 \\
60\ \ :\ \ 12\ =\ 5
\end{array}$$

$$\begin{array}{r|l}
1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0 & \underline{1\ 1\ 0\ 0} \\
-\ \underline{1\ 1\ 0\ 1}\qquad & 1\ 0\ 1 \\
0\ 0\ 1\ 1\ 0\quad & \\
-\ \underline{0\ 0\ 0\ 0}\ \ & \\
0\ 1\ 1\ 0\ 0 & \\
-\ \underline{1\ 1\ 0\ 0} & \\
0\ 0\ 0\ 0 & \text{resto}
\end{array}$$

ÁLGEBRA DE BOOLE

Em meados do século passado G. Boole desenvolveu um sistema matemático de análise lógica. Esse sistema é conhecido como Álgebra de Boole.

A álgebra booleana é baseada em apenas dois estados. Estes estados poderiam, por exemplo, ser representados por tensão alta e tensão baixa ou tensão positiva e tensão negativa.

Assim como na álgebra linear, encontramos vários tipos de funções, como veremos a seguir.

Simplificação de funções

Função "E" ou "AND" – É aquela cujo resultado equivale à multiplicação de duas ou mais variáveis.

$S = A \,.\, B$ (onde se lê A e B)

Para melhor entendimento veja a figura 17-1.

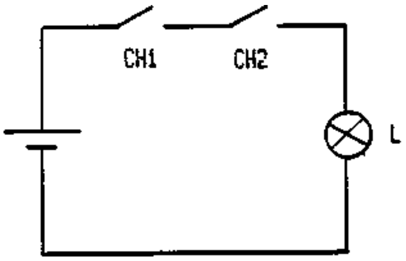


Figura 17-1 Circuito da função E ou AND

Convenções:

Chave aberta = 0
Chave fechada = 1
Lâmpada apagada = 0
Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

Ch 1 aberta e Ch 2 aberta =lâmpada apagada
0 * 0 = 0

Ch 1 aberta e Ch 2 fechada =lâmpada apagada
0 * 1 = 0

Ch 1 fechada e Ch 2 aberta =lâmpada apagada
1 * 0 = 0

Ch 1 fechada e Ch 2 fechada=lâmpada acesa
1 * 1 = 1

Concluímos que a lâmpada só acenderá quando a Ch 1 e a Ch 2 estiverem fechada, correspondendo a equação $A \,.\, B = S$

Tabela Verdade da função E ou AND – É um mapa onde colocamos todas as situações possíveis, com os respectivos resultados.

A	B	S = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

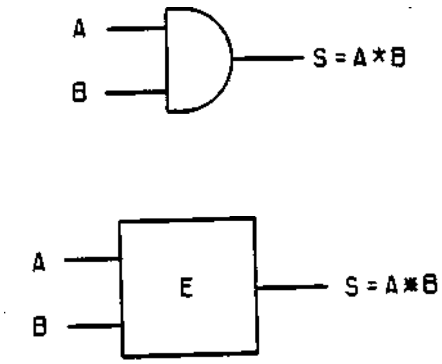


Figura 17-2 Simbologia da função E ou AND

O número de situações possíveis constante na tabela verdade é igual a 2^N, onde N é o número de variáveis de entrada.

Uma porta "E" com duas entradas tem $2^N = 2^2 = 4$ situações possíveis.

Podemos encontrar portas lógicas com três ou mais entradas como mostrado na figura 17-3.

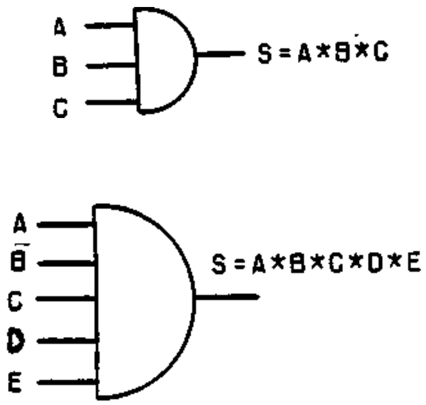


Figura 17-3 Portas E ou AND de três e de cinco entradas.

Função OU ou OR – É aquela que assume o valor um (1) na saída, quando uma ou mais variáveis na entrada forem iguais a um (1), e assume o valor zero (0) se, e somente se, todas as entradas forem iguais a zero (0).

S = A + B (S igual a A ou B)

Para melhor compreensão veja a figura 17-4

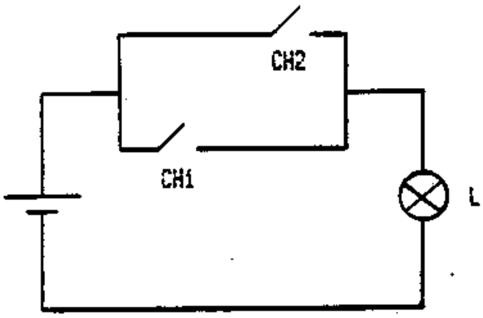


Figura 17-4 Circuito da função OU ou OR

Convenções:

Chave aberta = 0
Chave fechada = 1
Lâmpada apagada = 0
Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

Ch 1 aberta e Ch 2 aberta =lâmpada apagada
0 + 0 = 0

Ch 1 aberta e Ch 2 fechada =lâmpada acesa
0 + 1 = 1

Ch 1 fechada e Ch 2 aberta =lâmpada acesa
1 + 0 = 1

Ch 1 fechada e Ch 2 fechada =lâmpada acesa
1 + 1 = 1

Concluímos que a lâmpada acenderá quando pelo menos uma das chaves estiver ligada, correspondendo à equação A + B = S.

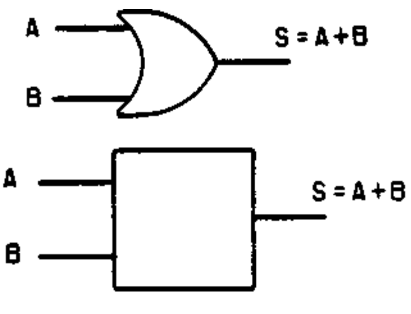


Figura 17-5 Simbologia da função OU ou OR

Tabela Verdade da função OU ou OR

A	B	S = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Portas OR também podem ser encontradas com 3 ou mais entradas.

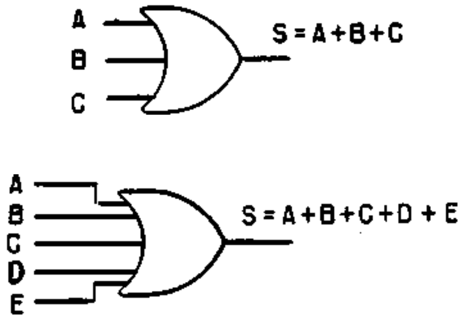


Figura 17-6 Exemplos de portas OR

Função NOT ou NÃO – A função NÃO, complemento ou inversão, é aquela que inverte o estado da variável, isto é, “0” inverte para”1” e “1” inverte para “0”. Veja a figura 17-7.

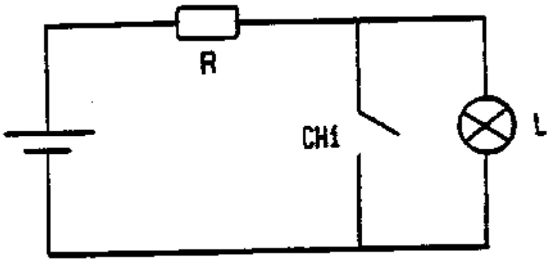


Figura 17-7 Circuito da função NOT ou NÃO

Convenções:

Chave aberta = 0
Chave fechada = 1
Lâmpada apagada = 0
Lâmpada acesa = 1

Situações possíveis:

Chave 1 aberta = lâmpada acesa
0 = 1

Chave 1 fechada = Lâmpada apagada
1 = 0

Tabela verdade da função NOT ou NÃO

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

Onde $\overline{A}$ representa o inverso de A

Função NÃO E ou NAND – É uma combinação das funções "E" e "NÃO", que é representada da seguinte forma:

S = $\overline{A * B}$ (S igual a A e B barrados, ou A e B "not").

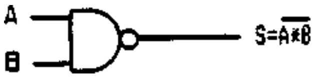


Figura 17-8 Simbologia NAND

Tabela Verdade da função NAND

A	B	$\overline{A*B}$ (S)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Função "NÃO OU" ou NOR – É a combinação das funções OU e NÃO, que é representada da seguinte forma:

S = $\overline{A + B}$ (S igual a A ou B barrado, ou A ou B "not").

Tabela Verdade NÃO OU ou NOR

A	B	S = $\overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

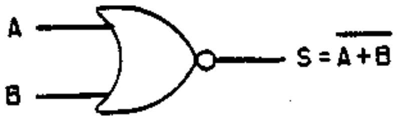


Figura 17-9 Simbologia NOR

Funções XOR ou XNOR – As portas NAND e NOR são ditas portas universais, porque vários circuitos podem ser derivados, utilizando apenas estes tipos de portas.

Podemos criar diversas funções combinando os vários tipos de portas lógicas, dentre elas as denominadas XOR e XNOR.

Tabela Verdade e simbologia

a) XOR ou "OU EXCLUSIVO" – Nesta função teremos "1" na saída, quando as entradas forem desiguais.

A	B	S = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

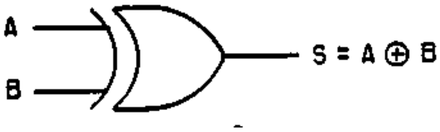


Figura 17-10 Simbologia XOR

b) XNOR ou "NOR EXCLUSIVO"- Nesta função teremos "1" na saída, quando as entradas forem iguais.

A	B	S = $\overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

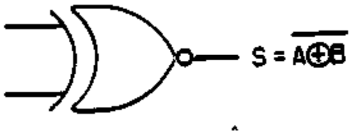


Figura 17-11 Simbologia XNOR

As portas XOR e XNOR são denominadas portas COMPARADORAS.

A porta XOR é denominada comparadora de desigualdade e a porta XNOR comparadora de igualdade.

Formas canônicas

As tabelas verdade de circuitos padrão nem sempre conseguem representar todas as funções lógicas. Há circuitos cujas funções diferem do padrão. Estes circuitos poderão ser representados através de FORMAS CANÔNICAS.

Forma canônica disjuntiva–´E a forma canônica mais utilizada. Para cada uma das entradas, atribui-se o valor “0” ou “1”, estabelecendo-se uma expressão representativa da função f = 1.

ENTRADAS			SAÍDA	
A	B	C	f	
0	1	0	1	$\overline{A}*B*\overline{C}$
0	1	1	1	$\overline{A}*B*C$
1	0	0	1	$A*\overline{B}*\overline{C}$
1	1	0	1	$A*B*\overline{C}$

$f=\overline{A}B\overline{C}+\overline{A}BC+A\overline{B}\overline{C}+AB\overline{C}$ Forma Canônica

Circuitos geradores de produtos canônicos- São circuitos que geram as formas canônicas básicas, onde são estabelecidas e combinadas as entradas para todas as variações.

Se quisermos gerar os produtos canônicos possíveis com “n” variáveis, necessitaremos de 2^n portas de “n” entradas.

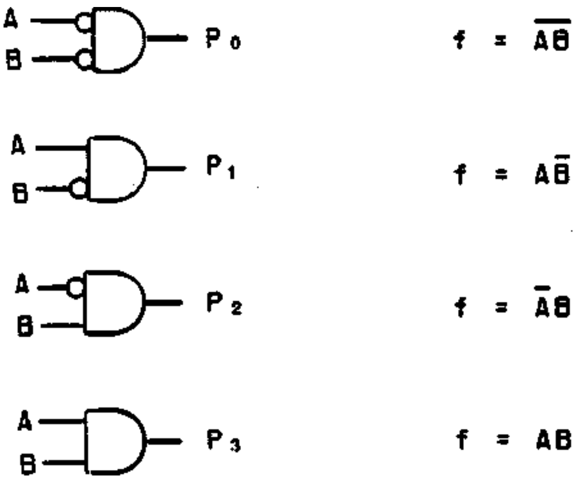


Figura 17-12 Exemplos com duas variáveis

CIRCUITOS DE COMUTAÇÃO

Os circuitos lógicos de um equipamento precisam ser compatíveis às necessidades do projeto. Na execução de funções lógicas, as entradas e saídas são variáveis, requisitando padrões de comutação.

Dentre as características dos circuitos de comutação, podemos citar o nível lógico, o tempo de propagação, a potência dissipada, a imunidade à ruídos e o “fan-out”.

Níveis lógicos

Os níveis lógicos são as tensões designadas como estado “1” e estado “0” binários, para um certo tipo de circuito digital.

Os valores nominais para os dois níveis são bem determinados mas, na prática, os valores obtidos podem variar, devido à tolerância dos componentes internos do circuito integrado, variações da fonte de alimentação, temperatura e outros fatores. Geralmente os fabricantes fornecem os valores máximos e mínimos admitidos para cada um dos níveis lógicos.

É muito importante conhecer os níveis lógicos de um determinado tipo de integrado pois, deste modo, ao trabalhar com equipamentos digitais, será fácil identificar os estados lógicos das entradas e saídas.

Tempo de propagação

O tempo de propagação (Propagation Delay) é a medida do tempo de operação de um circuito lógico. A velocidade de operação é uma das características mais importantes e, para a maior parte das aplicações digitais, uma alta velocidade de operação, ou seja, um baixo tempo de propagação é benéfico.

O tempo de propagação exprime o espaço de tempo necessário para que a saída de um circuito digital responda a uma mudança de nível de entrada; é composto pelo acúmulo de tempos de transição e retardo associados a qualquer circuito lógico.

Quando a tensão de entrada de um circuito digital muda de “0” para “1”, ou vice-versa, a saída deste circuito responderá após certo período de tempo finito.

A figura 17-13 dá um exemplo de tempo de propagação; temos aí representada a entrada de um circuito digital e, logo abaixo, a saída correspondente.

Veja que a transição de “0” para “1” na entrada ocasiona uma transição de “1” para “0” na saída e que a transição de saída ocorre um certo tempo após a transição de entrada. Isto é que chamamos de tempo de propagação.

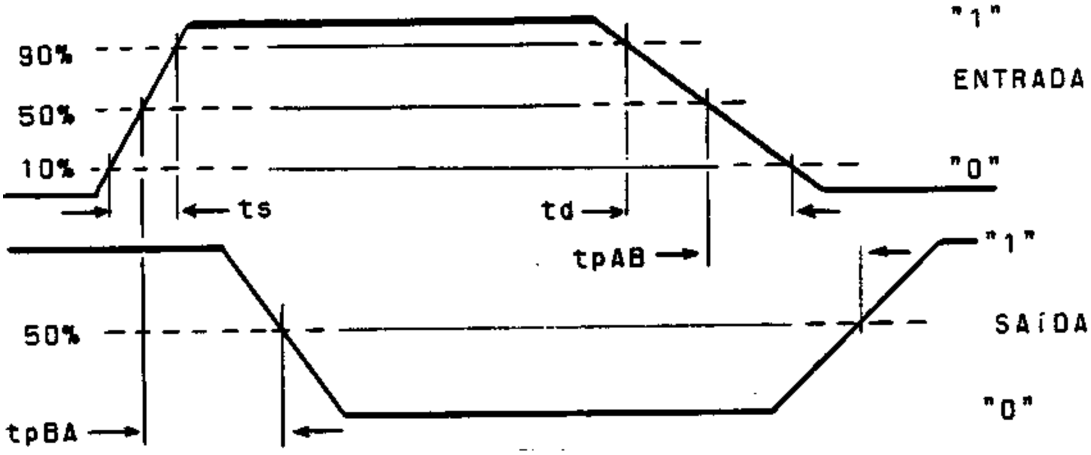


Figura 17-13 Tempo de propagação

O tempo de propagação (tp) é medido geralmente entre os pontos de 50% de amplitude, da transição inicial da entrada para a transição inicial da saída ou da transição final da entrada para a transição final da saída.

Observe ainda que existem dois tipos de tempo de propagação: um deles ocorre quando a entrada passa do nível baixo para o nível alto (tpBA), e o outro quando a entrada passa de alto para baixo (tpAB). Os dois tipos de tempos de propagação são geralmente diferentes, devido às características dos circuitos lógicos.

Os tempos de subida e descida dos pulsos de entrada e saída também são importantes. Define-se tempo de subida (ts), como o período de tempo tomado pelo pulso para subir de 10% a 90% de sua amplitude máxima. O tempo de descida (td), é o necessário para o pulso descer de 90% a 10% dessa mesma amplitude.

Para a maioria dos circuitos integrados digitais, os tempos de subida e descida são bastante reduzidos. Podem ser conseguidos tempos de transição de 1 nanosegundo. Alguns tipos de circuitos digitais modernos apresentam tempos de propagação que chegam a apenas algumas dezenas de nanosegundos. Os tempos de transição são normalmente menores que os tempos de propagação.

Os tempos de propagação podem variar consideravelmente devido a tolerâncias de fabricação, fiação, etc. e são cumulativos. Quando portas e outros circuitos lógicos combinacionais são ligados uns aos outros, os tempos de propagação se somam.

Se existe mais de um nível de lógica, isto é, mais de uma estrutura, o tempo de propagação total, de entrada e saída, é a soma dos tempos de propagação de cada um dos níveis.

Potência dissipada

É a potência consumida por um circuito lógico operando em um ciclo de carga de 50%, isto é, tempos iguais nos estados “0” e “1”.

A potência total dissipada por um circuito é uma consideração importante no projeto de um equipamento digital, pois uma elevada dissipação em potência, significa um grande consumo de energia elétrica.

Além disso, a potência total dissipada irá determinar o tamanho e o custo da fonte de alimentação.

O calor liberado pelos circuitos, também relacionado à potência dissipada pelos mesmos, às vezes torna necessário o seu resfriamento ou o uso de aparelhos de ar condicionado, para garantir o bom funcionamento do equipamento.

A potência dissipada por uma porta pode variar da ordem de alguns microwatts até 100 miliwatts.

Compromisso velocidade-potência

As duas características descritas, velocidade potência dissipada, são diretamente interdependentes em todos os tipos de circuitos lógicos digitais. A relação entre elas é tal que a velocidade se apresenta proporcional à potência dissipada, ou seja, tanto mais rápida a comutação de um circuito lógico, maior será a potência dissipada.

Os circuitos lógicos de alta velocidade empregam transistores bipolares não saturados que, associados a resistências internas de baixos valores, produzem um alto consumo de potência.

Os circuitos integrados do tipo MOS (Metal-Oxide-Semiconductor), consomem um mínimo de potência devido as altas impedâncias inerentes a esses componentes. No entanto, refletem em velocidades de comutação muito baixas, limitando sua operação a freqüências baixas. Pelo seu consumo bastante reduzido, adequam-se perfeitamente aos equipamentos portáteis operados a bateria, onde a alta velocidade não for necessária.

Imunidade a ruídos

A imunidade a ruídos é uma medida da característica de baixa ou não interferência de sinais externos indesejáveis. Considera-se ruído qualquer sinal estranho, gerado externamente ou pelo próprio equipamento, e que é acrescentado ou superposto aos sinais padrão do sistema.

Esse ruído pode ser um nível de tensão variando lentamente, picos de tensão, ou sinais de alta frequência e pequena duração. O ruído pode provocar uma comutação no circuito lógico, para um estado indesejável num momento impróprio.

A imunidade da maioria dos circuitos lógicos é de aproximadamente 10% a 50% do valor da tensão de alimentação. Isto significa que um pico será rejeitado, caso sua amplitude seja inferior a 10% ou 50% da tensão de alimentação.

A imunidade a ruídos é uma consideração de grande importância, porque a maioria dos sistemas digitais gera uma quantidade considerável de ruído em comutações de alta velocidade. Além disso, muitos equipamentos digitais são utilizados em ambientes industriais de ruído intenso, onde transientes provenientes das linhas de força e de outros equipamentos elétricos podem causar falsas comutações nos circuitos lógicos.

"Fan-out"

"Fan-out" é uma característica que indica o quanto de carga pode ser ligado à saída de um circuito digital. É geralmente expresso em termos de número de cargas padrão que a saída de uma porta lógica aceita, sem afetar o nível lógico nominal, velocidade, temperatura ou outras características.

Uma porta lógica pode, por exemplo, apresentar um "Fan-out" igual a 10, o que indica que até dez entradas de portas poderiam ser ligadas à saída deste circuito lógico, sem afetar a sua operação.

FAMÍLIAS DE CIRCUITOS LÓGICOS

Como podem ser notados, os circuitos lógicos possuem características que deverão ser observadas durante o projeto, para que o mesmo utilize os componentes adequados à aplicação do equipamento. De acordo com estas características, os circuitos lógicos são agrupados em famílias.

Entende-se por famílias de circuitos lógicos, os tipos de estruturas internas que permitem a confecção dos blocos lógicos em circuitos integrados.

Dentre as famílias podemos destacar:

- RTL (Resistor-Transistor Logic).
- DTL (Diode-Transistor Logic).
- HTL (High Threshold Logic).
- TTL (Transistor-Transistor Logic).
- ECL (Emitter-Coupled Logic).
- C-MOS (Complementary MOS).

Tecnologia MOS

A família MOS (Metal Oxide Semiconductor) compõe-se de circuitos formados por MOSFETS, que são transistores de efeito de campo construídos a partir da tecnologia MOS, apresentando como características o baixo consumo e uma alta capacidade de integração, isto é, a colocação de uma grande quantidade de componentes lógicos num mesmo encapsulamento.

Comparação entre famílias

Família RTL (Resistor-Transistor Logic)

Utiliza transistores e resistores, sendo das primeiras famílias utilizadas, formando portas NOR como principal bloco lógico.

Suas principais características são:

- Possui boa imunidade a ruídos
- Tempo de propagação da ordem de 12 ns
- Potência dissipada por bloco lógico, da ordem de 10 mw.
- Alimentação 3V ± 10%

Família DTL (Diode-Transistor Logic)

Utiliza diodos e transistores, sendo um desenvolvimento da lógica de diodos, permitindo a formação de blocos "E", "OU", "NAND" e "NOR".

Suas principais características são:
- Imunidade a ruídos da ordem de 0,8V.
- Tempo de propagação da ordem de 30ns.
- Potência dissipada da ordem de 10 mw por bloco lógico.
- Alimentação 5V ± 10%.

Família HTL (High Threshold Logic)

Utiliza diodos e transistores como a DTL, acrescentando um diodo Zener, para aumento do nível de entrada, estabelecendo alta imunidade à ruídos.

Suas principais características são:
- Alta imunidade a ruidos.
- Alto tempo de propagação.
- Alta potência dissipada, da ordem de 60 mw.

Família TTL (Transistor-Transistor Logic)

É oriunda da família DTL, porém utilizando transistores multiemissores, que permitem a eliminação dos diodos e resistores de entrada, trazendo maior velocidade e menor custo, tornando-a das mais difundidas.

Suas principais características são:
- Boa imunidade a ruídos
- Tempo de propagação da ordem de 10 ns.
- Potência dissipada da ordem de 20 mw por bloco lógico.
- Identificação Comercial – série 74 – Faixa de temperatura de 0° a 75° C.

Família ECL (Emitter Coupled Logic)

Utiliza nos circuitos, acoplamento pelo emissor dos transistores, o que os faz operar em regime de não saturação, permitindo a mais alta velocidade de comutação dentre as famílias.

Suas principais características são:
- Boa imunidade a ruídos.
- Muito baixo tempo de propagação, da ordem de 3 ns.
- Potência dissipada da ordem de 25 mw por bloco.
- Alimentação -5,2 V ± 20%.

Família C-MOS (Complementary MOS)

É uma variação da família MOS, consistindo basicamente de pares de canais MOS complementares. Esta técnica tem como vantagem em relação ao MOS convencional, uma maior velocidade de comutação, da ordem de 80 ns, contra 300 ns.

Suas principais características são:
- Baixa dissipação de potência, da ordem de 10μw.
- Alto índice de integração.
- Alta imunidade a ruídos
- Ainda elevado tempo de propagação, da ordem de 60 a 70 ns.

- Larga faixa de alimentação de 3 a 18 V.

Métodos de fabricação

Existem três formas básicas de se fabricar circuitos integrados. O método mais difundido é o chamado monolítico; os outros são o de película fina, o de película espessa e o híbrido.

Método Monolítico – O circuito integrado monolítico é construído inteiramente de um único pedaço de silício semicondutor, chamado pastilha ou "chip". Materiais semicondutores são difundidos sobre esta base, dando origem a diodos, transistores e resistores. Como resultado, o circuito inteiro, com todos os componentes e interligações, forma-se sobre uma base única, dando origem ao termo "monolítico".

Os circuitos integrados monolíticos digitais se subdividem em dois tipos básicos: os Bipolares e os do tipo MOS, diferindo fundamentalmente no tipo de transistor utilizado.

Os circuitos MOS, são mais fáceis de obter e ocupam menos espaço, desta forma é possível incluir muito mais circuitos num "chip" apresentando uma maior densidade de componentes e custo menor.

Método de película fina ou espessa – Neste método, os circuitos são obtidos depositando-se os materiais sobre uma base não condutora, como a cerâmica, formando resistores, capacitores e indutores. Normalmente os dispositivos semicondutores não são obtidos por este processo.

Método Híbrido – O circuito integrado híbrido é formado pela combinação de circuitos monolíticos e circuitos de película. Os híbridos oferecem uma grande variedade de combinações entre circuitos integrados e componentes, resultando em várias funções que não poderiam ser obtidas com circuitos integrados específicos.

Classificação dos circuitos integrados digitais

Os circuitos integrados digitais podem ser classificados basicamente em três grupos:

SSI – Small Scale Integration (Integração em Pequena Escala);

MSI – Médium Scale Integration (Integração em Média Escala);

LSI – Large Scale Integration (Integração em Grande Escala).

Os circuitos SSI representam a forma mais básica e simples dos circuitos integrados: são amplificadores ou portas, que realizam uma função elementar, devendo ser interligados externamente, caso queiramos formar circuitos funcionais completos..

Os circuitos MSI são mais complexos, formados por várias portas interligadas, compondo circuitos funcionais completos, a maioria contendo doze ou mais circuitos, desempenhando funções como um decodificador, um contador, um multiplexador.

Os circuitos LSI contêm 100 ou mais portas ou dispositivos equivalentes, formando grandes circuitos funcionais, equivalentes a vários circuitos MSI. Seu maior campo de aplicação é o das memórias e micro processadores.

Encapsulamento de integrados

Atualmente há três tipos de encapsulamento para acomodar "chips":

TO5 ou "caneca".

FLAT PACK ou invólucro chato.

DIP (Dual In-line Pack) ou em linha dupla.

Encapsulamento TO5 – Esta foi a primeira versão de encapsulamento usada em circuitos integrados, a partir de um invólucro padrão para transistores. Sua principal vantagem reside em seu grande poder de dissipação de calor, e por esta razão encontra maior aplicação nos circuitos lineares.

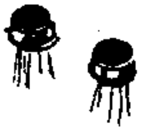


Figura 17-14 Encapsulamento tipo caneca(TO5)

Encapsulamento chato (Flat Pack) – Apresenta o menor tamanho entre todos eles, sendo assim empregado onde se deseja uma elevada densidade de componentes na placa. Os invólucros têm um formato achatado e são apropriados para soldagem sobre circuitos impressos, podendo ficar muito próximos um dos outros.

Encontram aplicações onde o espaço é crítico, como por exemplo, em aviação, sistemas militares de alta confiabilidade e equipamentos industriais especiais.

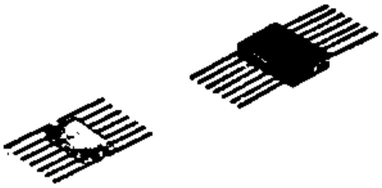


Figura 17-15 Encapsulamento " chato" (Flat Pack)

Encapsulamento DIP (Dual In-Line Package) – O DIP ou encapsulamento em linha dupla, é assim chamado porque exibe duas fileiras paralelas de terminais, tendo sido projetado para adaptar-se às máquinas de inserção automática de componentes em placas de circuitos impressos.

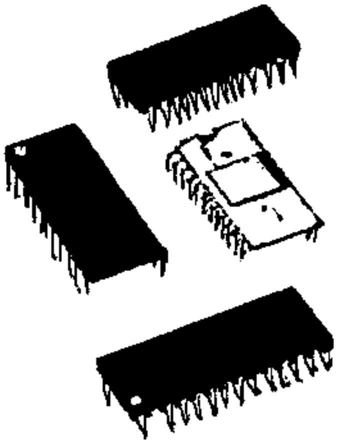


Figura 17-16 Encapsulamento em linha dupla (DIP)

Pode ser encontrado desde o MINI-DIP de oito pinos, ao gigante de quarenta pinos. A maioria dos SSI apresenta-se em encapsulamentos de 8, 14 ou 16 pinos, enquanto o MSI com 14, 16 ou 24 pinos. Finalmente os LSI são encontrados mais freqüentemente com 24, 28 ou 40 pinos.

CIRCUITOS COMBINACIONAIS

Conceitos

Circuito lógico combinacional, ou simplesmente circuito combinacional, é aquele cujo estado de saída é uma função exclusiva das combinações possíveis das variáveis de entrada.

Os circuitos lógicos combinacionais que iremos estudar, são divididos em três categorias:

a – Circuitos Lógicos Básicos
- Porta AND (E).
- Porta OR (OU).
- Porta NOT (NÃO).

b – Circuitos Lógicos Universais
- Porta NAND (NÃO E).
- Porta NOR (NÃO OU).

C – Circuitos Comparadores
- Porta XOR (OU EXCLUSIVO).
- Porta XNOR (NÃO OU EXCLUSIVO)

Circuitos Lógicos Básicos – As portas E, OU e INVERSORA, são ditas básicas porque, através delas, todas as funções lógicas podem ser obtidas.

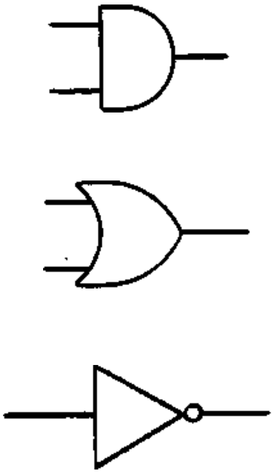


Figura 17-17 Portas básicas

Circuitos Lógicos Universais – Dentre todas as portas lógicas, as portas NAND e NOR, são as mais utilizadas, pois qualquer tipo de circuito lógico pode ser obtido através delas.

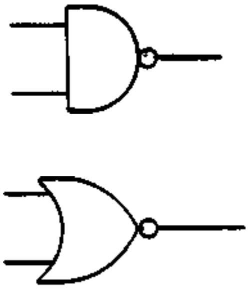


Figura 17-18 Portas NAND e NOR

Circuitos Comparadores – As portas XOR e XNOR são consideradas circuitos comparadores e encontram vasta aplicação onde for necessário comparar expressões ou tomar uma decisão.

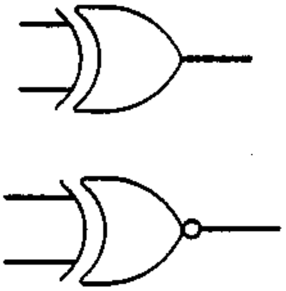


Figura 17-19 Portas XOR e XNOR

Codificadores e decodificadores

Um Codificador tem a função de "tradutor" de um código (linguagem) conhecido ou comum, para um código desconhecido ou incomum.

Um Decodificador tem a função de "tradutor" de um código (linguagem) desconhecido ou incomum, para um código conhecido ou comum.

Da relação dos "bits" 0 e 1 do sistema binário, com os estados lógicos 0 e 1, surgiu a aplicação de circuitos lógicos em calculadoras, com operações realizadas no sistema binário.

Cabe aqui uma pergunta. Por que não empregar nas calculadoras eletrônicas circuitos que realizem operações diretamente no sistema decimal?

A resposta é simples: os circuitos teriam que discernir 1 entre 10 níveis diferentes, contra

1 entre 2, o que os tornaria complicados, caros e volumosos.

Para facilitar a operação da máquina, a entrada dos dados a serem calculados e o resultado das operações, devem estar na forma decimal, que é o código comum aos humanos.

Vê-se, então, a necessidade de componentes lógicos conversores, dotados de circuitos codificadores e decodificadores que realizem as conversões decimal-binário ou binário-decimal.

Estes codificadores e decodificadores, são na verdade circuitos lógicos combinacionais cujas saídas dependem dos estados lógicos das entradas.

Um número decimal pode ser codificado de tal maneira que a operação digital possa ser desempenhada utilizando-se números binários. A conversão de um sistema para o outro é realizada por circuitos codificadores. O circuito que tem a função inversa é denominado decodificador.

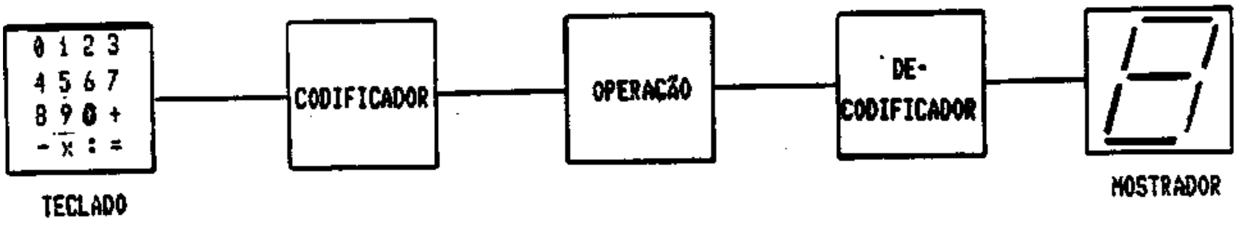


Figura 17-20 Diagrama bloco básico de uma calculadora

Circuito Codificador –
Um codificador consiste de portas lógicas que convertem um número decimal para outro código de representação.

Na figura 17-21 a seguir, temos um circuito codificando um grupo de chaves que representam números decimais, para fornecimento de um código binário de 4 ”bits”.

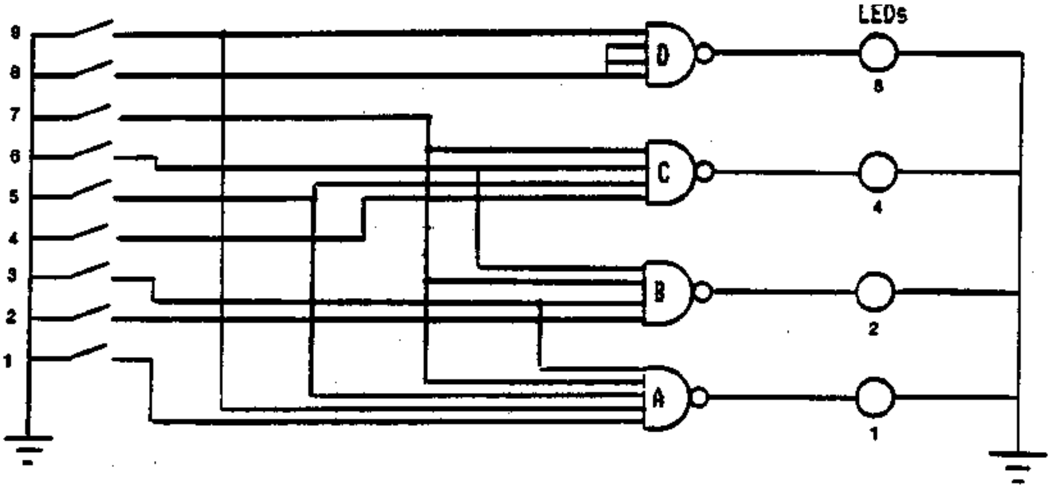


Figura 17-21 Circuito codificador

Quando todas as chaves estiverem abertas, teremos nível “1” (alto) na entrada de todas as portas NAND, ocasionando todas as saídas em nível “0” (baixo), gerando o binário”0000”.

Ao pressionarmos a chave “1”, um nível **baixo** na entrada da porta “A”, ocasionará um **alto** em sua saída, indicando o binário “0001”.

Pressionando a chave “2”, teremos um nível **alto** da saída da porta “B”, acendendo o Led correspondente, indicando o binário”0010”.

Acionando a chave ”6”, as portas B e C terão saída **alta**, ocasionando a indicação binária “0110”.

“Display” de segmentos – A apresentação do resultado anteriormente descrita, não é satisfatória, pois nem todos os humanos compreendem a representação binária. São necessários então, componentes que nos proporcionem uma forma simples de representação.

Os “displays” de sete segmentos são componentes mais comuns para representação numérica. Estes “displays” possibilitam representarmos números de cimais e alguns outros símbolos. São compostos por segmentos que podem ser ativados individualmente, permitindo combinações.

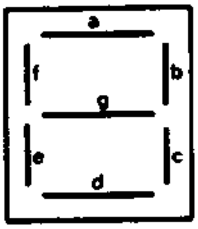


Figura 17-22 “Display” de sete segmentos

Para formação do algarismo zero (0), necessitamos ativar os segmentos “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, desativando o segmento “g”.

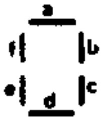


Figura 17 23 Representação do zero (0)

A representação do algarismo quatro (4) requer a ativação dos segmentos “b”, “c”, “f” e “g”.

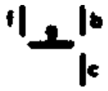


Figura 17 24 Representação do quatro (4)

Circuito Decodificador – Como o código interno normalmente utilizado é o binário, torna-se necessário um decodificador que permita a ativação individual dos segmentos. Este decodificador possui a seguinte tabela verdade:

DECIMAL	BCD 8421 A B C D 8 4 2 1	CÓDIGO DE 7 SEGMENTOS a b c d e f g
0	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1 0
1	0 0 0 1	0 1 1 0 0 0 0
2	0 0 1 0	1 1 0 1 1 0 1
3	0 0 1 1	1 1 1 1 0 0 1
4	0 1 0 0	0 1 1 0 0 1 1
5	0 1 0 1	1 0 1 1 0 1 1
6	0 1 1 0	1 0 1 1 1 1 1
7	0 1 1 1	1 1 1 0 0 0 0
8	1 0 0 0	1 1 1 1 1 1 1
9	1 0 0 1	1 1 1 1 0 1 1

As funções da tabela poderão ser obtidas através do circuito da figura 17-25.

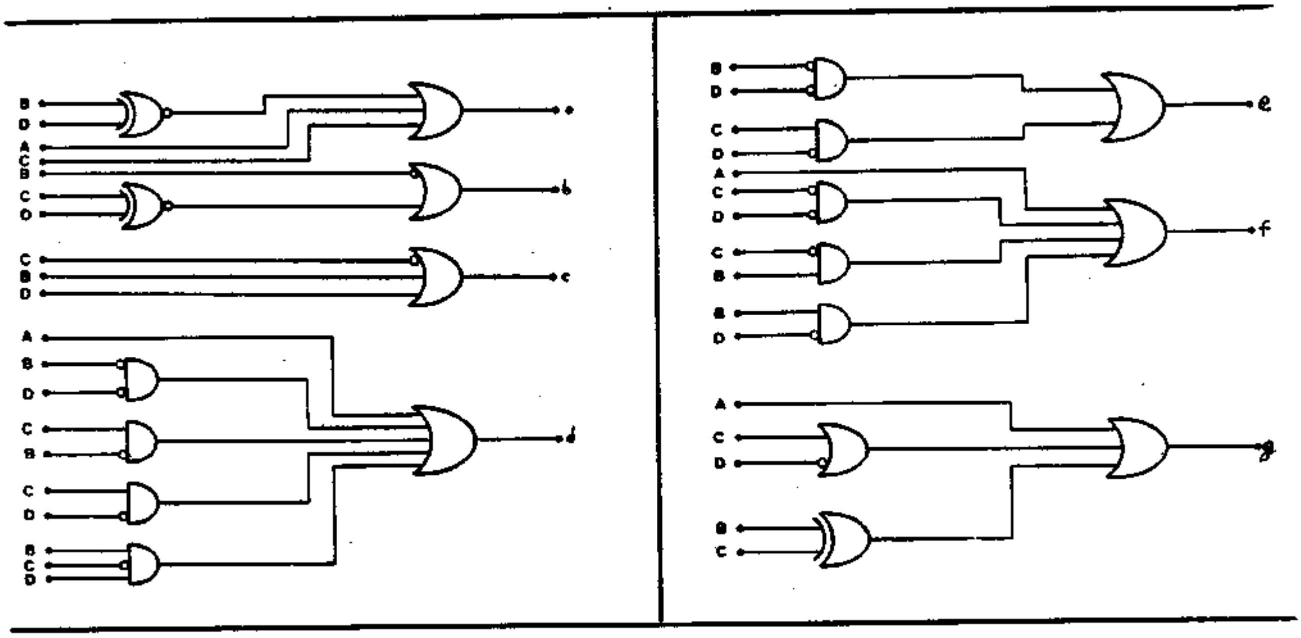


Figura 17-25 Decodificador para “Display” de sete segmentos

Somadores e subtratores

Somador – Se quisermos somar dois dígitos binários, teremos duas entradas para o circuito de soma, havendo quatro combinações para estas entradas: (0 + 0), (0 + 1), (1 + 0) e (1 + 1).

Na aritmética binária, "1" mais "1" (1+1) é igual a 0 (zero) e um dígito 1 é transportado para a coluna da esquerda.

A + B = S	T
0 + 0 = 0	0
0 + 1 = 1	0
1 + 0 = 1	0
1 + 1 = 0	1

De acordo com a tabela verdade, a função soma (S) pode ser executada por uma porta XOR (OU EXCLUSIVA)), e a função transporte (T) por uma porta AND.

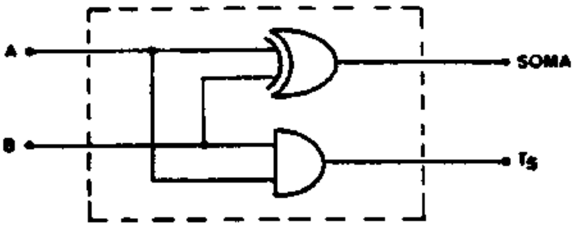


Figura 17-26 Meio Somador (Half Adder)

Para somar as colunas menos significativas, será suficiente o circuito acima, com duas entradas, que é denominado Meio Somador (Half Adder), porém ao somarmos as demais colunas teremos que considerar uma terceira entrada, o transporte da coluna anterior.

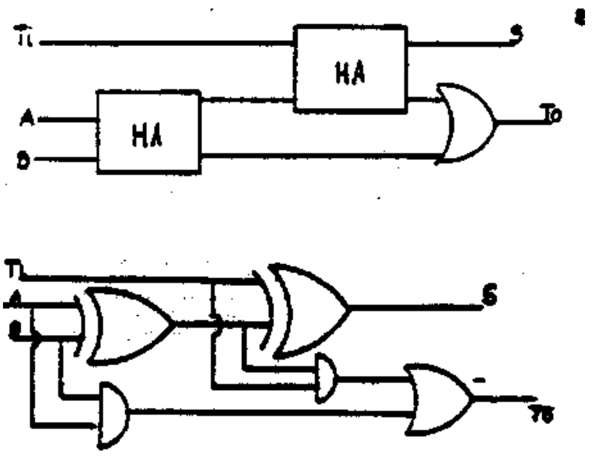


Figura 17-27 Somador Completo (Full Adder)

O somador que executa a soma dos dígitos mais significativos e que possui uma terceira entrada para o transporte, é denominado Somador Completo (Full Adder), sendo formado por dois "Half Adders" (HÁ) e uma porta OR.

Um somador será composto de vários "Full Adder" (HÁ), para a coluna menos significativa.

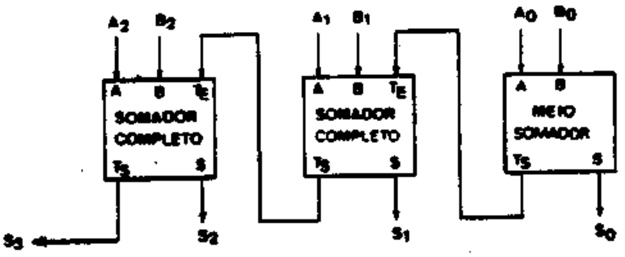


Figura 17-28 Somador para dois dígitos de três "bits"

Subtrator – Na aritmética binária, "0" menos "1" (0 – 1) é igual a "1" e um dígito 1 é tomado emprestado da coluna da esquerda.

A - B = S	E
0 - 0 = 0	0
0 - 1 = 1	1
1 - 0 = 1	0
1 - 1 = 0	0

Toma 1 emprestado

Analogamente ao somador, para subtrairmos dígitos na coluna menos significativa, fazemos uso de um Meio Subtrator (Half Subtractor) e, para as demais colunas, utilizamos o Subtrator Completo (Full Subtractor).

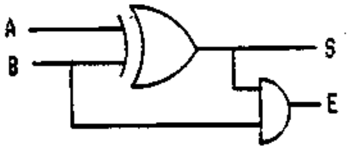


Figura 17-29 Meio Subtrator (Half Subtractor)

Um subtrator será composto de vários "Full Subtractors" (FS), para as colunas mais significativas e um "Half Subtractor" (HS), para a coluna menos significativa.

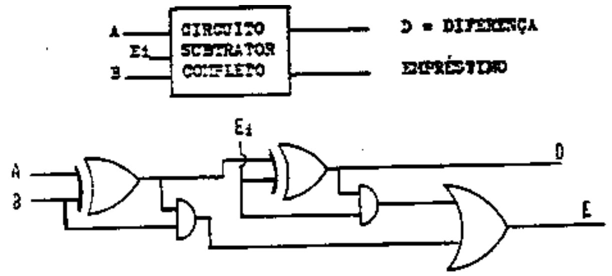

A
Ei
B
CIRCUITO SUBTRATOR COMPLETO
D = DIFERENÇA
EMPRÉSTIMO
Ei
A
B
D
E

Figura 17-30 Subtrator Completo (Full Subtractor)

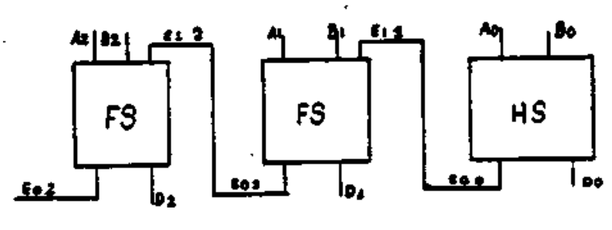

A2
B2
Ei 2
FS
Eo2
D2
A1
B1
Ei 1
FS
Eo1
D1
A0
B0
HS
Eo0
D0

Figura 17-31 Subtrator para dois dígitos de três "Bits"

Multiplexadores e Demultiplexadores

Os Multiplexadores são componentes que permitem selecionar um dado, dentre diversas fontes, como uma chave seletora de várias posições.

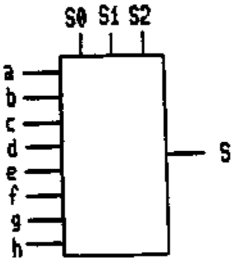

S0
S1
S2
a
b
c
d
e
f
g
h
S

Figura 17-32 Multiplexador

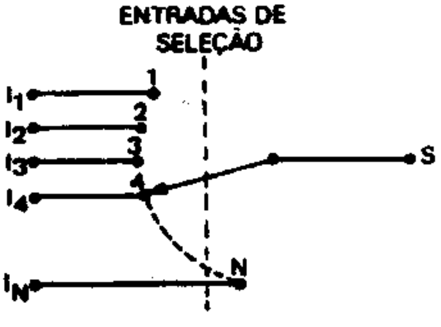

ENTRADAS DE SELEÇÃO
I1
I2
I3
I4
IN
1
2
3
4
N
S

Figura 17-33 Circuito equivalente

Através do circuito equivalente verificamos que a saída poderá estar ligada a qualquer das entradas, bastando posicionar a chave. No multiplexador, a seleção é feita de acordo como valor digital das entradas de seleção (S0), (S1) e (S2), com pesos binários 1, 2 e 4, respectivamente. As entradas de "A" a "H", corresponderão a valores decimais de 0 a 7. Na saída, teremos o nível da entrada, cujo valor decimal corresponde ao valor binário das entradas seletoras.

Os Demultiplexadores são componentes que distribuem o nível de uma única entrada, para uma, dentre as várias saídas, de acordo com o valor binário das entradas seletoras.

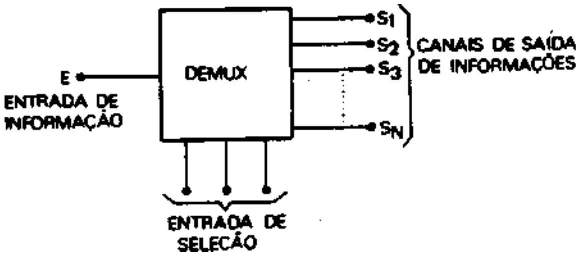

E
ENTRADA DE INFORMAÇÃO
DEMUX
S1
S2
S3
SN
CANAIS DE SAÍDA DE INFORMAÇÕES
ENTRADA DE SELEÇÃO

Figura 17-34 Demultiplexador

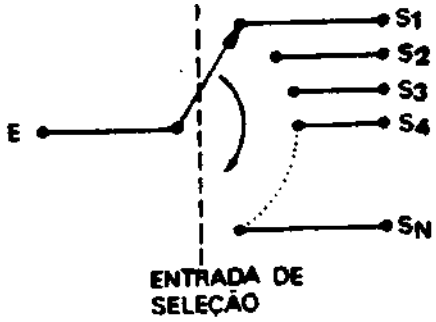

E
S1
S2
S3
S4
SN
ENTRADA DE SELEÇÃO

Figura 17-35 Circuito equivalente

CIRCUITOS SEQUENCIAIS

Os circuitos combinacionais vistos anteriormente apresentam as saídas dependentes de variáveis de entrada.

Os circuitos seqüenciais têm as saídas dependentes de variáveis de entrada e de seus estados anteriores que foram armazenados.

Circuitos seqüenciais são normalmente sistemas pulsados, isto é, operam sob o comando de pulsos denominados "Clock".

Dentre os componentes utilizados em circuitos seqüenciais, o "Flip-Flop" é um dispositivo fundamental, que permite, por suas características, o armazenamento de estados lógicos anteriores.

Flip-Flop

Flip-Flop é um dispositivo que possui dois estados estáveis. Um pulso em suas entradas poderá ser armazenado, e transformado em nível lógico estável.

Há vários tipos de Flip-Flop, que podem ser representados basicamente conforme a figura 17-36.

S
CLK
R
Q
$\overline{Q}$

Figura 17-36 Flip-Flop

Um pulso na entrada "S", será armazenado, tornando "Q" verdadeiro e "$\overline{Q}$" falso. Um pulso na entrada " R" , será armazenado, tornando "Q" falso e "Q" verdadeiro.

Flip-Flop tipo "RS" (Latch)

	S	R	S1	R1	Q,	$\overline{Q}$
A	1	0	0	1	1	0
B	0	0	1	1	1	0
C	0	1	1	0	0	1
D	0	0	1	1	0	1
E	1	1	ilegal			

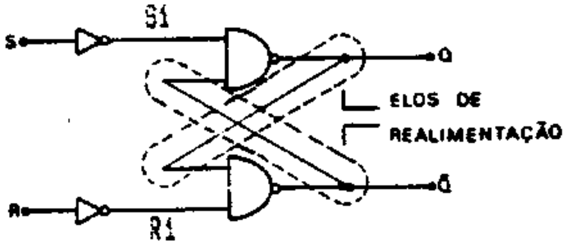

S
S1
Q
ELOS DE
REALIMENTAÇÃO
$\overline{Q}$
R
R1

Figura 17-37 Flip-Flop tipo "RS"

Flip-Flop "RS" comandado por Clock – Substituem-se os inversores na entrada do RS básico, por portas NAND.

	S	R	CLK	S1	R1	Q	$\overline{Q}$
A	1	0	0	1	1	0	0
B	1	0	1	0	1	1	0
C	0	0	0	1	1	1	0
D	1	1	1	ilegal			

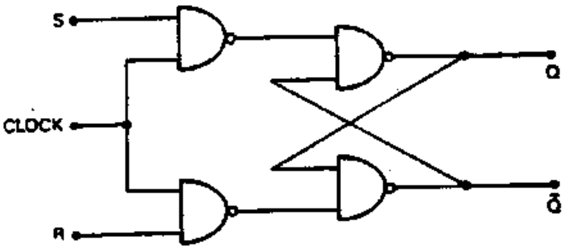

S
CLOCK
R
Q
$\overline{Q}$

Figura 17-38 Flip-Flop "RS" comandado por CLOCK

Flip-Flop JK – Os Flip-Flop "RS" possuem um estado não permitido, quando as entradas "R" e "S" são iguais a "1" acarretando uma saída indeterminada. O Flip-Flop "JK" resolve este problema, utilizando um "RS" realimentado.

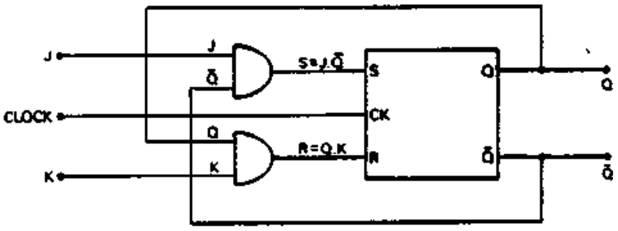

J
CLOCK
K
J
$\overline{Q}$
S=J.$\overline{Q}$
S
CK
R
Q
K
R=Q.K
Q
$\overline{Q}$
Q
$\overline{Q}$

Figura 17-39 Flip-Flop "JK"

De acordo com o circuito, o FF JK, com as entradas J e K no estado "1", terá seu estado complementado a cada "clock", isto é, se estiver "setado" (saída Q = 1), complementará (Q - >0 e $\overline{Q}$ - > 1), se estiver "ressetado" (saída Q = 0), complementará (Q - > 1 e $\overline{Q}$ - > 0).

Flip-Flop "JK" Mestre-Escravo – No FF JK, no momento em que o Clock for igual a "1", o circuito funcionará como um combinacional, passando o estado das entradas J e K diretamente para a saída.

Para evitar este inconveniente, criou-se o Flip-Flop JK Mestre-Escravo (Master-Slave), que consiste basicamente de dois FF JK, permitindo a comutação do FF, apenas na transição positiva ou negativa do Clock.

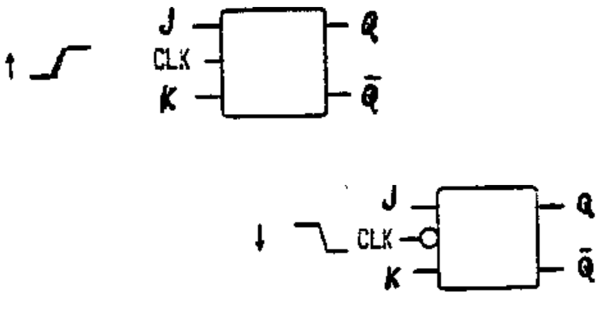

J
CLK
K
Q
$\overline{Q}$
J
CLK
K
Q
$\overline{Q}$

Figura 17-40 Flip-Flop JK Mestre-Escravo

Flip-Flop tipo “T” – Consiste de um FF JK com as entradas J e K interligadas. Sua característica é de complementar-se toda vez que a entrada estiver igual a “1”, mantendo-se no último estado quando a entrada for igual a “0”.

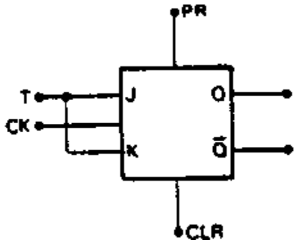

PR
T
CK
J
K
Q
Q̄
CLR

Figura 17-41 Flip-Flop tipo “T”

Flip-Flop tipo “D” – Consiste de um FF JK com as entradas interligadas através de um inversor, permitindo que seja “setado” (colocado no estado “1”) quando, no momento do Clock a entrada estiver igual a “1”, e que seja “ressetado” (colocado no estado “0”), quando, no momento do Clock a entrada estiver igual a “0”.

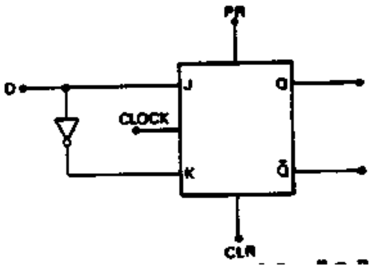

PR
D
CLOCK
J
K
Q
Q̄
CLR

Figura 17-42 Flip-Flop tipo “D”

Contadores

São circuitos digitais compostos de Flip-Flops, que variam seus estados, sob comando de um Clock, de acordo com uma sequência pré-determinada.

O que determinará a capacidade de um contador, será o número de Flip-Flop utilizados.

Contador de pulsos – Consiste de um grupo de FF Master-Slave de comutação na transição negativa do Clock, configurados em série, de tal modo que a saída de cada estágio terá a metade da frequência do estágio anterior.

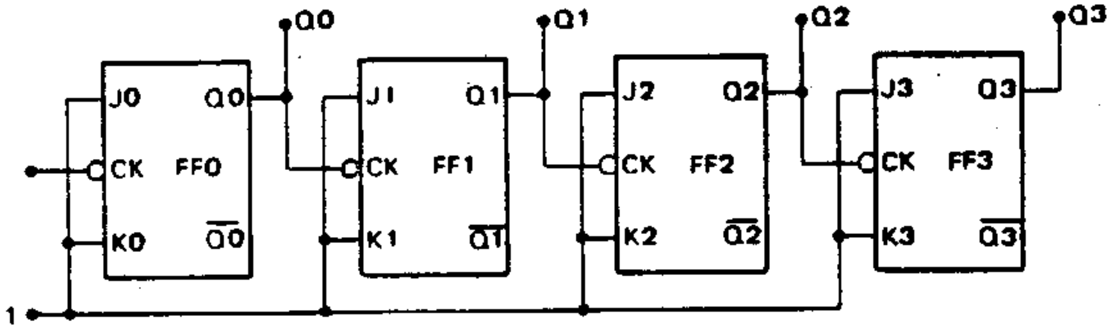

Q0
Q1
Q2
Q3
J0
CK
K0
Q0
Q̄0
FF0
J1
CK
K1
Q1
Q̄1
FF1
J2
CK
K2
Q2
Q̄2
FF2
J3
CK
K3
Q3
Q̄3
FF3
1

Figura 17-43 Contador de pulsos

Contadores decrescentes

O circuito que efetua a contagem crescente é o mesmo para contagem decrescente, com a diferença de utilizar as saídas ”Q” dos FFs. A tabela verdade de um contador crescente corresponderá ao complemento da tabela de um contador decrescente.

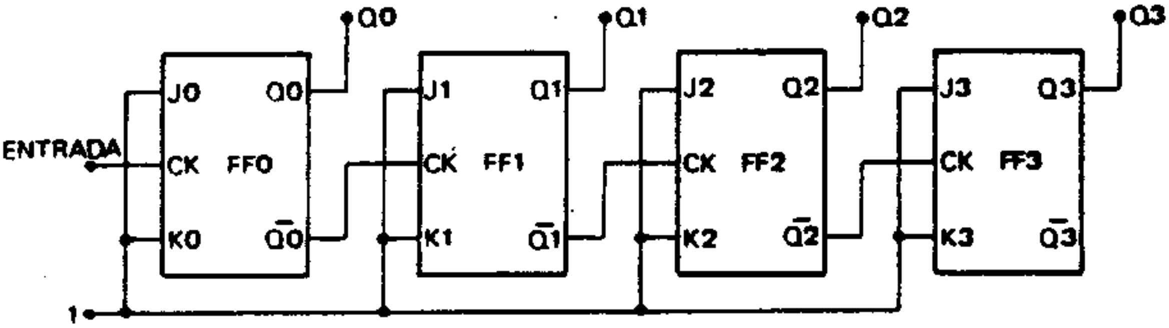

Q0
Q1
Q2
Q3
ENTRADA
J0
CK
K0
Q0
Q̄0
FF0
J1
CK
K1
Q1
Q̄1
FF1
J2
CK
K2
Q2
Q̄2
FF2
J3
CK
K3
Q3
Q̄3
FF3
1

Figura 17-44 Contador decrescente

Registradores (Shift Registers)

O flip-Flop tem a característica de armazenar o valor de um "bit", mesmo que sua entrada não esteja mais presente. Se necessitarmos guardar informações com uma quantidade de "bits" maior que um (1), o Flip-Flop será insuficiente. Para isso utilizamo-nos de um componente denominado Registrador de Deslocamento (Shift Register), que compõe-se de um certo número de Flip-Flops, de forma que as saídas de um alimentem as entradas do FF seguinte. Cada estágio do registrador armazenará o sinal de entrada no momento do Clock. Serão necessários tantos "Clocks", quantos forem os "bits" a serem armazenados.

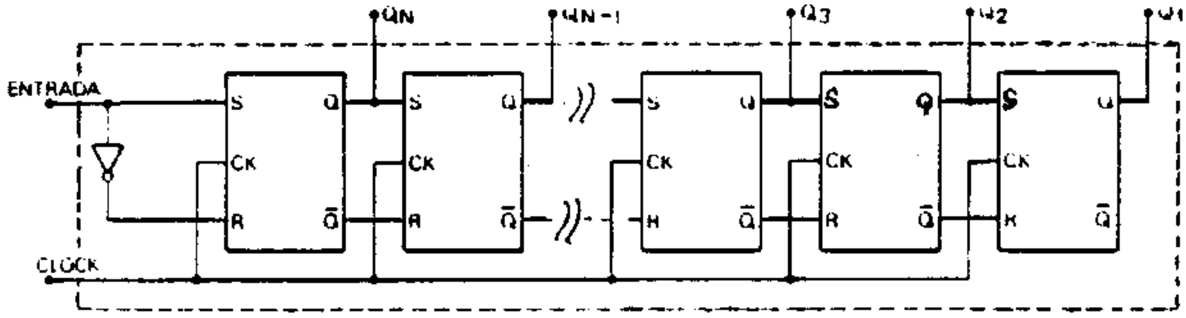


Figura 17-45 Registrador de Deslocamento (Shift Register)

Este tipo de registrador é bastante utilizado nas conversões de sistemas seriais para sistemas paralelos, onde a entrada recebe os sinais serialmente, recebendo ao final a informação completa paralela.

MEMÓRIAS

Memórias são dispositivos que armazenam informações. Essas informações poderão ser números, letras, ou caracteres quaisquer

Tipos de memórias

Podemos classifica-las quanto a:

a) Acesso.
b) Volatilidade.
c) Possibilidade de regravação.
d) Retenção.

Acesso – As memórias armazenam as informações em áreas internas chamadas "endereços".

Dependendo da codificação utilizada, cada endereço conterá um conjunto de "bits", ao qual chamamos "palavra".Cada endereço conterá uma palavra de memória.

Podemos acessar palavras de memória de duas maneiras:

-Acesso Seqüencial.
-Acesso Aleatório.

No acesso Seqüencial, o endereçamento será feito em sequência, isto é, para uma dada posição de memória todos os endereços precisam ser acessados desde o primeiro endereço. Em virtude disto, o tempo de acesso dependerá do lugar onde a informação estiver armazenada.

Como exemplo comparativo, podemos citar a fita cassete. Para acessarmos uma música que esteja no meio da fita, precisaremos percorre-la desde o princípio.

No acesso Aleatório, o endereçamento é feito diretamente na palavra desejada, sem necessidade de passar-se pelas posições intermediárias. Estas memórias são conhecidas por RAM (Random Access Memory). Como principal vantagem têm o tempo de acesso, que é reduzido e idêntico para qualquer endereço.

Como exemplo comparativo, podemos citar um disco. Para acessarmos qualquer música, bastará posicionar o braço do toca-discos na mesma.

Volatilidade – Podem ser voláteis e não voláteis. As memórias voláteis são aquelas que perdem a informação armazenada quando da interrupção da sua alimentação.

As memórias não voláteis são aquelas que mantém armazenadas as informações, mesmo na ausência de alimentação.

Possibilidade de regravação – As memórias de Escrita / Leitura permitem o acesso a qualquer endereço, para consulta da informação (Leitura) (Leitura) ou para alteração da informação (Gravação).

São utilizadas em processos onde é necessária a constante alteração das informações. São normalmente identificadas como RAM (Random Access Memory).

As memórias apenas de Leitura (Read Only Memory ou ROM) são aquelas cuja informação somente estará disponível para Leitura.

São utilizadas em processos onde a informação é necessária para consulta ou inicialização de uma rotina. Possuem capacidade de armazenamento, isto é, quantidade de endereços, inferior às RAM´s.

Quanto a esta classificação podemos citar:

a) PROM (Programable Read Only Memory) - São memórias apenas para leitura, que permitem que a sua programação, isto é, a gravação inicial seja feita pelo usuário. Esta gravação é permanente, não permitindo alterações, passando ela a operar como uma ROM.
b) EPROM (Eraseble / Programable Read Only Memory) – São memórias que funcionam como PROM´s, que permitem, porém o seu apagamento e posterior regravação. O processo de apagamento é possível por meio de um "banho" ultravioleta, através de janelas no seu encapsulamento.
c) EEPROM – São EPROM´s que permitem sua regravação por meios elétricos, sem necessidade de banhos Ultravioleta.

É conveniente lembrar que, embora as EEPROM´s permitam regravações, a sua aplicação é diferente das RAM´s. As EEPROM´s, assim como as EPROM´s, PROM´s e ROM´s, são utilizadas para armazenamento de informações que durante um processo são apenas consultadas, como as instruções para sequência de um programa. A característica de regravação em alguns tipos de ROM, tem por finalidade permitir alterações nestas instruções, sem a necessidade de substituição de componentes.

Retenção – Classificam-se em Estáticas e Dinâmicas.

As memórias de armazenamento Estático, retém os dados inseridos enquanto a alimentação estiver presente.

As memórias Dinâmicas, por outro lado, possuem um efeito capacitivo, isto é, perdem as informações carregadas, após um determinado tempo, necessitando de ciclos periódicos de "recarga" (Refresh Cycle). As memórias Estáticas são mais caras e de menor capacidade.

Endereçamento

Como já foi visto anteriormente, cada posição de memória, é acessada através de um endereço, logo teremos tantos endereços quantas forem as posições de memória. A capacidade de memória corresponderá à quantidade de endereços possíveis.

Com dois "bits" como variáveis, obtemos quatro combinações, que nos permitem acessar quatro endereços: posições 00, 01, 10 e 11. Com "n" bits variáveis podemos obter 2^n endereços.

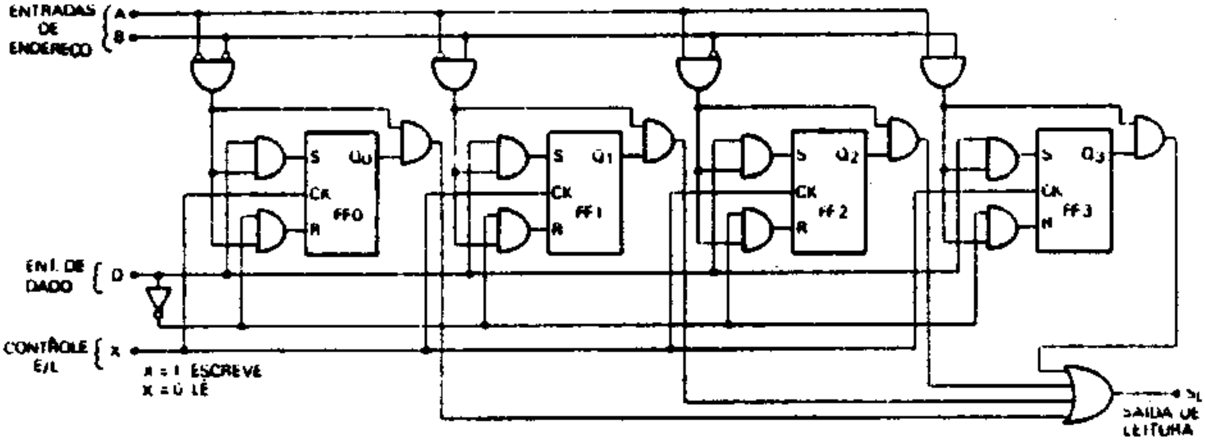


Figura 17-46 Memória RAM de quatro "bits"

Palavra de memória – Cada endereço de memória corresponderá a quantidade mínima de informações que poderá ser acessada. Esta informação poderá compor-se de um ou mais “bits”.

Esta quantidade de “bits” por endereço, chamada de “palavra de memória”, dependerá dos circuitos associados a ela e ao código interno utilizado.

As palavras mais comuna compõem-se de 8, 16 ou mesmo 32 “bits”. A cada posição acessada, serão lidos paralelamente 8, 16 ou 32 “bits”.

Byte – É o nome dado ao agrupamento de “bits” que represente um tipo de informação identificável e dependerá da filosofia do fabricante do equipamento.

Normalmente um “byte” é composto por 8 “bits”.

Qualquer caractere significativo será representado na forma de um “BYTE”. Uma memória com 1 kilobytes (1 kB), indica uma capacidade de armazenamento de 1000 caracteres.

Aplicação

Memórias são aplicadas de formas diversas, mas sempre que for necessário o armazenamento temporário ou permanente de informações.

Uma informação poderá ser um valor a ser processado, o resultado de uma operação, ou mesmo a própria sequência com as instruções da operação.

Valores fixos ou variáveis, em processamento, são chamados “DADOS”. Seqüências de instruções de operação são chamadas de “PROGRAMAS”.

As instruções de um programa, são normalmente armazenadas em memórias do tipo “ROM”, pois são informações fixas. Dados são armazenados normalmente em memórias do tipo “RAM.

CONVERSÃO DE SINAIS

Existem basicamente dois tipos de sinais: Analógicos e Digitais

Sistemas digitais e analógicos não são compatíveis entre si, necessitando de conversores.

Os conversores têm por finalidade transformar sinais digitais em analógicos e vice-versa.

Sistemas Analógicos e Digitais

Entende-se por ANALÓGICA, toda variação linear ou contínua de um sinal. Grandezas físicas como temperatura, pressão, tensão, resistência, variam de forma analógica.

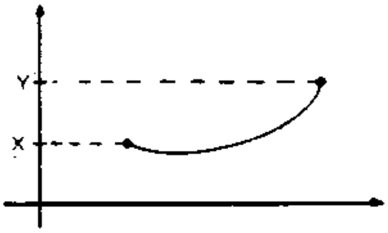


Figura 17-47 Gráfico de variação Analógica

Entende-se por DIGITAL, toda variação discreta, isto é, em degraus definidos ou “steps”.

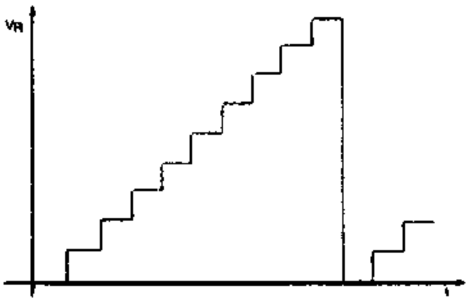


Figura 17-48 Gráfico de variação Digital

Os sistema digitais, como internamente se utilizam de valores binários, somente reconhecem duas variações discretas, o zero (0) e o um (1). Aos sinais utilizados por estes sistemas chamamos digitais binários.

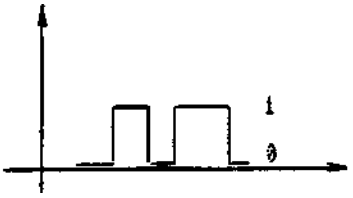


Figura 17-49 Gráfico de variação digital binária

Amplificadores operacionais– São componentes lineares cuja finalidade é amplificar uma diferença entre dois sinais, possuindo ganho controlável. Diferenças de amplitude entre dois sinais são amplificadas gerando uma saída proporcional a entrada.

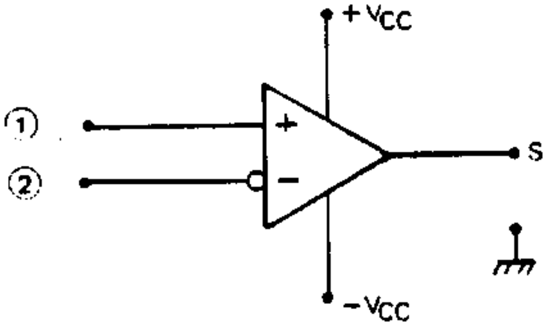


Figura 17-50 Amplificador operacional

A existência de duas entradas, sendo uma inversora e a outra não inversora permite que, dependendo de sua utilização, o sinal de saída seja normal ou invertido.

O limite de amplificação, isto é, o valor máximo de amplitude de saída, dependerá das alimentações do amplificador, limitando-se aos seus valores. A partir daí, o amplificador estará saturado, mantendo a saída fixa até que a diferença entre as entradas seja reduzida.

Conversor Digital-Analógico

É utilizado quando for necessária a conversão de uma variável digital em variável analógica.

A variável digital é normalmente codificada em BCD 8421. A saída analógica assumirá valores de grandeza correspondentes às variações digitais da entrada.

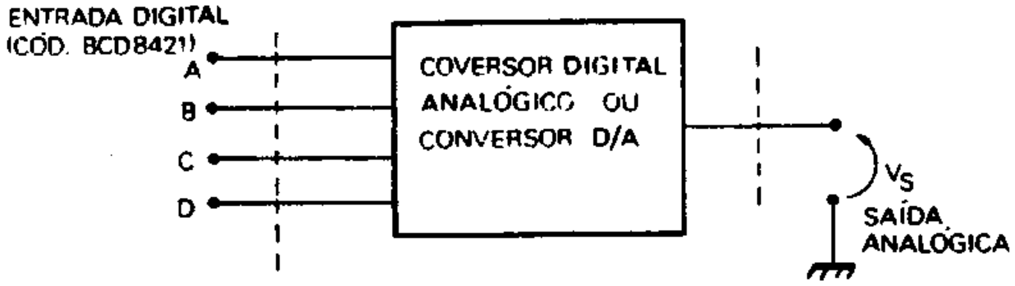


Figura 17-51 Conversor D / A

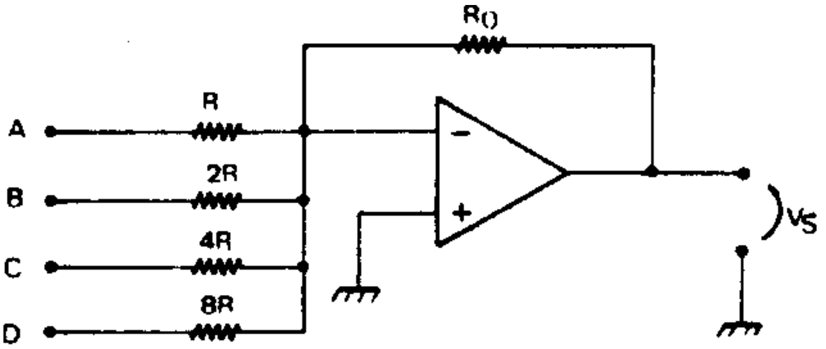


Figura 17-52 Circuito básico

Sistemas de computação digital, não são capazes de gerar sinais analógicos linearmente, mas dependendo da precisão desejada, poderão ser utilizados mais "bits", que gerando mais "steps", darão condições de geração de sinais bastante próximos dos analógicos.

Conversor Analógico-Digital

É utilizado quando for necessária a conversão de uma variável analógica em variável digital.

O conversor efetua vários passos até a conversão final, utilizando-se de um contador, um conversor D / A, um amplificador operacional atuando como comparador e Flip-Flops.

O circuito é basicamente constituído por um contador de década, gerando um código BCD 8421, que é aplicado ao conversor D/A, que por sua vez apresenta na saída uma tensão de referência (VR). Esta tensão de referência é comparada no amplificador operacional, com o sinal analógico de entrada (Ve).

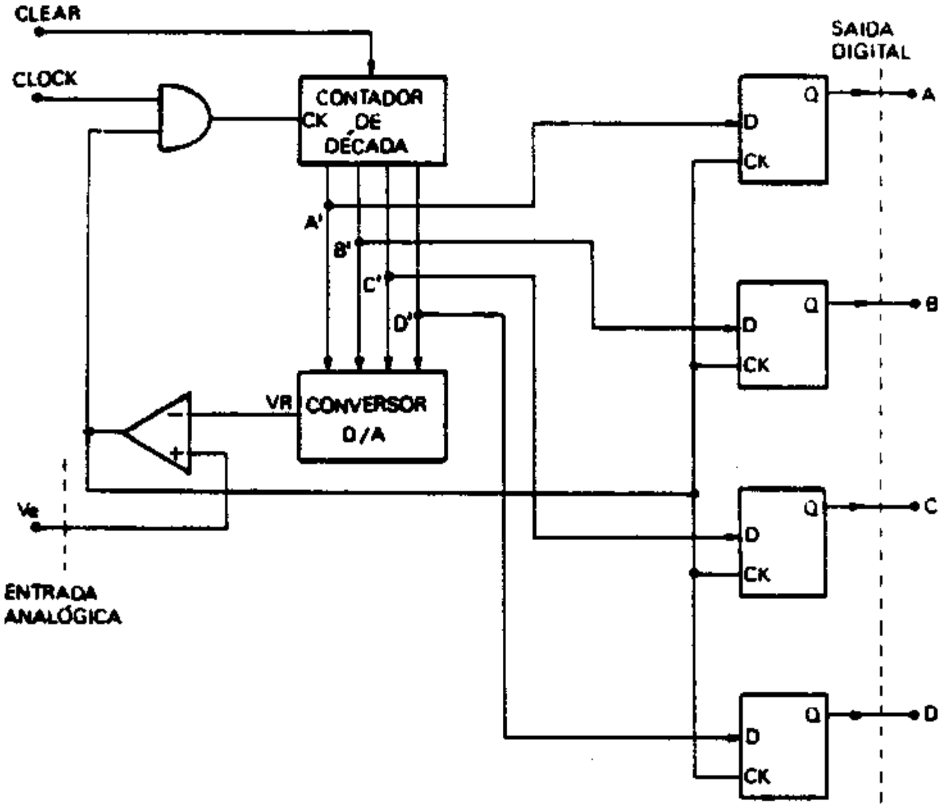

CLEAR
CLOCK
CONTADOR DE DÉCADA
CK
A'
B'
C'
D'
VR
CONVERSOR D/A
Ve
ENTRADA ANALÓGICA
SAIDA DIGITAL
D
CK
Q
A
B
C
D

Figura 17-53 Conversor A / D

Enquanto VR for menor que Ve, a saída do operacional habilitará o incremento do contador a cada "clock".Quando VR = Ve, o operacional dará saída "0" desabilitando o contador e, simultaneamente habilitando a transferência do conteúdo do contador para os Flip-Flops, que apresentarão na saída o valor digital correspondente à entrada analógica.

CAPÍTULO 18

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

PRINCÍPIOS DA COMUNICAÇÃO

Hertz, um jovem físico alemão, foi quem no ano de 1888 realizou uma série de experiências, que revelaram ao mundo científico a existência e características que ele, na época, chamou de forças elétricas que se dispersam, e que correspondem às ondas eletromagnéticas, cuja existência havia sido provada matematicamente pelo grande físico inglês Maxwell.

Para descobrir as ondas eletromagnéticas, ou ondas de rádio, Hertz utilizou vários aparelhos de laboratórios que consistiam, primariamente, de uma garrafa de Leyden ou capacitor, utilizado como fonte de energia elétrica; a eletricidade armazenada na garrafa de Leyden era conduzida por dois arcos metálicos, que terminavam em duas bolas de Cobre chamadas de eletrodos. Este conjunto constituía o transmissor ou gerador das ondas magnéticas.

Como receptor, Hertz utilizou um anel de cobre que terminava em dois eletrodos similares aos do transmissor.

A figura 18-1 ilustra os dois aparelhos utilizados por Hertz em sua experiência original.

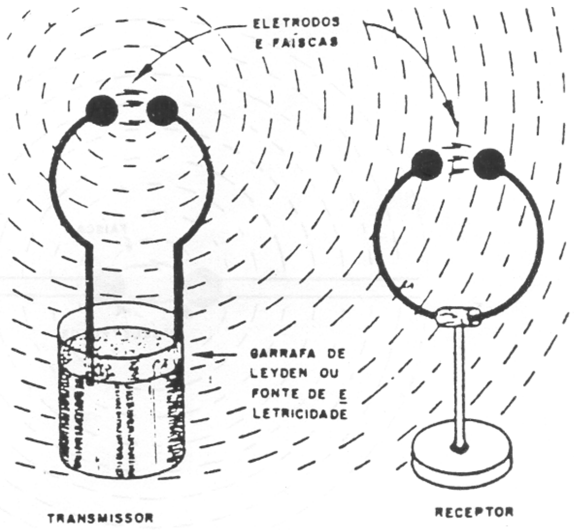


Figura 18-1 Experiência de Hertz

Quando a eletricidade armazenada na garrafa de Leyden alcançava sua intensidade máxima, uma descarga elétrica ocorria entre os eletrodos ou bolas de cobre, produzindo uma ***faísca elétrica***.

Ao produzir esta descarga nos eletrodos do transmissor, outra faísca semelhante, mas de menor intensidade, era produzida, simultaneamente, no receptor que estava colocado a uma distância de dois metros do transmissor.

Hertz demonstrou com esta experiência que certa classe de eletricidade podia ser conduzida através do espaço (uma vez que não existia nenhum condutor metálico entre o transmissor e o receptor), de modo que assim foi descoberto o ***princípio da telegrafia sem fio***.

Nas experiências realizadas posteriormente por Hertz, ele descobriu que essa classe de ondas se propaga em círculos concêntricos, em todas as direções, e que são refletidas por metais, do mesmo modo que os raios de luz são refletidos por um espelho. Além disso, descobriu que esta classe de ondas é capaz de atravessar substâncias como a madeira, o vidro, tecidos etc.

Na parte superior da figura 18-2 ilustramos a maneira como as ondas se dispersam, ou seja, de maneira circular, tendo como centro os eletrodos.

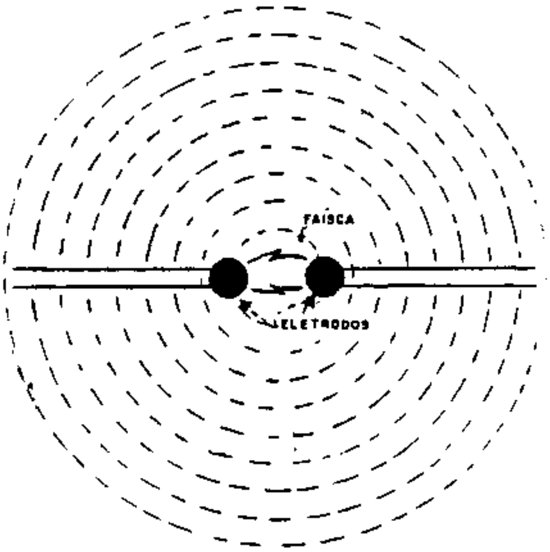


Figura 18-2 Propagação das ondas eletromagnéticas

A figura 18-3 ilustra graficamente que as ondas que atravessam substâncias tais como a madeira, são refletidas pelas superfícies metálicas, como folhas de zinco do teto da casa.

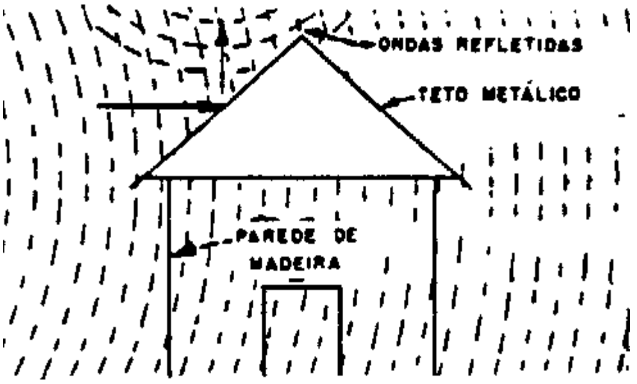


Figura 18-3 Propagação das ondas através dos corpos

Hertz também mediu a velocidade destas ondas, descobrindo que era a mesma das ondas de luz, isto é, aproximadamente 300.000.000 de metros por segundo (300.000 quilômetros por segundo).

Hertz não deu nenhuma aplicação prática às suas experiências, uma vez que ele era apenas um cientista. Entretanto, a posteridade honrou seu nome, batizando esta classe de ondas como "Ondas Hertzianas" (ou Artesianas), expressão esta comumente usada para identificar as ondas de rádio.

Como resultado das explicações dadas anteriormente, deduzimos que o transmissor utilizado originalmente por Hertz era um gerador de faíscas ou descarga elétrica. Em realidade, cada vez que se produz uma faísca elétrica geram-se ondas de rádio.

O aluno, provavelmente, terá notado isso ao escutar o ruído que produz um receptor de rádio, quando ligamos ou desligamos um aparelho da linha de força, quando apagamos uma lâmpada ou quando é produzida uma descarga elétrica entre a terra e as nuvens (raio). Isto se deve a que, em todos esses casos, são reproduzidas faíscas elétricas que dão origem às ondas de rádio, as quais são captadas pelo receptor, interferindo com os programas que estamos escutando.

Mais tarde o cientista francês Branly aperfeiçoou o aparelho inventado por Hertz, conseguindo maior sensibilidade.

No ano de 1891, a maior parte dos cientistas da época compreendeu a grande aplicação prática que se podia dar às ondas hertzianas, como um meio para manter comunicações sem fio, mediante uma combinação de sinais de longa e curta duração, de maneira semelhante ao código Morse, usado então na telegrafia com fio.

A primeira comunicação por rádio – Assim é que, no ano de 1895, Guilherme Marconi, um jovem cientista italiano, utilizando as idéias originais de Hertz e Branly, intercalou uma chave telegráfica no circuito do transmissor, para obter uma aplicação prática dos citados aparelhos. Além disso, Marconi acrescentou uma antena ao transmissor, e outra ao receptor, e, utilizando uma bobina de indução, que é um dispositivo capaz de proporcionar uma corrente eletrônica de maior intensidade que a garrafa de Leyden, conseguiu aumentar a potência das ondas irradiadas pelo transmissor.

Mediante o emprego de tais dispositivos, Marconi, em 1898, conseguiu fazer uma comunicação sem fios (radiotelegráfica) a uma distância de dois quilômetros, sendo que, nesta data, lhe foi concedida na Inglaterra a primeira patente sobre aparelhos de telegrafia sem fio.

A partir dessa data Marconi fez rápidos progressos, conseguindo, em 1898, estabelecer uma comunicação sem fios entre dois navios de guerra separados por uma distância de 40 quilômetros. Nessa altura, Marconi já havia instalado e era proprietário da primeira estação telegráfica comercial, situada na Ilha de Wight, na Inglaterra. Nos primeiros meses de 1901, Marconi alcançou seu maior êxito ao receber a letra "S" através do Atlântico; a transmissão foi feita de Gales, na Inglaterra, e recebida em St. John Newfoundland, no Canadá.

A válvula Audion – Durante o processo de aperfeiçoamento da lâmpada incandescente, o seu inventor, Thomas Alva Edison, observou que, ao colocar uma placa metálica no interior do bulbo de vidro de sua lâmpada incandescente, conforme mostrado na figura 18-4, os elétrons fluíam do filamento para a placa, embora não houvesse uma ligação física entre aqueles dois eletrodos (em lições futuras mostraremos com mais detalhes tal fenômeno).

Edison registrou também em seus apontamentos, que a corrente eletrônica somente circulava do filamento para a placa; porém, como ele estava apenas interessado em aperfeiçoar sua lâmpada incandescente, ele não deu muita importância a esse fenômeno. Não obstante, o físico inglês Sir Ambrose Fleming interessou-se vivamente por essa descoberta e lhe deu uma aplicação prática, utilizando esse princípio como um meio para fazer com que a corrente eletrônica fluísse em uma só direção.

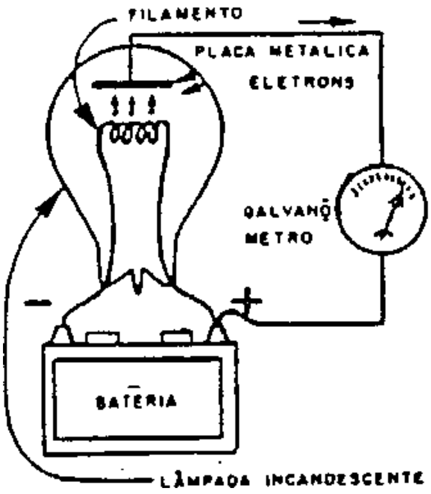

FILAMENTO
PLACA METALICA
ELETRONS
GALVANÔ METRO
−
+
BATERIA
LÂMPADA INCANDESCENTE

Figura 18-4 Experiência de Thomas Edison

Somente mais tarde é que a grande importância de tal descoberta foi posta em prática, graças aos trabalhos do Dr. Lee De Forest, outro grande cientista, cujas descobertas abriram as portas para o desenvolvimento da radiotécnica.

A figura 18-5 mostra o novo conjunto onde De Forest conseguiu fazer com que os sinais escutados no audífono fossem mais fortes.

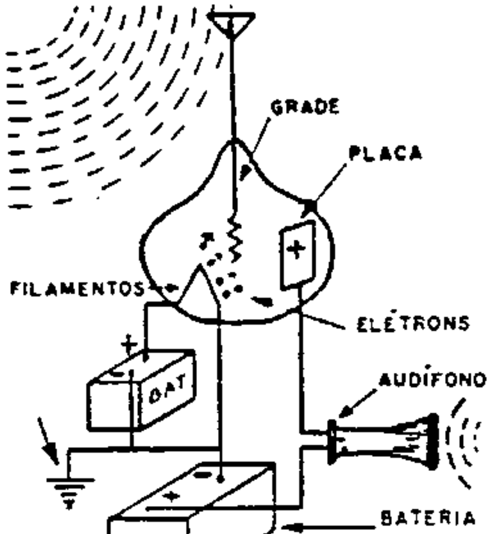

GRADE
PLACA
+
FILAMENTOS
ELÉTRONS
+
BAT
AUDÍFONO
−
+
BATERIA

Figura 18-5 Válvula de De Forest

Com esta descoberta realizada em 1906, era possível agora não somente detectar as ondas de rádio como também amplifica-las, produzindo-se, desta forma, sons de suficiente intensidade no audífono; daí o nome AUDION sugerido por De Forest para sua válvula eletrônica.

Apesar da enorme importância desta descoberta, usada então somente para receber sinais provenientes de transmissores de faíscas, muito tempo se passou até que o mundo compreendesse seu verdadeiro valor.

Ondas ou vibrações produzidas ao se agitar a água – Você, certamente já terá observado o fenômeno ou efeito interessante que ocorre na água ao arremessarmos uma pedra na superfície tranqüila de um lago.

Recordar-se-á que uma série de ondulações se estendem em círculos concêntricos, a partir do lugar onde cair a pedra.

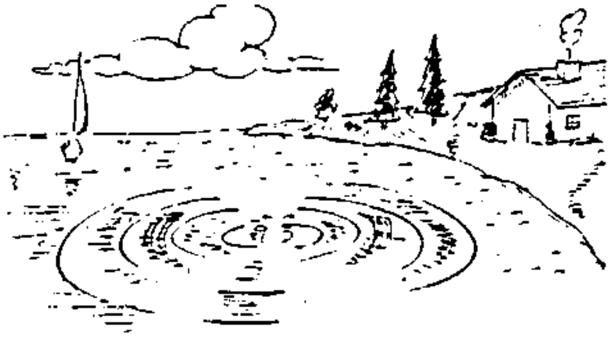


Figura 18-6 Propagação de ondas na água

A figura 18-7 mostra um corte transversal da superfície do lago. Como vemos, a linha horizontal que atravessa a figura representa o ponto de repouso, ou seja, a superfície que marcaria o nível da água se ela estivesse absolutamente tranqüila.

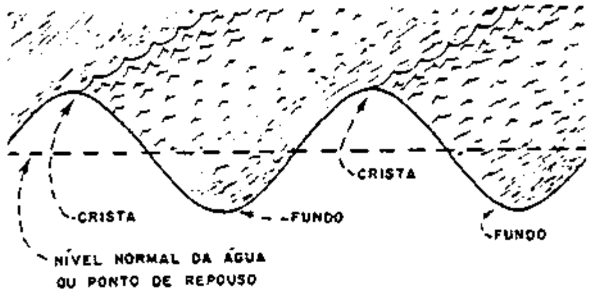

CRISTA
CRISTA
FUNDO
FUNDO
NÍVEL NORMAL DA ÁGUA
OU PONTO DE REPOUSO

Figura 18-7 Forma da onda

Usando esta linha como ponto de referência, observa-se que uma parte da ondulação é formada por uma crista, ou ponto, onde a superfície da água alcança sua maior altura. A outra parte da ondulação está constituída por um fundo, ou ponto, onde a água alcança seu nível mínimo.

Se colocarmos um pedaço de madeira ou cortiça, sobre a superfície da água, no local onde caiu a pedra, observaremos que a madeira, ou cortiça, não se movimenta em direção à margem do lago, como sucede com as ondulações, porém sobe e desce marcando as cristas e os fundos das ondas que se propagam na superfície da água.

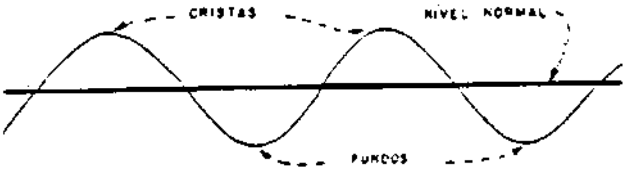


Figura 18-8 Representação gráfica das ondas

Assim fica demonstrado que a água é somente o meio propagador das vibrações, ou ondas, originadas ao se chocar a pedra com a água, pois nem o pedaço de madeira, ou cortiça, e nem a água se movimentam para a margem do lago, como sucede com as ondas.

Na figura 18-8 eliminamos a água, de modo que somente fica a representação gráfica das ondas, produzidas como resultado do choque da pedra na água.

Conforme ilustra a figura 18-9, a distância compreendida entre a linha que marca o nível normal (nível zero) e uma crista, ou um fundo, chama-se amplitude da onda.

Desta característica depende a intensidade ou potência da onda, pois quanto maior for a intensidade da onda, tanto maior será sua amplitude.

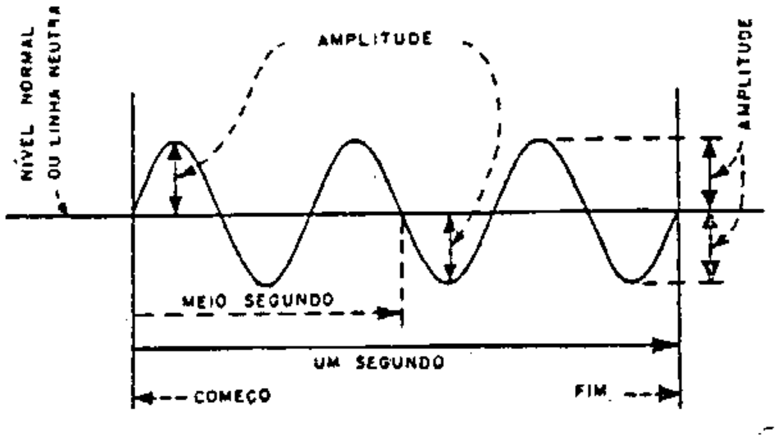


Figura 18-9 Amplitude de onda

Por exemplo, no caso das ondas produzidas na água, quanto maior for a distância entre as cristas e os fundos, tanto maior será a intensidade das mesmas.

Ondas de rádio amortecidas e contínuas

Na figura 18-10A, ilustramos a forma das ondas irradiadas por um transmissor de faíscas.

Pelas explicações dadas anteriormente, deduzimos que esta forma de onda se inicia com uma amplitude ou intensidade mínima e que vai aumentando progressivamente até alcançar sua intensidade máxima, passando novamente a cair de intensidade até se extinguir completamente.

Isto se explica pelo fato da energia eletrônica entre os eletrodos do transmissor de faísca ter que vencer nos primeiros instantes a oposição causada pela separação de ar entre os dois eletrodos, antes que se forme o arco voltaico produzido pela faísca.

Assim que o arco voltaico é produzido, as ondas geradas alcançam sua máxima amplitude, caindo de intensidade logo em seguida, devido à queda de potencial na fonte de energia que produziu a faísca.

Esta representa uma grande desvantagem pois, como podemos observar, o ponto de maior intensidade das ondas é de muito pouca duração, de modo que grande parte da energia do transmissor é perdida na formação de ondas de pouca intensidade.

Como essas ondas vão gradualmente perdendo sua intensidade, elas são conhecidas pelo nome de ondas amortecidas.

Na figura 18-10B temos um outro tipo de onda no qual a amplitude se mantém constante desde o momento em que se inicia a transmissão até o momento em que se suspende a mesma.

Essas são as ondas que podem ser produzidas por meio da válvula inventada por De Forest e que proporciona uma maior eficiência.

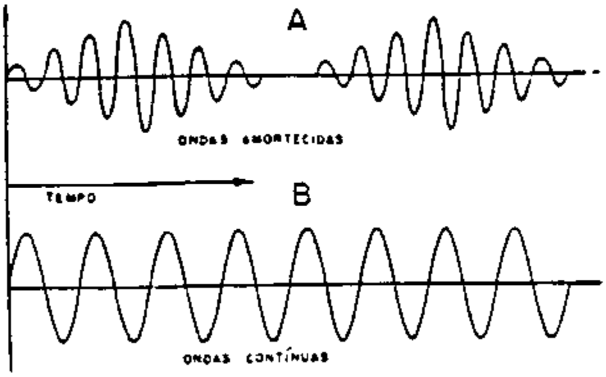


Figura 18-10 Ondas amortecidas e contínuas

O ciclo - Uma onda completa constitui um ciclo. Cada metade de uma onda, ou meio ciclo, apresenta uma alternância da onda ou semiciclo.

Cada onda, ou ciclo apresenta duas alternâncias: a alternância situada acima do nível normal é considerada positiva e a situada abaixo do nível normal é considerada negativa.

A figura 18-11 ilustra claramente o que acabamos de explicar.

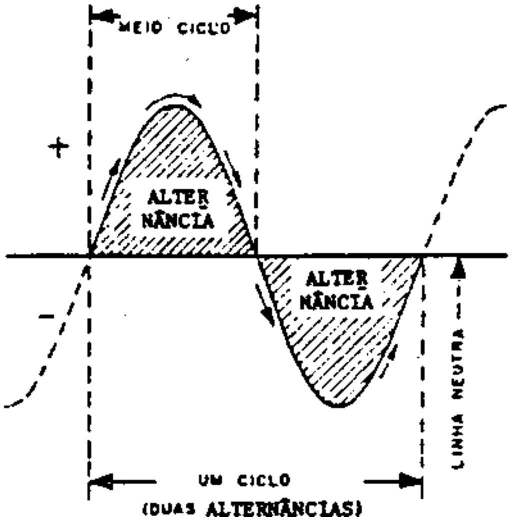


Figura 18-11 Alternâncias da onda ou ciclo

Frequência – Antes de abordarmos os assuntos relativos a frequência, gostaríamos de esclarecer que, em homenagem a Rudolf Hertz, foi adotado o termo Hertz em lugar de ciclo por segundo. Assim sendo, teremos:

Hertz (Hz) - em lugar de ciclos por segundo (C/s)
Quilohertz (KHz) - em lugar de quilociclos por segundo (KC/s)
Megahertz (mHz) – em lugar de megaciclos por segundo (mC/s)

O termo frequência indica o número de ciclos (ondas completas) produzidos num determinado período de tempo.

Por exemplo: a figura 18-12 ilustra uma frequência de quatro ciclos por segundo, ou seja, quatro ondas são produzidas no espaço de um segundo. A frequência das ondas é expressa em Hertz. Portanto, a representação gráfica da figura 18-12 corresponde a uma onda, cuja frequência é de 4 Hz.

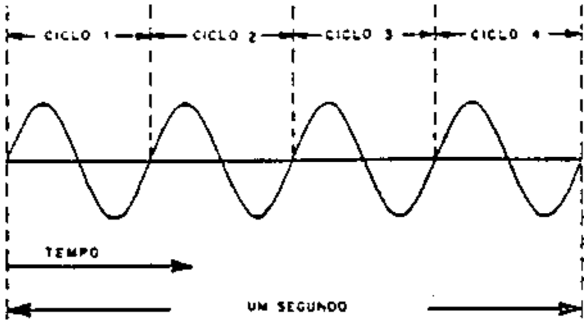


Figura 18-12 Onda com frequência de 4 Hz

Prefixo	Valor	Símbolo
Terá	10^{12}	T
Giga	10^{9}	G
Mega	10^{6}	M
Kilo	10^{3}	K
Hecto	10^{2}	h
Deca	10	da
Deci	10^{-1}	d
Centi	10^{-2}	c
Mili	10^{-3}	m
Micro	10^{-6}	µ
Nano	10^{-9}	n
Pico	10^{-12}	p
Fento	10^{-15}	f
Atto	10^{-18}	a

Tabela de prefixos

Relação entre frequência e comprimento de onda – Para maior simplicidade, considere um alternador fornecendo energia elétrica com a frequência de 60 Hz por meio de uma linha de transmissão ligando São Paulo a Manaus, passando por Recife. Admita que a velocidade de propagação a CA seja igual à velocidade de irradiação eletromagnética no espaço livre, que é constante e de 300.000 km por segundo, independentemente da frequência.

Se o gerador iniciar sua ação geradora no ponto de tensão zero da senóide, depois de decorrido meio ciclo (1 / 120 de segundo), o ponto de tensão zero terá percorrido uma distância que pode ser determinada pelo produto da velocidade da onda pela duração de meio ciclo. Esta distância corresponderá a cerca de 2.500 km (300.000 x 1/120), que é aproximadamente a distância entre São Paulo e Recife.

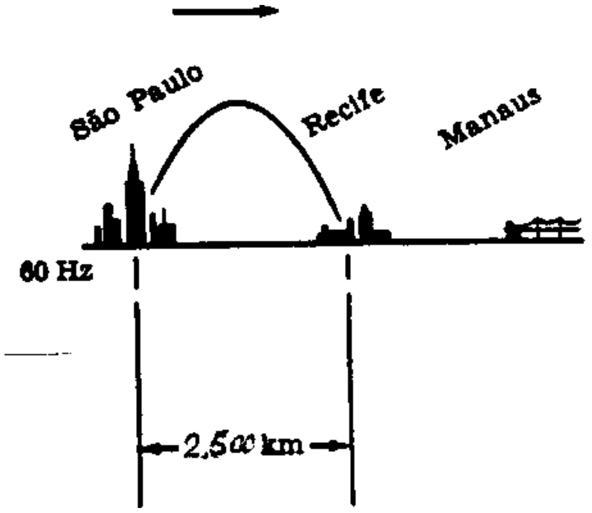


Figura 18-13

Decorrido o outro meio ciclo (1/60 de segundo) o ponto terá percorrido uma distância de 5.000 km (300.000 x 1/60), que é a distância aproximada de São Paulo a Manaus.

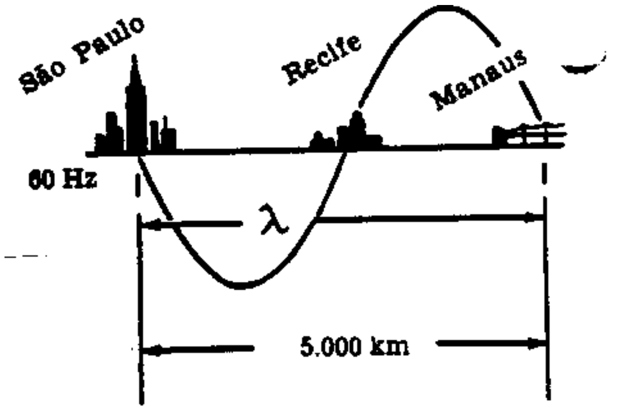


Figura 18-14

Esta distância de 5.000 km é o comprimento de onda da CA de 60 Hz, que é a distância percorrida pela onda durante o tempo correspondente a um ciclo. O símbolo para comprimento de onda é a letra grega lambda (λ).

Do mesmo modo, o comprimento de onda de qualquer onda irradiada pode ser determinado multiplicando-se a velocidade constante pela duração de um ciclo. Como a duração de um ciclo é igual a um (1) dividido pela freqüência (1 / f), o comprimento de onda é igual à velocidade constante dividida pela freqüência (λ = V/F) ou a velocidade é igual à freqüência multiplicada pelo comprimento de onde (V = f.λ). Como V é constante, quanto maior a freqüência, menor o comprimento de onda a vice-versa.

Propriedades das ondas sonoras

Até agora, ao falarmos das ondas em geral, somente mencionamos aquelas produzidas na água como resultado das vibrações causadas pelo choque da pedra contra a água. Não obstante, as características das ondas de rádio e das ondas sonoras são semelhantes as que observamos no lago.

Embora as características de propagação tanto das ondas de sonoras como das ondas de rádio ou eletromagnéticas sejam idênticas, elas são de natureza diferente, pois as ondas sonoras são vibrações mecânicas, ao passo que as ondas eletromagnéticas são vibrações eletrônicas.

No caso das ondas geradas na superfície do lago, o meio condutor é a água, ao passo que no caso das ondas sonoras, o meio condutor ou de propagação é geralmente o ar. Quanto às ondas eletromagnéticas, o seu meio de propagação continua a ser motivo de controvérsia entre os cientistas, de modo que apenas diremos que elas se propagam em todos os meios.

Representação gráfica das ondas sonoras – A figura 18-15 ilustra graficamente um som ou ruído produzido por uma campainha que vibra numa velocidade de quatro vezes por segundo. Observe que, na parte superior da figura estão ilustradas as compressões do ar por meio de uma concentração dos pontos que representam as partículas de ar. Na parte inferior aparece a forma das ondas produzidas por essa vibração. Neste caso, como em exemplos semelhantes, a amplitude mínima das ondas corresponde ao grau mínimo de compressão das partículas de ar, ou seja, à rarefação do ar. Na figura 18-15 a linha horizontal que atravessa as ondas corresponde à condição normal ou estado das partículas de ar, quando não há compressão ou rarefação.

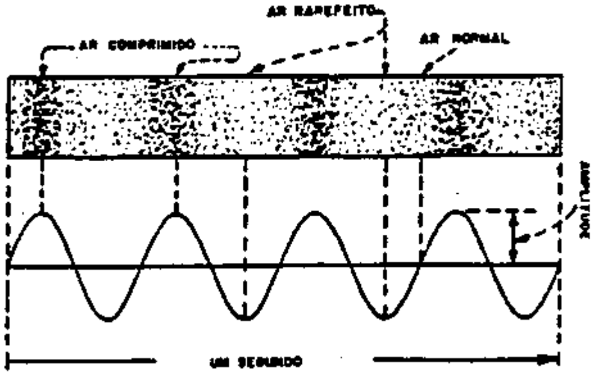


Figura 18-15 Representação gráfica das ondas sonoras

Todos os termos referentes às características das ondas já estudadas são aplicáveis à descrição de sua forma. Por isso, quanto maior a amplitude das ondas sonoras, tanto maior será a intensidade do som percebido pelo ouvido.

Na campainha elétrica, quanto mais forte for o golpe do martelo na campânula, tanto maior será a amplitude da onda produzida. A forma das ondas sonoras pode ser vista num instrumento especial denominado osciloscòpio.

Nas ondas sonoras, a freqüência ou número de vibrações por segundo é o fator que determina o que comumente se conhece como tom. O tom de uma nota ou som musical é classificado de acordo com a freqüência do som. Os sons de tom baixo ou grave são as notas musicais cuja freqüência é baixa, ao passo que os sons de tom alto ou agudo são aqueles cuja freqüência ou número de vibrações por segundo é alto.

Por exemplo: o violoncelo produz notas graves ou baixas, porque sua freqüência está compreendida entre 60 a 213 Hertz.

Por outro lado, o violino produz notas agudas ou altas, porque a freqüência dos sons emitidos por esse instrumento está compreendida entre 230 e 3.072 Hertz.

Freqüências que o ouvido humano pode perceber – As freqüências dos sons que o ouvido humano pode perceber estão compreendidas entre 16 Hz como limite mínimo e 20.000 Hz como limite máximo.

As ondas sonoras mais baixas, ou seja, inferiores a 16 Hz, não são escutadas como um único som, mas sim como ruídos separados. Isto é, o ouvido somente percebe como um único som às vibrações acima de 16 Hz; as vibrações abaixo de 16 Hz são ouvidas a intervalos e são classificadas como ruídos, geralmente desagradáveis ao ouvido.

Os sons acima de 20.000 Hz não são percebidos pelo ouvido humano. O vôo do mosquito, que corresponde mais ou menos a esta freqüência, é o som com maior número de vibrações que podemos perceber. Os sons de freqüência mais alta não podem ser escutados, mesmo que sejam de alta intensidade, porque as membranas auditivas são incapazes de responder a uma vibração superior a 20.000 Hz, embora animais como cães possam perceber sons mais altos. Esta é a razão porque pastores usam apitos especiais para chamar cães que cuidam de suas ovelhas.

Como os sons cujas freqüências estão compreendidas entre 16 e 20.000 Hz são os que o ouvido humano pode perceber, essas são conhecidas pelo nome de áudiofrequência ou frequência audíveis. Embora o ouvido humano possa perceber essa gama ou escala de freqüências, as estações radiodifusoras de AM e os receptores utilizados para receber os programas das mesmas somente reproduzem sons compreendidos entre 50 e 5.000 Hz. Não obstante, no sistema de transmissão e recepção de frequência modulada, é possível reproduzir toda classe de sons cujas freqüências estejam compreendidas entre 30 e 15.000 Hz.

Meios em que se propagam as ondas sonoras – Segundo mencionamos ao iniciar as explicações sobre as ondas sonoras, estas são o resultado das vibrações mecânicas de um objeto no meio condutor. Esse meio deve ser matéria, esteja ele no estado sólido, líquido ou gasoso.

Algumas substâncias, como a água por exemplo,pode se apresentar em qualquer dos três estados. O estado sólido é o gelo; o líquido, a água; e o gasoso, o vapor da água.

O meio condutor utilizado com mais frequência para a propagação do som é o ar (estado gasoso), porém o som pode ser propagado tanto nos líquidos como nos sólidos. O som, entretanto, não se propaga no vácuo porque, neste caso, não há um meio condutor que faça chegar as vibrações até o ouvido, conforme demonstra a experiência ilustrada na figura 18-16.

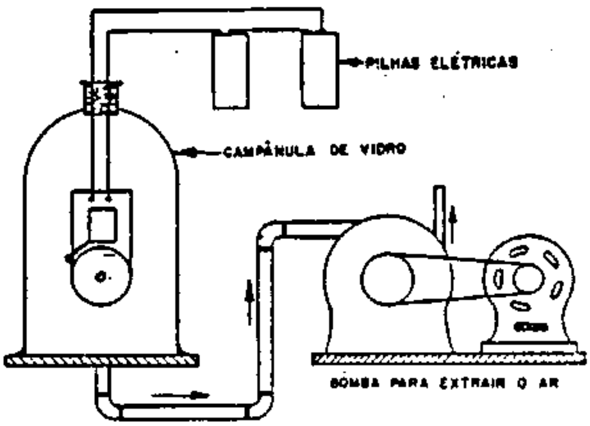


Figura 18-16 Experiência de propagação do som no vácuo

Observe a campainha elétrica instalada no interior de uma campânula de vidro, da qual é possível se extrair o ar por meio de uma bomba pneumática que rarefaz totalmente o ar no interior da campânula.

A experiência em questão é iniciada com a campainha funcionando. Á medida que o ar é extraído do interior da campânula, os sons vão gradualmente se extinguindo, até desaparecer por completo, quando todo o ar for bombeado para fora.

Velocidade de propagação do som – A velocidade de propagação do som depende da matéria que é utilizada como meio condutor. Entretanto, podemos dizer que o som se propaga com maior velocidade e eficiência nos líquidos e nos sólidos que no ar.

Na tabela a seguir podemos comparar a velocidade de propagação do som em diversas substâncias.

Substância	Velocidade em metros por segundo
Ar	331
Ferro ou aço	5.100
Água	1.400
Cobre	3.292
Vidro	5.500

Intensidade do som – A unidade empregada para descrever a intensidade do som (amplitude de onda) é o decibel, que corresponde a um décimo da unidade utilizada originalmente, a qual recebeu o nome de “BEL” em honra a Alexandre Graham Bell, inventor do telefone.

Praticamente, podemos definir o decibel como a mudança mínima de intensidade do som que o ouvido humano pode perceber. Por exemplo, para escutar uma variação na intensidade do som de uma nota musical, cuja intensidade é de um decibel, a intensidade do mesmo som tem que subir a 2 decibéis antes que o ouvido possa perceber a diferença.

O ruído excessivo não prejudica apenas os ouvidos, mas atinge também o sistema nervoso. Pode provocar o aumento da pressão sanguínea, problemas de audição e cardíacos. Muitas vezes é por causa do barulho que perdemos o sono, ficamos irritados e cansados, sem explicação aparente. Estamos cercados de barulho por todos os lados.

A relação a seguir lhe dará uma idéia dos ruídos que nos perturbam.

Tique-taque de relógio	20 db
Conversação normal	50 db
Liquidificador	80 db
Limite permitido por lei no RJ	85 db
Apitos e sirenes	90 db
Buzina estridente de automóvel	100 db
Serra circular ou trem	110 db
Conjunto de guitarras	120 db
Motor a jato Perigo ⟶	130 db
Gol do Flamengo no Maracanã	130 db
Fogos de estampido	130 db
Liminar de audibilidade humana	140 db
Foguete espacial	180 db

Somente sons e ruídos na faixa de 10 a 140 decibéis são captados pelo ouvido humano. Os de menos de 10 são inaudíveis e os superiores a 140 provocam ruptura dos tímpanos.

Velocidade e frequência das ondas de rádio – Como mencionamos no princípio desta lição, a velocidade de propagação das ondas de rádio é igual à velocidade de propagação da luz ou ondas luminosas. Isto se deve ao fato das ondas de rádio, as ondas luminosas e as ondas caloríficas apresentarem as mesmas características, ou seja, todas elas pertencerem ao tipo de ondas de freqüências muito altas, conhecidas como ondas eletromagnéticas ou irradiações eletromagnéticas.

Deduzimos, então, que as ondas de rádio são apenas uma variedade ou gama diferente das ondas eletromagnéticas, distinguindo-se das outras por sua frequência e comprimento de onda.

A figura 18-17 ilustra a classificação ou escala das ondas eletromagnéticas, de acordo com sua frequência e comprimento de onda. Observe que as ondas de rádio correspondem às ondas eletromagnéticas de frequência mais baixa, vindo em seguida as ondas caloríficas, as ondas luminosas, os raios ultravioletas, etc.

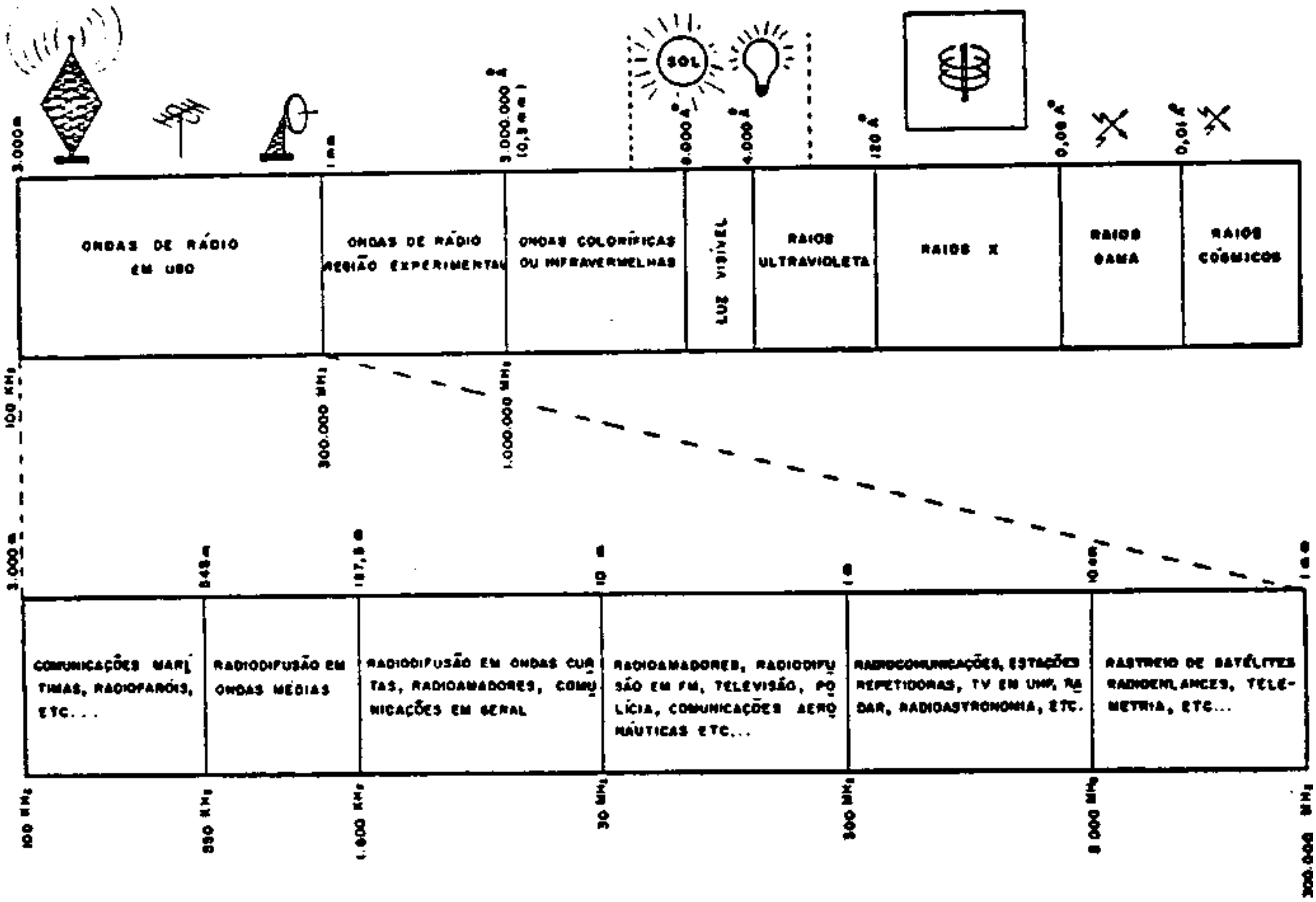

3.000m
1 mm
3.000.000 Å (0,3 mm)
SOL
8.000 Å
4.000 Å
120 Å
0,06 Å
0,01 Å
ONDAS DE RÁDIO EM USO
ONDAS DE RÁDIO REGIÃO EXPERIMENTAL
ONDAS COLORÍFICAS OU INFRAVERMELHAS
LUZ VISÍVEL
RAIOS ULTRAVIOLETA
RAIOS X
RAIOS GAMA
RAIOS CÓSMICOS
100 KHz
300.000 MHz
1.000.000 MHz
3.000 m
545 m
187,5 m
10 m
1 m
10 cm
1 mm
COMUNICAÇÕES MARÍTIMAS, RADIOFARÓIS, ETC...
RADIODIFUSÃO EM ONDAS MÉDIAS
RADIODIFUSÃO EM ONDAS CURTAS, RADIOAMADORES, COMUNICAÇÕES EM GERAL
RADIOAMADORES, RADIODIFUSÃO EM FM, TELEVISÃO, POLÍCIA, COMUNICAÇÕES AERONÁUTICAS ETC...
RADIOCOMUNICAÇÕES, ESTAÇÕES REPETIDORAS, TV EM UHF, RADAR, RADIOASTRONOMIA, ETC.
RASTREIO DE SATÉLITES RADIOENLANCES, TELEMETRIA, ETC...
100 KHz
550 KHz
1.600 KHz
30 MHz
300 MHz
3.000 MHz
300.000 MHz

Figura 18-17 Classificação das ondas eletromagnéticas

Ondas de rádio

As ondas de rádio, ou seja, as usadas nos sistemas de radiocomunicação, estão compreendidas entre 100 quilohertz e 1.000.000 megahertz. Essas ondas, expressas segundo seu comprimento de onda, correspondem as compreendidas entre 3.000 metros e 0,03 centímetros (0,3 mm). Essas são as ondas descobertas por Hertz, por meio do transmissor de faísca. Uma das características das ondas de rádio é que não são perceptíveis aos sentidos, exceto por seus efeitos quando são aplicados ao corpo humano com grande intensidade, por meio de eletrodos especiais, como nos aparelhos médicos de diatermia.

Ondas infravermelhas ou ondas caloríficas – As ondas infravermelhas são de freqüências superiores a 1.000.000 de megahertz e correspondem a comprimentos de onda inferiores a 0,03 cm (0,3 mm). A partir dessas ondas, como a freqüência é excessivamente elevada e o comprimento da onda é tão pequeno, adotou-se uma unidade especial que permite indicar mais facilmente o comprimento de onda. Esta unidade se chama "Unidade Angstrom" (A), e equivale a décima milionésima parte de um milímetro (0,0000001 mm). É evidente que é infinitamente pequena para se poder ter um conceito prático de sua dimensão.

Em unidades Angstrom as ondas de calor estão compreendidas entre três milhões de "A" (0,3 mm) e 8.000 A.

Tais ondas são emitidas pelos aquecedores de água (vapor d'água), ferros elétricos de engomar, etc. É interessante observar que uma grande parte dessas ondas são irradiadas pelo Sol, como ondas luminosas e raios ultravioletas.

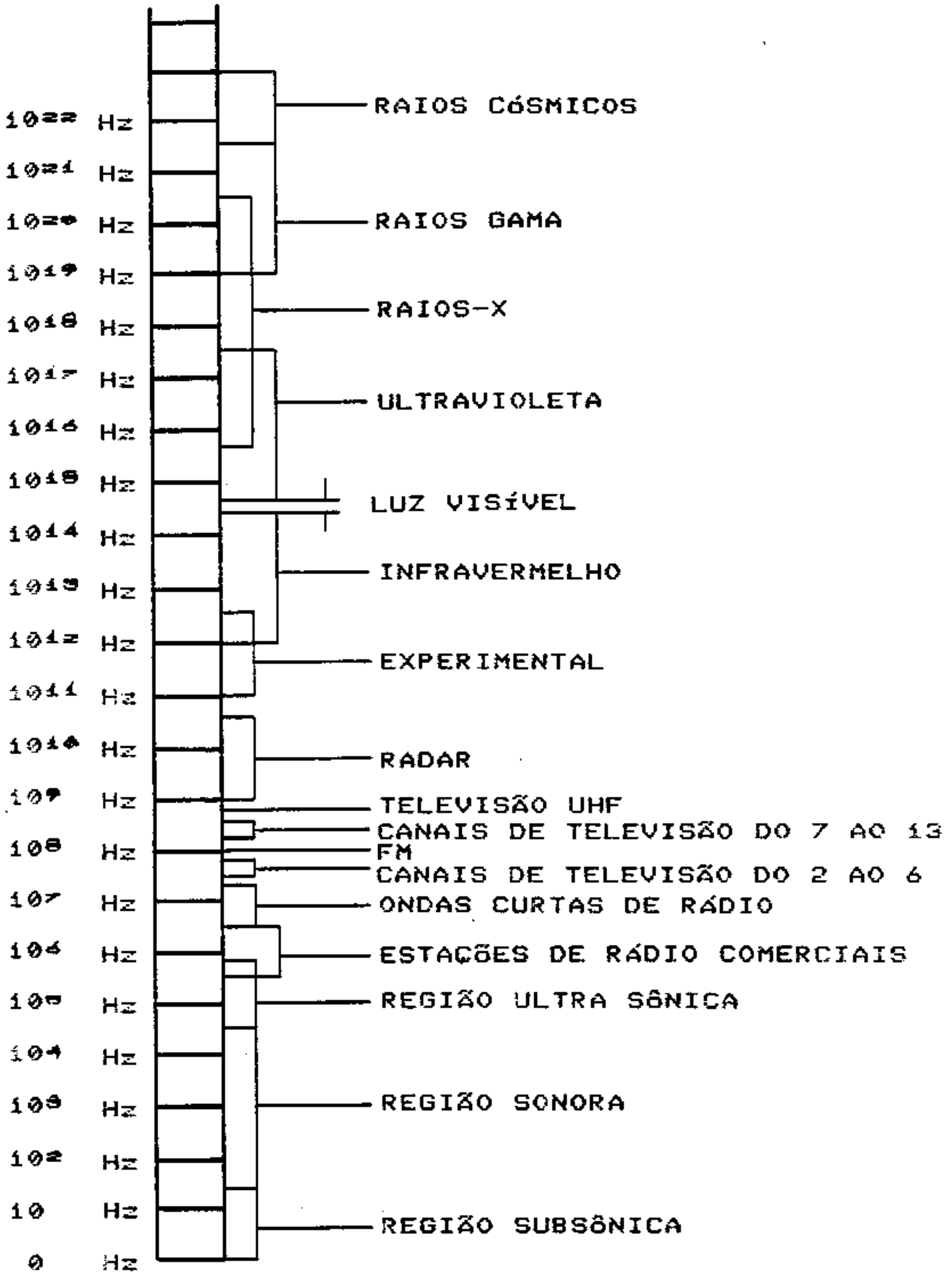

10^{22} Hz
10^{21} Hz
10^{20} Hz
10^{19} Hz
10^{18} Hz
10^{17} Hz
10^{16} Hz
10^{15} Hz
10^{14} Hz
10^{13} Hz
10^{12} Hz
10^{11} Hz
10^{10} Hz
10^{9} Hz
10^{8} Hz
10^{7} Hz
10^{6} Hz
10^{5} Hz
10^{4} Hz
10^{3} Hz
10^{2} Hz
10 Hz
0 Hz
RAIOS CóSMICOS
RAIOS GAMA
RAIOS-X
ULTRAVIOLETA
LUZ VISíVEL
INFRAVERMELHO
EXPERIMENTAL
RADAR
TELEVISÃO UHF
CANAIS DE TELEVISÃO DO 7 AO 13
FM
CANAIS DE TELEVISÃO DO 2 AO 6
ONDAS CURTAS DE RÁDIO
ESTAÇÕES DE RÁDIO COMERCIAIS
REGIÃO ULTRA SÔNICA
REGIÃO SONORA
REGIÃO SUBSÔNICA

Figura 18-18 Espectro de radiação eletromagnética

Ondas luminosas (a luz) – Estas ondas se caracterizam por pertencerem à única classe de ondas eletromagnéticas que a vista humana pode perceber, sem necessidade de um dispositivo especial.

Apresentam características muito parecidas às ondas caloríficas, e alguns cientistas as consideram como o fim do espectro. A prova disso é que, quando um corpo alcança uma temperatura muito elevada, ele começa a emitir raios luminosos.

Além disso, a luz pode ser convertida em calor, quando os raios luminosos são concentrados por meio de uma lente.

A luz está compreendida entre 8.000 e 4.000 unidades Angstrom. Os raios solares abrangem toda esta gama do espectro das ondas eletromagnéticas.

Raios ultravioletas – A luz ou raios ultravioletas estão compreendidos entre 4.000 a 120 unidades Angstrom. Parte desses raios são produzidos pelo Sol. Artificialmente, eles podem ser produzidos por meio de lâmpadas elétricas especiais, as quais são usadas freqüentemente no tratamento de certas enfermidades.

Raios X – Os raios X estão compreendidos entre os comprimentos de onda correspondentes a 120 unidades Angstrom e 0,06 da mesma unidade (6 centésimos de 1 Angstrom). A característica principal dessas ondas eletromagnéticas é que são capazes de atravessar toda sorte de tecidos, couros, telas, madeiras e uma grande parte dos metais.

Os raios X são usados, principalmente, para tirar fotografias do interior do corpo humano, sendo, também, usados na indústria para fotografar a estrutura de peças metálicas de alumínio, aço, etc.

Raios Gama e Raios Cósmicos – As ondas eletromagnéticas de maior frequência e menos comprimento de onda que se tem conhecimentos definidos são os raios gama, que são o produto das emissões ou irradiações de elementos radioativos, como o Rádio e o Urânio.

Os raios são produzidos nesses elementos pela desintegração atômica espontânea dos mesmos. Não obstante, grande parte desses raios pode ser produzida artificialmente por meio de possantes aparelhos de Raios X ou, pela desintegração artificial, como no caso da bomba atômica.

Na medicina, esses raios de baixa intensidade são usados para destruir tumores cancerosos, empregando-se neste caso, o Rádio. Os sais radioativos são usados também na indústria, pois têm a propriedade de emitir raios de baixa proporção e, como são visíveis na obscuridade (fosforescentes) encontram aplicações na fabricação de mostradores de relógios e ponteiros.

Embora os Raios Gama sejam os últimos a respeito dos quais se tenham noções claras, sabe-se que existem outros raios de menor comprimento de onda que a ciência chama de raios cósmicos secundários, por se acreditar que sejam encontrados nos espaços interplanetários. Isso é tudo que se sabe a respeito dos mesmos até hoje.

Estas explicações servirão, indubitavelmente, para dar ao aluno um conceito mais definido da classificação e características das ondas eletromagnéticas, a cuja família pertencem as ondas de rádio que, no momento, nos interessam. Não obstante, ao estudarmos a televisão, teremos a oportunidade de utilizar os conhecimentos adquiridos sobre as outras classes de ondas eletromagnéticas.

Apesar das ondas de rádio, as ondas caloríficas e as ondas luminosas pertencerem à mesma família, seria errôneo crer que são parecidas em todos os aspectos, pois a diferença em frequência e comprimento de onda entre elas é enorme. Entretanto, devemos ter presente que todas as classes de ondas eletromagnéticas são manifestações de energia em diversas formas e, em muitos casos, é possível transforma-las em movimentos mecânicos, como sucede com o calor utilizado para impulsionar máquinas ou locomotivas.

Classificação detalhada das ondas de rádio – As ondas eletromagnéticas, que correspondem às ondas de rádio utilizadas hoje em dia, são classificadas em várias faixas, de acordo com o comprimento de onda e com os serviços a que se destinam nos sistemas de radiocomunicações.

Como se observa na parte inferior da figura 18-19, as ondas de rádio normalmente utilizadas podem ser divididas em seis blocos principais, que englobam as diversas faixas de freqüências.

No primeiro bloco temos as freqüências compreendidas entre 100 kHz e 550 kHz, freqüências estas que correspondem à faixa de ondas longas. Essa faixa compreende diversos tipos de comunicações, inclusive os radiofaróis (para orientação da navegação aérea). Além disso, na Europa, existe também radiodifusão (emissoras comerciais) nessa faixa.

No segundo bloco temos as freqüências compreendidas entre 550 kHz e 1600 kHz, que correspondem à faixa de ondas médias. Nesta faixa, estão localizadas, exclusivamente, emissoras comerciais de radiodifusão (Broadcasting).

No terceiro bloco temos as freqüências compreendidas entre 1600 kHz e 30 MHz, que correspondem à faixa de ondas curtas. Nessa importante parte das ondas de rádio estão localizadas as radiodifusoras internacionais (nas faixas de 49, 31, 25, 16 e 13 metros), bem como as radiodifusoras das chamadas “faixas tropicais” (90 e 60 metros). Também na faixa de ondas curtas estão localizadas diversas faixas destinadas às comunicações entre radioamadores (160, 80, 40, 20, 15, 11 e 10 metros). Além disso, localizam-se também nessa faixa inúmeros outros serviços de radiocomunicações, tanto governamentais como de empresas privadas, operando em fonia, telegrafia e teletipo.

No quarto bloco estão as freqüências compreendidas entre 30 MHz e 300 MHz, que correspondem à faixa de freqüências muito elevadas (VHF). Nesta faixa temos as emissoras de TV em VHF, radiodifusão em FM, além de diversos sistemas de radiocomunicação (radioamadores, aeronáutica, polícia, serviços públicos, etc.).

No quinto bloco temos as freqüências compreendidas entre 300 e 3.000 MHz, que correspondem à faixa de freqüências ultra-elevadas (UHF).

Esta faixa compreende radiocomunicações em geral, radioamadores, estações repetidoras, emissoras de TV em UHF, radares, radioastronomia, etc.

No sexto e último bloco estão as freqüências compreendidas entre 3.000 e 300.000 MHz, que abrangem freqüências super-elevadas (SHF de 3.000 a 300.000 MHz) e freqüências extremamente elevadas (EHF de 30.000 a 300.000 MHz), que correspondem à faixa de microondas.

Estas faixas compreendem sistemas de rastreamento de satélites artificiais, telemetria, sistemas de radioenlaces, etc.

FAIXA DE FREQUÊNCIA	DESIGNAÇÃO TÉCNICA	DESIGNAÇÃO LEIGA	EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO
300 Hz a 3000 Hz	E. L. F.	Ondas Extremamente Longas	Comunicação para submarinos, para escavação de minas e etc.
3 KHz a 30 KHz	V. L. F.	Ondas Muito Longas	
30 KHz a 300 KHz	L. F.	Ondas Longas	Auxílio à navegação aérea, serviços marítimos, radiodifusão local.
300 KHz a 3000 KHz	M. F.	Ondas Médias	
3 MHz a 30 MHz	H. F.	Ondas Tropicais Ondas Curtas	Radiodifusão local e distante, serviços marítimos (Estações Costeiras).
30 MHz a 300 MHz	V. H. F.		Transmissão de TV, sistemas comerciais e particulares de comunicação, serviços de segurança pública (poli-cia, bombeiros, etc).
300 MHz a 3000 MHz	U. H. F.		
3 GHz a 30 GHz	S. H. F.		Comunicação pública à longa distância: sistemas interurbanos e internacionais em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite.
30 GHz a 300 GHz	E. H. F.		

E.L.F. - Extremely Low Frequency
V.L.F. - Very Low Frequency
L.F. - Low Frequency
M.F. - Medium Frequency
H.F. - High Frequency
V.H.F. - Very High Frequency
U.H.F. - Ultra High Frequency
S.H.F. - Super High Frequency
E.H.F. - Extremely High Frequency

Figura 18-19 Classificação de sistemas rádio

Principais sistemas de radiocomunicações

Num transmissor de onda contínua o sinal de saída possui sua amplitude uniforme em todos os ciclos.

Um sinal de RF desse tipo, por si só, não contém nenhuma informação útil. Entretanto é possível introduzir-lhe certas “modificações”, tornando-o capaz de “transportar” uma mensagem; por este motivo, o sinal de RF emitido pela antena de um radiotransmissor é usualmente, chamado de “Onda Portadora”.

Convém salientar que a onda portadora não é a mensagem propriamente dita, mas sim o “veículo” que leva tal mensagem para um ponto distante.

Nas últimas décadas foram desenvolvidas inúmeras técnicas para “modificar” uma onda portadora, a fim de que ela possa transportar uma informação útil. Cada uma dessas técnicas caracteriza os diversos sistemas de radiocomunicações atualmente em uso, entre os quais iremos estudar os seguintes sistemas:

Radiotelegrafia (ou CW)
Modulação em Amplitude (ou AM)
Modulação em Frequência (ou FM)
Banda Lateral Única (ou SSB)

No Sistema de Radiotelegrafia, a mensagem é transmitida sob a forma de um código pré-estabelecido.

Este tipo de transmissão (talvez o mais eficiente e seguro) é utilizado nas comunicações entre estações de radioamadores, nas comunicações entre estações de grupos comerciais (bancos, empresas de transporte aéreo e marítimo), pelos correios, etc.

No Sistema de Modulação em Amplitude ou Sistema de Amplitude Modulada (AM), a técnica empregada consiste em fazer com que a amplitude da onda portadora (sinal de RF) varie no mesmo ritmo da amplitude do sinal correspondente à informação (ou mensagem)que se quer transmitir. Aqui, a frequência da portadora não varia. Este tipo de transmissão é largamente adotado pelas emissoras de radiodifusão (Broadcasting), nas faixas de ondas médias e ondas curtas, sendo também utilizado nas comunicações entre estações de radioamadores, estações comerciais, etc.

No Sistema de Modulação em Frequência ou Sistema de Frequência Modulada (FM), a técnica utilizada consiste em fazer com que a frequência da onda portadora sofra deslocamentos num e noutro sentido, num ritmo igual à frequência do sinal correspondente à informação que se quer transmitir. Aqui, a amplitude da portadora não varia.

Este tipo de transmissão é adotado pelas estações de radiodifusão que transmitem música em alta fidelidade (transmissões monofônicas e estereofônicas).

Ele também é utilizado nas comunicações de grandes responsabilidades como nos serviços de utilidade pública (corpo de bombeiros, ambulâncias, radiopatrulhas, etc.) entre aviões e a torre de controle dos aeroportos, etc.

O Sistema de Banda Lateral Única (SSB) é uma variante do AM.

Devido às suas excelentes características, ele é usado em larga escala pelas estações de radioamadores, estações de grupos comerciais, pelos serviços de utilidade pública, etc.

Transmissão de uma onda contínua manipulada

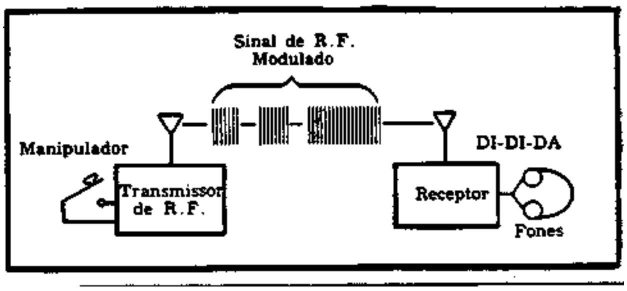


Figura 18-20 Transmissão por onda contínua

No sistema de radiotelegrafia existem vários métodos para se transmitir uma mensagem sob a forma de código.

O mais usado na prática consiste em interromper-se a portadora de RF (onda contínua) durante intervalos de tempo regulares, seguindo um código convencional.

Esse método é denominado “Manipulação da portadora”, e neste tipo de transmissão utiliza-se o “Código Telegráfico Internacional”, também conhecido por “Código Morse”, em homenagem ao cientista que o idealizou, o físico norte-americano Samuel Morse.

No código Morse, cada letra do alfabeto (A, B, C,...X, Y, Z), cada algarismo arábico (0, 1, 2,...7, 8, 9) e cada símbolo de pontuação (vírgula, ponto de interrogação, ponto de exclamação, etc.) são representados por uma combinação adequada de Traços e Pontos.

A título de ilustração, mencionamos que a letra “C” é representada por um traço, um ponto, um traço e um ponto, nessa sequência, ou seja: _ . _ .

Para se transmitir uma mensagem em código Morse, os traços e os pontos são emitidos sob a forma de grupos de ciclos (ou “trens de ondas”) com diferentes durações.

Os pontos correspondem a um grupo de ciclos com pequena duração, enquanto que os traços correspondem a um grupo de ciclos com longa duração (três vezes maior que a dos pontos). Deste modo, combinando-se grupos de pequena duração e de longa duração, é possível transmitir-se letras, algarismos e símbolos de pontuação, de modo a se formar palavras, frases, etc.

Transmissor básico de CW – Na figura 18-21 temos o diagrama em blocos, simplificado de um transmissor de CW.

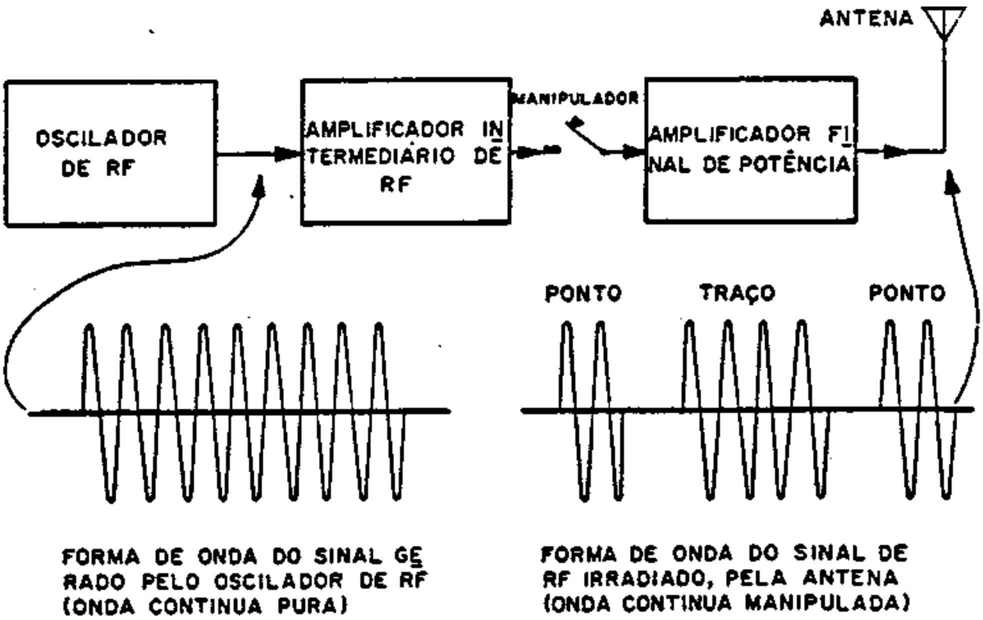

ANTENA
OSCILADOR DE RF
AMPLIFICADOR INTERMEDIÁRIO DE RF
MANIPULADOR
AMPLIFICADOR FINAL DE POTÊNCIA
PONTO
TRAÇO
PONTO
FORMA DE ONDA DO SINAL GERADO PELO OSCILADOR DE RF (ONDA CONTINUA PURA)
FORMA DE ONDA DO SINAL DE RF IRRADIADO, PELA ANTENA (ONDA CONTINUA MANIPULADA)

Figura 18-21 Diagrama de um transmissor de CW

Para se produzir os grupos de ciclos com longa ou curta duração, utiliza-se um interruptor especial chamado “Manipulador ou Chave Telegráfica”.

Quando o braço do manipulador é pressionado para baixo, os seus contatos se fecham e o transmissor irradia a portadora de RF. Dosando-se os intervalos de tempo durante os quais os contatos do manipulador permanecem abertos ou fechados, é possível transmitir-se uma mensagem em código Morse.

Na figura 18-21 também são mostradas a forma de onda do sinal produzido pelo oscilador de RF (onda contínua pura) e a forma de onda do sinal RF irradiado pela antena do transmissor.

Modulação de Amplitude (AM) – Uma onda de RF (onda contínua), cujas amplitude e frequência não variam nos ciclos sucessivos, chama-se “Onda portadora não modulada”.

Para se transmitir uma mensagem útil, vimos que é preciso “modificar” essa onda portadora.

Por exemplo, podemos interrompe-la durante intervalos de tempo regulares, tal como se faz nas transmissões em código Morse (ou CW); a figura 18-22 ilustra este processo.

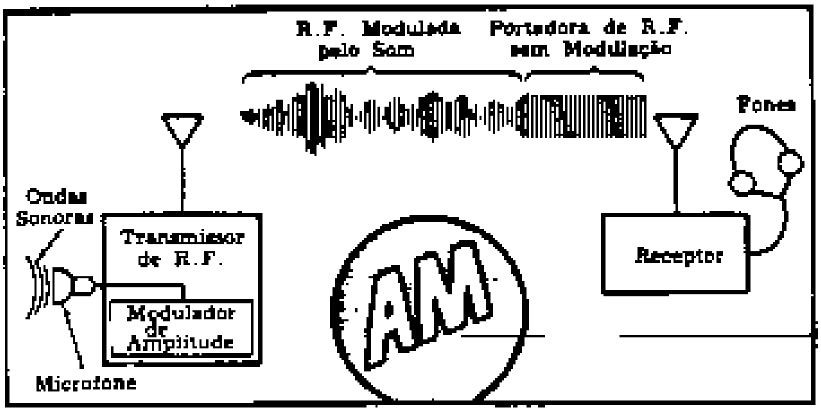

R.F. Modulada pelo Som
Portadora de R.F. sem Modulação
Fones
Ondas Sonoras
Transmissor de R.F.
Modulador de Amplitude
Microfone
AM
Receptor

Figura 18-22 Transmissão de AM

Se quisermos transmitir, pelo rádio, os sons da voz humana ou da música, deveremos "modular" a onda portadora de RF. Há várias técnicas usadas na "modulação" de uma onda portadora. Primeiramente estudaremos o processo da "Modulação em Amplitude", ou simplesmente AM (do inglês Amplitude Modulation).

A técnica utilizada no AM consiste em fazer com que a amplitude da onda portadora varie na mesma cadência da amplitude do sinal que se quer transmitir. Por outro lado, a frequência da onda portadora não se altera durante a modulação. Como sabemos, os sons (vibrações mecânicas) produzidos pela voz humana ou pelos instrumentos musicais estão na faixa das "Freqüências Audíveis" ou "Áudiofrequências (AF)". Essa faixa compreende as freqüências que vão desde 16 Hz até 20 kHz (ou 20.000 Hz).

Vamos imaginar que queremos transmitir uma nota musical de 2 kHz, produzida por um piano. Para isso, em primeiro lugar deveremos transformar as vibrações sonoras, produzidas pelo piano, num sinal elétrico de mesma frequência (2 kHz, nesse exemplo), o que será feito utilizando-se um microfone.

O processo da modulação em amplitude está ilustrado na figura 18-23.

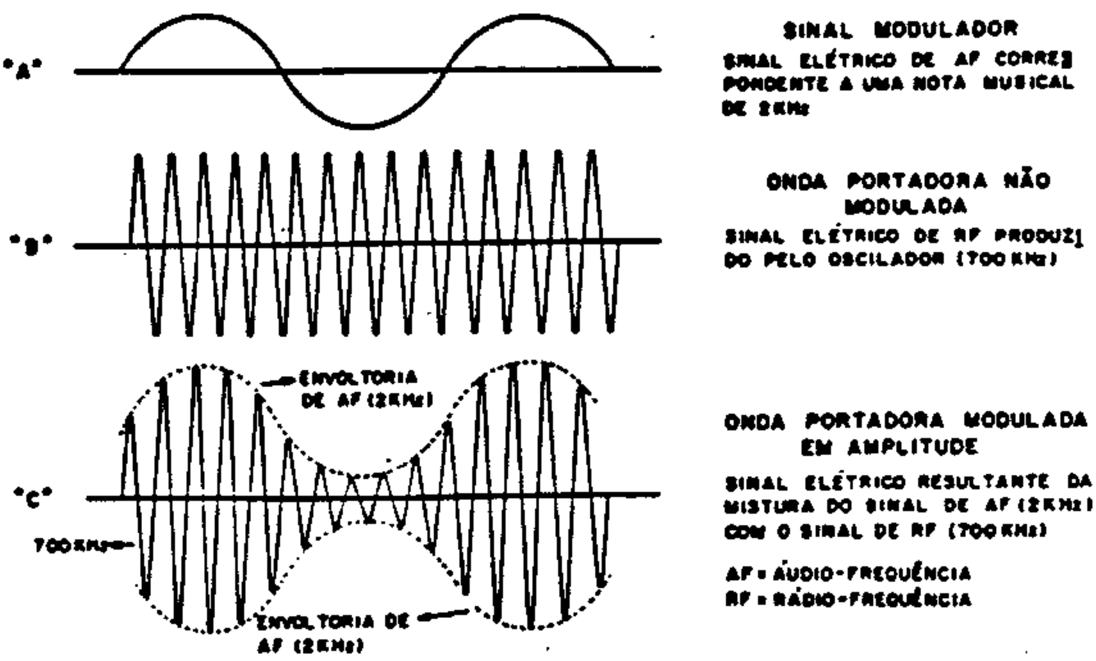

"A"
"B"
"C"
700KHz
ENVOLTORIA DE AF (2KHz)
ENVOLTORIA DE AF (2KHz)
SINAL MODULADOR
SINAL ELÉTRICO DE AF CORRESPONDENTE A UMA NOTA MUSICAL DE 2KHz
ONDA PORTADORA NÃO MODULADA
SINAL ELÉTRICO DE RF PRODUZIDO PELO OSCILADOR (700 KHz)
ONDA PORTADORA MODULADA EM AMPLITUDE
SINAL ELÉTRICO RESULTANTE DA MISTURA DO SINAL DE AF (2KHz) COM O SINAL DE RF (700 KHz)
AF = ÁUDIO-FREQUÊNCIA
RF = RÁDIO-FREQUÊNCIA

Figura 18-23 Processo da modulação em amplitude

Em "A" temos a forma de onda do sinal de AF (2 kHz), fornecido pelo microfone. Em "B" temos a forma de onda da portadora não modulada; este sinal é produzido por um oscilador de RF. Como o sinal de AF "modula" o sinal de RF, ele é denominado de "sinal modulador". Em "C" temos a forma de onda da portadora de RF (700 kHz) modulada em amplitude pelo sinal de AF (sinal modulador).

Observe que a amplitude da portadora modulada (figura "C") varia de ciclo para ciclo, sendo que esta variação é comandada pelo sinal modulador de AF.

Na figura "C", as linhas interrompidas (ou tracejadas) denominam-se "envoltórias de AF" ou "envolventes de modulação" e sua forma de onda é a mesma do sinal modulador (sinal de AF).

Em resumo, o processo da modulação em amplitude consiste em "misturar" ou "combinar" o sinal de RF com o sinal de "AF", num dispositivo eletrônico de características não lineares, ao qual damos o nome de "Modulador de AM".

Mais uma vez convém salientar que, no AM, a frequência da portadora modulada permanece constante (não varia) durante a modulação. Como essa frequência é bastante elevada (700 kHz, no exemplo dado), o sinal de RF modulado em amplitude, irá propagar-se facilmente através do espaço, podendo ser captado pela antena de um receptor situado a milhares de quilômetros do transmissor.

As envoltórias do sinal de RF, modulado, terão a mesma forma de onda do sinal modulador.

Na figura 18-24 A, reproduzimos novamente a forma de onda de um sinal de RF (700 kHz), modulado em amplitude por um sinal de AF (2 kHz).

Se fizermos uma análise mais profunda desse sinal de RF modulado, iremos verificar que ele corresponde à soma de três outros sinais de RF, os quais possuem amplitudes constantes e freqüências iguais a: 700 kHz (frequência central), 702 kHz (frequência soma), e 698 kHz (frequência diferença).

Em outras palavras, quando um sinal de RF é modulado em amplitude por um sinal de AF, além da portadora de 700 kHz, em nosso exemplo (figura 18-24 C), pela antena do transmissor também são irradiados outro a dois sinais de RF: um deles terá frequência igual à soma das freqüências dos sinais dos sinais de RF e AF, isto é, 700 kHz + 2 kHz = 702 kHz, que é chamada "Frequência Lateral Superior" (por ser maior que a frequência da portadora); o outro sinal terá frequência igual à diferença entre as freqüências dos sinais de RF e AF, isto é 700 kHz – 2 kHz = 698 kHz, que é chamada "Frequência Lateral Inferior"(por ser menor que a frequência da portadora). Esses dois sinais estão representados na figura 18-24 B e D, respectivamente.

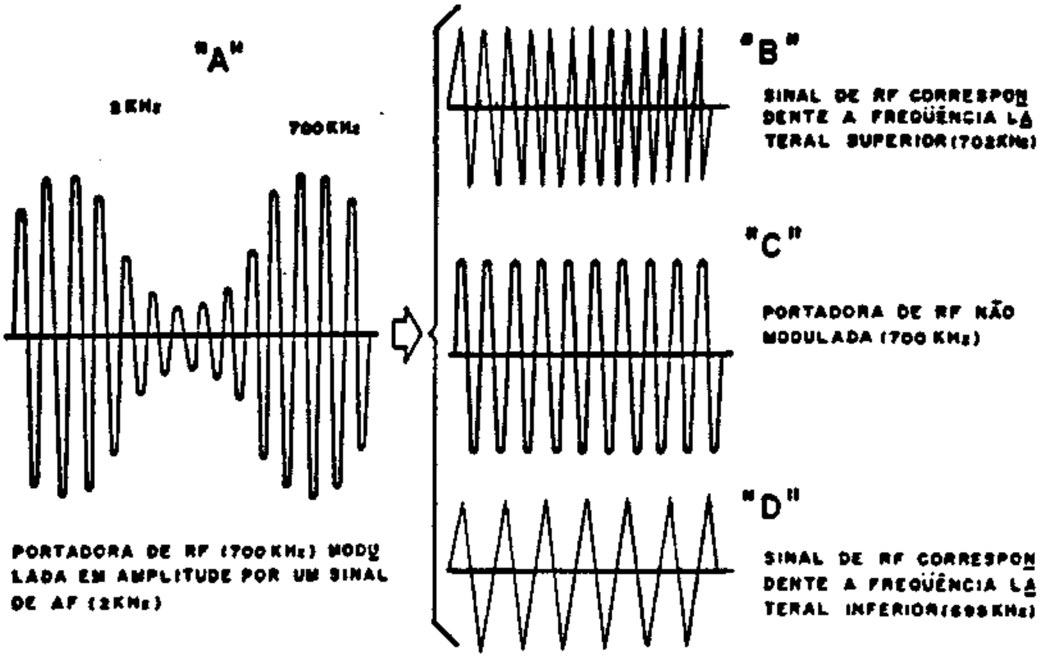

"A"
2KHz
700KHz
PORTADORA DE RF (700KHz) MODU
LADA EM AMPLITUDE POR UM SINAL
DE AF (2KHz)
"B"
SINAL DE RF CORRESPON
DENTE A FREQÜÊNCIA LA
TERAL SUPERIOR(702KHz)
"C"
PORTADORA DE RF NÃO
MODULADA (700 KHz)
"D"
SINAL DE RF CORRESPON
DENTE A FREQÜÊNCIA LA
TERAL INFERIOR(698KHz)

Figura 18-24 Forma de onda de um sinal RF

Uma outra maneira de representar o fenômeno da modulação em amplitude, descrito anteriormente, consiste no chamado "Espectro de freqüências" tal como ilustra a figura 18-25. Num eixo horizontal são marcadas as freqüências dos sinais de RF; perpendicularmente a esse eixo e através de pequenos segmentos de reta são indicadas as amplitudes relativas dos sinais de RF.

Observando o espectro de freqüências da figura 18-25, é fácil notar que quanto maior a frequência do sinal modulador tanto maior será o afastamento das freqüências laterais em relação à frequência central. Por exemplo, se a frequência do sinal modulador fosse igual a 4 kHz, as freqüências laterais (inferior e superior) seriam 696 kHz e 704 kHz, respectivamente.

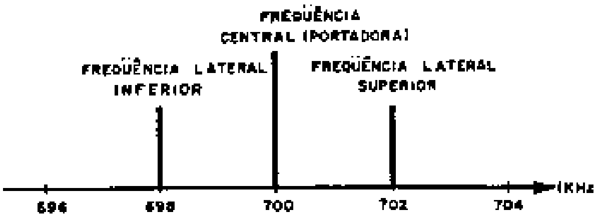


Figura 18-25 Espectro de freqüências

Modulação em SSB – Conforme estudado previamente, os componentes de um sinal de amplitude modulada padrão, são a portadora e duas freqüências laterais, espaçadas acima e abaixo da portadora numa quantidade igual a frequência do sinal de modulação.

Os sinais de amplitude modulada utilizados em “Broadcasting” padrão requerem uma faixa de passagem de 10 kHz, ou seja, admite uma frequência de áudio para modulação de no máximo 5 kHz, enquanto que os sinais de comunicação tanto militares como comerciais possuem uma faixa de passagem de 6 kHz.

As freqüências laterais que são produzidas pelo processo de modulação em amplitude, são na realidade imagens refletidas de si mesmas, e qualquer das duas pode ser modulada para obter a informação transmitida.

Admitindo-se uma frequência portadora de 100 kHz e a informação modulante (voz) de 300 a 3.000 Hz, a largura de faixa total do sistema que opera com as duas faixas laterais será de 6.000 Hz, ou seja, duas vezes a maior frequência de modulação.

Com os mesmos sinais de portadora e modulação, a largura da faixa do sistema SSB é de apenas 3.000Hz, pois neste levando-se em conta que as bandas laterais possuem as mesmas informações e que a portadora não transporta mensagem alguma, transmite-se apenas uma das bandas laterais.

Com a diminuição da largura de faixa total em SSB para a metade da largura de faixa do AM convencional, é possível aumentar para o dobro o número de canais utilizados dentro de uma mesma faixa de frequência. A figura 18-26 mostra a comparação entre os espectros de frequência do AM convencional e do SSB.

Das vantagens que um sistema SSB oferece em relação a um sistema AM destacamos:

-Economia de potência.
-Largura da faixa.
-Potência de sinal modulante.
-Sigilo nas comunicações.
-“Fading” seletivo.

Como desvantagens podemos citar:

-Usa filtros especiais tornando mais caro o equipamento.
-Utiliza modulador e demodulador especiais.
-Necessita de oscilador com alta estabilidade

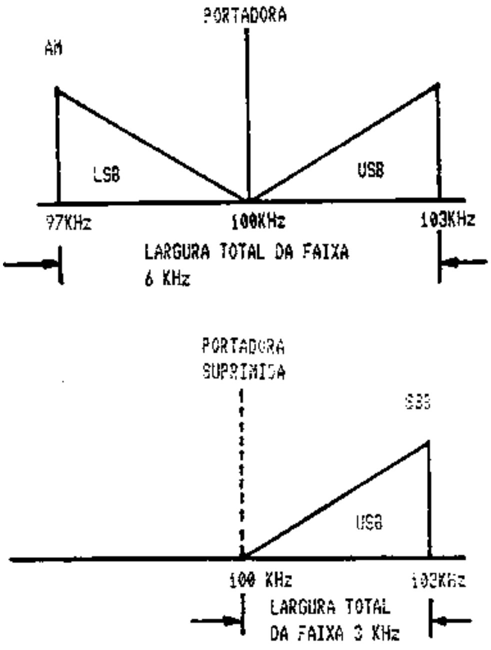

PORTADORA
AM
LSB
USB
97KHz
100KHz
103KHz
LARGURA TOTAL DA FAIXA
6 KHz
PORTADORA
SUPRIMIDA
SSB
USB
100 KHz
103KHz
LARGURA TOTAL
DA FAIXA 3 KHz

Figura 18-26 Comparação entre os espectros de freqüência do AM e do SSB

Modulação de freqüência (FM) – No sistema de AM, vimos que a amplitude da onda portadora modulada variava de acordo com a amplitude do sinal modulador.

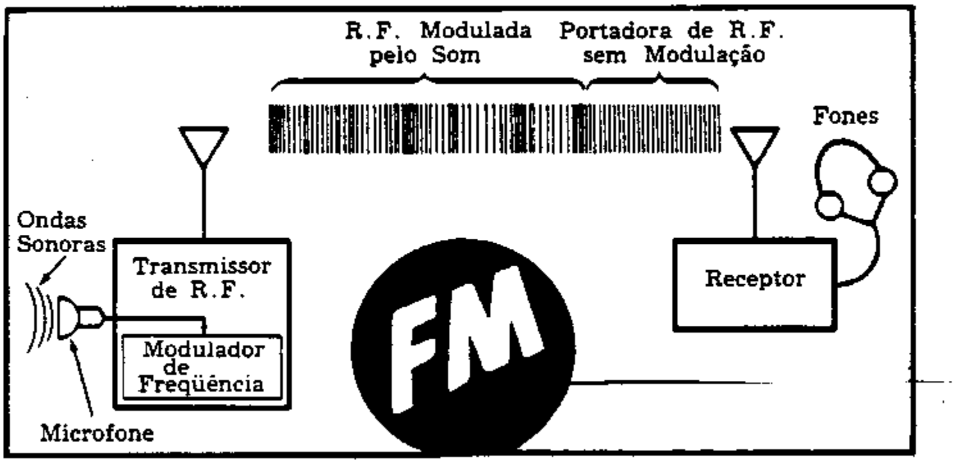

R.F. Modulada
pelo Som
Portadora de R.F.
sem Modulação
Fones
Ondas
Sonoras
Transmissor
de R.F.
Modulador
de
Freqüência
Receptor
FM
Microfone

Figura 18-27 Transmissão de FM

Quanto maior (dentro de certos limites) a amplitude do sinal modulador, tanto maior era a amplitude da onda portadora modulada. Por outro lado, durante a modulação, a freqüência daquela portadora permanecia constante (não variava).

Já no sistema de modulação em frequência (FM), podemos dizer que as coisas acontecem exatamente ao contrário. Neste sistema, a amplitude da portadora de RF permanece constante durante a modulação, enquanto que a sua frequência sobre deslocamentos (para mais e para menos) proporcionalmente à amplitude do sinal modulador.

Para entendermos melhor o processo de modulação em frequência, vamos analisar a figura 18-28.

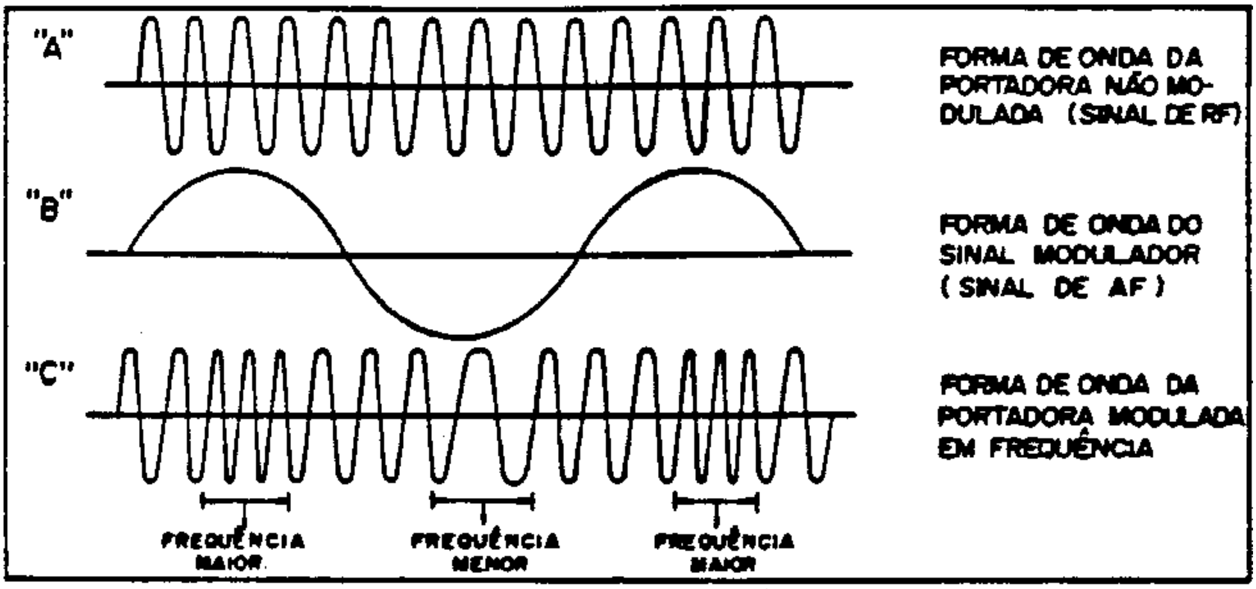

"A"
FORMA DE ONDA DA PORTADORA NÃO MODULADA (SINAL DE RF)
"B"
FORMA DE ONDA DO SINAL MODULADOR (SINAL DE AF)
"C"
FORMA DE ONDA DA PORTADORA MODULADA EM FREQUÊNCIA
FREQUÊNCIA MAIOR
FREQUÊNCIA MENOR
FREQUÊNCIA MAIOR

Figura 18-28 Modulação em freqüência

Em "A" temos a forma de onda da portadora não modulada (sinal de RF); em "B" temos a forma de onda do sinal modulador(sinal de AF) e, finalmente, em "C" podemos observar a forma de onda da portadora modulada em frequência.

Observe que o aumento e a redução da frequência da portadora de RF depende da amplitude do sinal modulador.

Durante os semiciclos positivos do sinal modulador ocorre um aumento na frequência da portadora de RF, enquanto que, durante os semiciclos negativos do sinal modulador ocorre uma diminuição na frequência da portadora de RF (Figura 18-28 C).

Por outro lado, a amplitude da portadora de RF não varia.

A "velocidade" com que a frequência da portadora de RF varia (para mais ou para menos) depende da frequência do sinal modulador: quanto maior a frequência do sinal modulador de AF, tanto mais rapidamente irá variar a frequência da portadora de RF modulada.

Se a frequência do sinal modulador for de 1 kHz (ou 1000Hz), então a frequência da portadora de RF modulada irá aumentar e diminuir do sinal modulador de AF, na razão de 1.000 vezes por segundo.

Esses "desvios" de frequência, como vemos, ocorrem sempre em relação a frequência da portadora não modulada.

PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E ANTENAS

A função de uma antena é a irradiação de energia eletromagnética no espaço. Após sua irradiação pela antena, a energia se propaga através do espaço até ser captada por uma antena receptora ou ser refletida por um objeto, como acontece com o radar.

É importante conhecer o que acontece a uma onda irradiada (sua trajetória, se é absorvida pelo solo, se é refletida pela atmosfera, etc.) para saber a distância que a onda é capaz de percorrer antes de ser captada. O estudo do que acontece a uma onda eletromagnética, após deixar a antena, é chamado "propagação das ondas".

Quando uma onda irradiada deixa a antena, parte da energia se propaga pelo solo, acompanhando a curvatura da terra e é chamada "onda terrestre". O resto da energia é irradiado pelo espaço em todas as direções. As ondas que atingem o solo entre o transmissor e o horizonte recebem o nome de "ondas espaciais". As ondas que deixam a antena em um ângulo maior do que o formado pela antena e o horizonte são as "ondas celestes" ou "ionosféricas".

A onda terrestre, as ondas espaciais e as ondas ionosféricas contêm a informação transmitida. Entretanto, em certas freqüências uma dessas ondas será muito mais eficiente na transmissão da informação do que as outras.

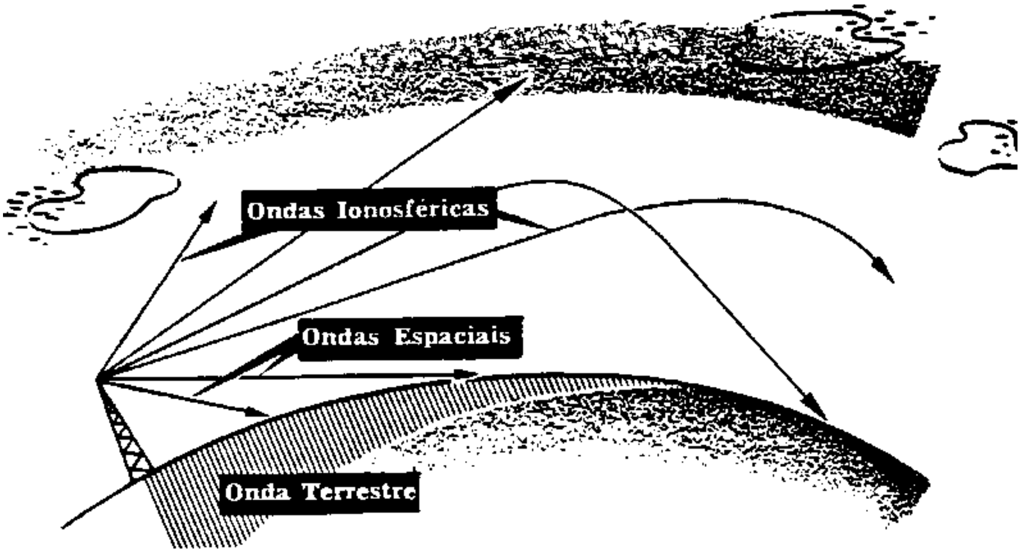


Figura 18-29 Componentes de uma onda irradiada

Na transmissão de freqüências relativamente baixas, a maior parte da energia irradiada está na onda terrestre. Como o solo é um mau condutor, a onda terrestre é atenuada rapidamente e, portanto, não é eficaz para transmissão a grandes distâncias a não ser que se utilize muita potência. As estações de rádio locais são exemplos de transmissão por meio de ondas terrestres. Nas freqüências em apreço, a irradiação efetiva está limitada a um raio de cerca de 200 quilômetros do transmissor. Em consequência, transmissores em cidades separadas por mais de 200 quilômetros de distância podem transmitir na mesma frequência, sem interferência mútua.

Ondas ionosféricas, espaciais e terrestres

À primeira vista, poderia parecer que as ondas ionosféricas não têm utilidade, propagando-se em linha reta e perdendo-se no espaço. Isto realmente pode acontecer com freqüências muito altas e, portanto, neste caso a onda ionosférica se perderá.

Contudo, abaixo de certa frequência crítica a onda ionosférica não se propaga em linha reta, e sim se dobra nas camadas superiores da atmosfera, voltando à terra. Esta onda não é propriamente refletida, como acontece, à luz quando incide em um espelho. Ela é dobrada gradualmente, descrevendo uma curva, e é, portanto, chamada "onda refratada". Esta onda assim que volta à terra, é refletida outra vez para o espaço, onde, novamente, é refratada e retorna à terra. Este processo de refração da atmosfera e reflexão da terra continua até que a atenuação completa da onda, pois a energia de uma onda irradiada diminui à medida que aumenta a distância percorrida desde a antena transmissora.

Uma antena receptora poderá captar o sinal em qualquer local que incidam as ondas refratadas. Se as ondas ionosféricas fossem irradiadas para as altas camadas da atmosfera em um único ângulo, não haveria sinal entre os pontos de incidência da onda refratada com a terra. Contudo, as ondas ionosféricas são irradiadas em todos os ângulos e, assim, a superfície terrestre (além de uma certa distância mínima da antena) é totalmente coberta por sinais de rádio.

Com o crescimento do ângulo de irradiação, chega-se a um ângulo em que a onda deixa de ser refratada e continua a se propagar pelo espaço. Em consequência, há uma zona em torno da antena que não é alcançada por ondas refratadas.

A onda terrestre só é eficiente para pequenas distâncias. Portanto, a zona entre a máxima distância de irradiação efetiva da onda terrestre e o ponto em que a primeira onda ionosférica volta à terra é uma área sem sinais de rádio chamada “Zona de Silêncio”.

A freqüência crítica, isto é, a freqüência acima da qual não há retorno das ondas ionosféricas, depende de numerosos fatores, tais como a hora do dia, a época do ano, as condições meteorológicas, etc.

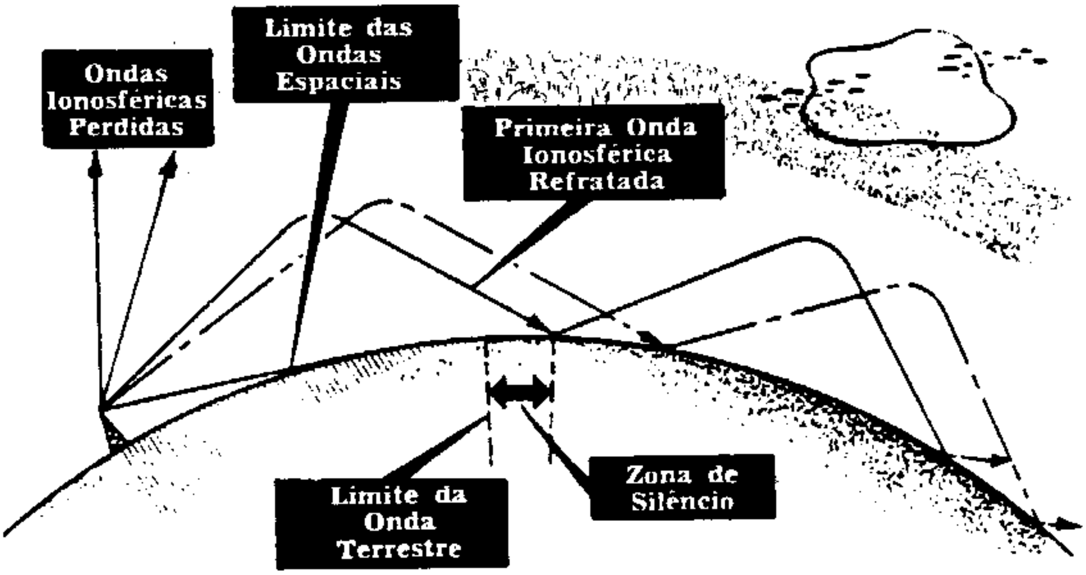

Ondas Ionosféricas Perdidas
Limite das Ondas Espaciais
Primeira Onda Ionosférica Refratada
Limite da Onda Terrestre
Zona de Silêncio

Figura 18-30 Ondas ionosféricas, espaciais e terrestres

Como resultado, algumas vezes são estabelecidas comunicações a grandes distâncias, por meio de freqüências que normalmente não apresentam ondas de retorno.

Ondas diretas e desvanecimento (“*Fading”)

Em freqüências superiores à frequência crítica, a onda terrestre e a onda ionosférica não podem ser usadas para transmissão. Nessas freqüências elevadas, a onda terrestre é atenuada rapidamente e a onda ionosférica não sofre refração e não volta à terra.

Como resultado, a única onda irradiada que pode ser usada para transmissão nessas freqüências é a que se propaga em linha reta da antena transmissora para a receptora. Este tipo de transmissão é chamado “Transmissão de horizonte ótico”, e a onda irradiada é uma “onda direta”.

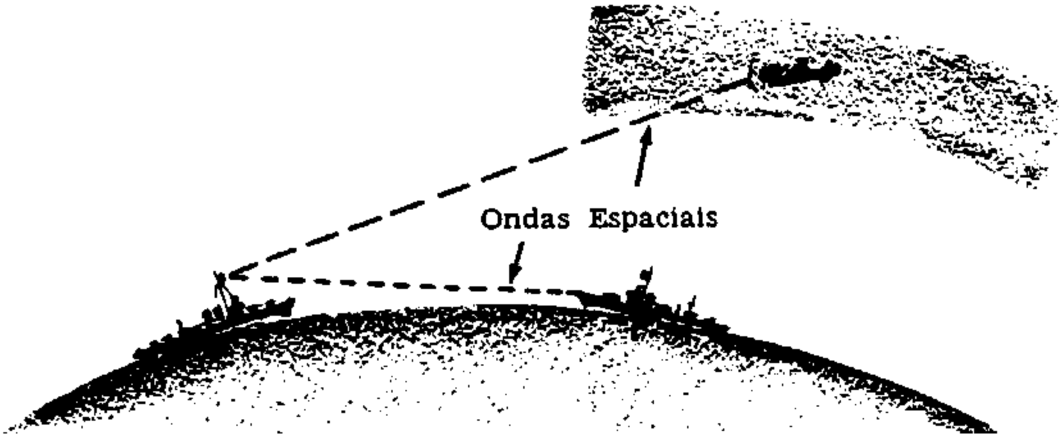


Figura 18-31 Transmissão de horizonte ótico

Este sistema de transmissão é usado em radar para a detecção de aviões e na comunicação entre navio e avião.

As freqüências usadas são geralmente superiores a 30 MHz. Às vezes, uma antena receptora capta dois sinais provenientes da mesma antena transmissora e que percorreram caminhos diferentes, por exemplo: um sinal pode ser recebido diretamente da antena transmissora e o outro ser refletido por um objeto, digamos um avião.

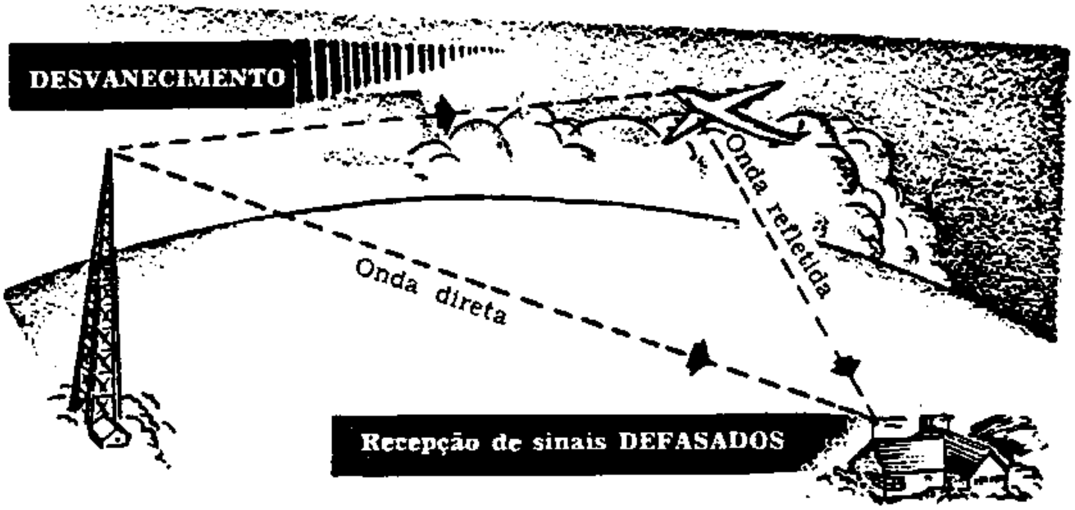

DESVANECIMENTO
Onda refletida
Onda direta
Recepção de sinais DEFASADOS

Figura 18-32 Desvanecimento

Como o comprimento relativo dos caminhos está variando constantemente, os dois sinais ora estarão em fase, ora defasados, e haverá a tendência de um anular ou reforçar o outro. O resultado é uma variação na intensidade do sinal que chega ao receptor, denominada desvanecimento ("Fading").

FINALIDADE DE UMA ANTENA

A finalidade de uma antena transmissora é converter a energia entregue à linha de transmissão em uma onda chamada "onda eletromagnética". Esta onda tem a propriedade peculiar de se propagar através do espaço sem o auxílio de fios.

Todas as antenas funcionam segundo o mesmo princípio – a corrente na antena cria um campo eletromagnético que deixa a antena e se propaga sob a forma de uma onda eletromagnética..

Estudaremos agora as antenas projetadas para transmissão.

As antenas transmissoras trabalham em freqüências muito mais elevadas do que as da rede de distribuição industrial, e atuam com muito maior eficiência (quanto à irradiação).

Contudo, é sempre a corrente na antena que produz o campo eletromagnético a ser irradiado.

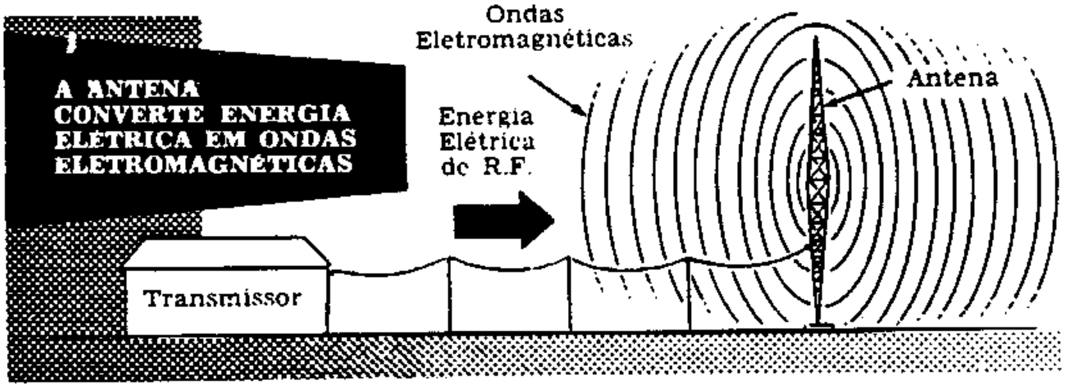

A ANTENA CONVERTE ENERGIA ELÉTRICA EM ONDAS ELETROMAGNÉTICAS
Ondas Eletromagnéticas
Antena
Energia Elétrica de R.F.
Transmissor

Figura 18-33 Antena transmissora

Você pode observar um exemplo interessante da ação de uma antena, tocando com o dedo o terminal de entrada vertical de um osciloscópio.

Você verá na tela do aparelho uma forma de onda de 60 Hz, que, evidentemente, provém do seu corpo.

O que realmente acontece é que o seu corpo capta ondas eletromagnéticas de 60 Hz que são irradiadas pelas redes que conduzem correntes de 60 Hz.

Estas linhas agem como antenas transmissoras, embora não sejam projetadas para a finalidade em apreço.

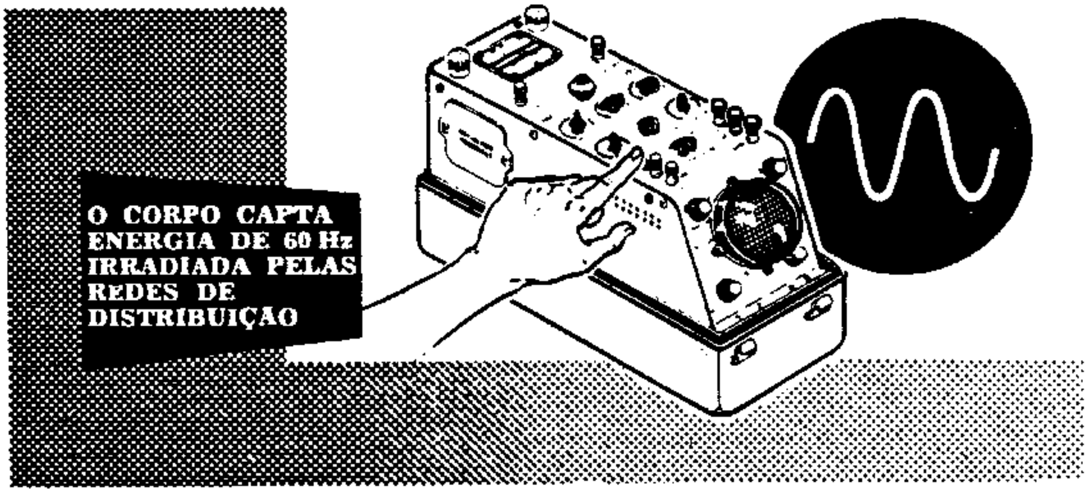

O CORPO CAPTA
ENERGIA DE 60 Hz
IRRADIADA PELAS
REDES DE
DISTRIBUIÇÃO

Figura 18-34 Teste de captação de energia pelo próprio corpo

Funcionamento da antena

Quando os fios de uma linha de transmissão aberta são dobrados em ângulo reto com a linha, em um ponto distante um quarto de comprimento de onda do extremo aberto, forma-se uma antena simples conhecida como “Dipolo de meia onda” (“doublet”) ou “Antena Hertz”.

A distribuição de tensão e corrente na antena é igual à da linha de transmissão original.

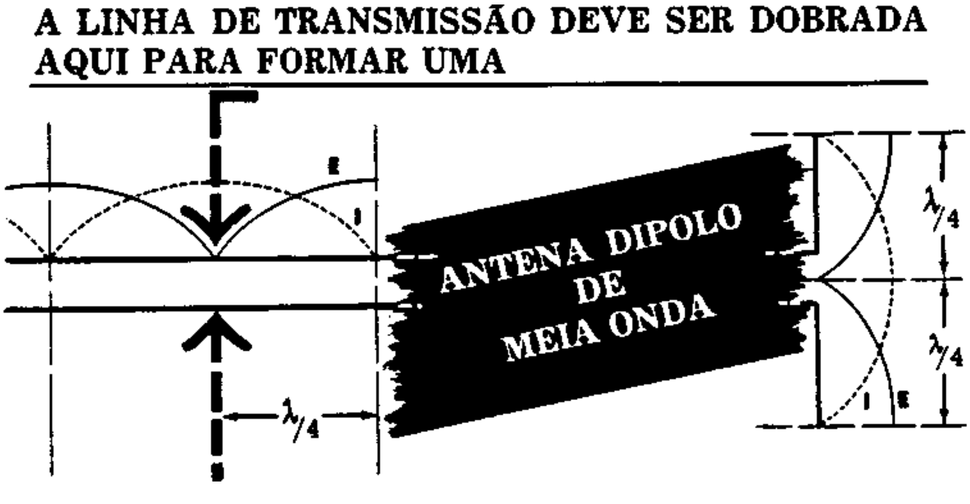

A LINHA DE TRANSMISSÃO DEVE SER DOBRADA
AQUI PARA FORMAR UMA
ANTENA DIPOLO
DE
MEIA ONDA
E
I
λ/4
λ/4
λ/4
I
E

Figura 18-35 Antena dipolo de meia onda

Embora os potenciais de dois pontos quaisquer dos fios da antena (e também da linha de transmissão), eqüidistantes dos extremos tenham amplitudes iguais, suas polaridades são opostas, tal como acontece com os extremos de um enrolamento de transformador, cujos potenciais têm amplitudes iguais e polaridade opostas. O mesmo é válido para a corrente. Portanto, para indicar a polaridade e a amplitude nos fios que compõem a linha de transmissão e a antena, as formas de onda são desenhadas conforme a figura 18-36.

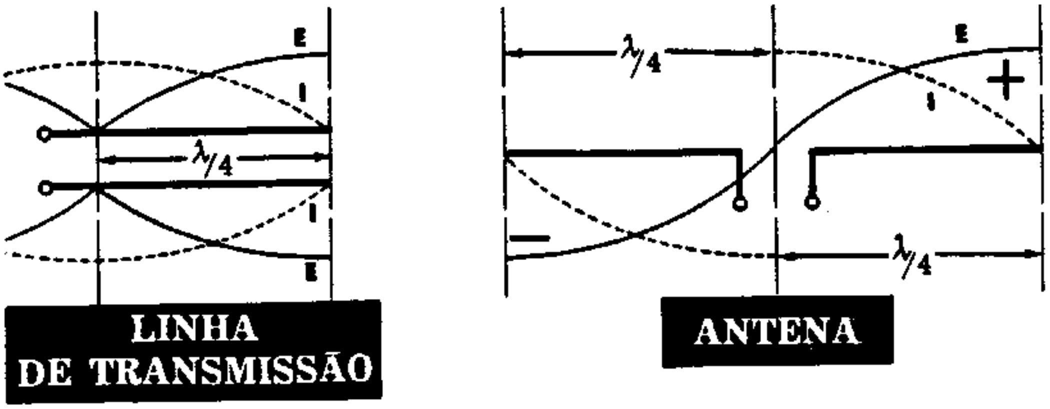


Figura 18-36 Formas de onda mostrando a polaridade e a amplitude

Observe que as ondas estacionárias de tensão e de corrente indicam que os extremos da antena são pontos de tensão máxima e de corrente mínima, enquanto que no centro da antena a corrente é máxima e a tensão é mínima.

Sempre que há uma diferença de potencial entre dois pontos, estabelece-se um campo elétrico entre eles. Você aprendeu em Eletricidade básica que, quando um capacitor se carrega, uma placa fica positiva e a outra negativa. Em consequência, estabelece-se um campo elétrico entre as placas do capacitor, no sentido da placa carregada positivamente, de acordo com a figura 18-37. Da mesma forma, a diferença de potencial entre os dois fios de uma antena também gera um campo elétrico com a forma e o sentido mostrados abaixo.

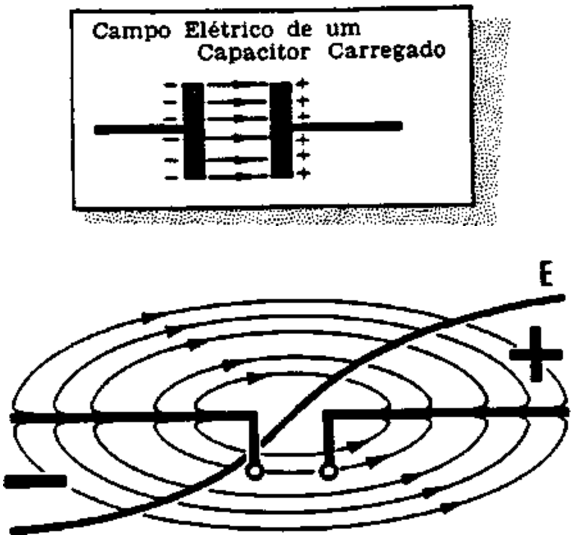


Figura 18-37 Campo elétrico em torno de uma antena

Além deste campo elétrico, há também um campo magnético gerado pela corrente na antena. O plano deste campo magnético é perpendicular à direção da corrente e, portanto, à antena.

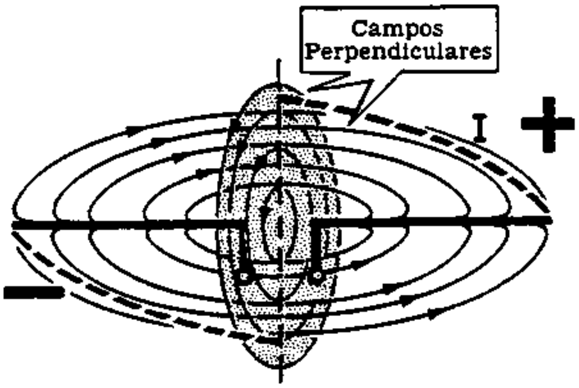


Figura 18-38 Campo magnético em torno de uma antena

Os campos elétrico e magnético são, assim, perpendiculares.

O campo elétrico e o magnético se alternam em torno da antena, crescendo, atingindo o valor máximo, entrando em colapso e crescendo novamente em sentido oposto, na mesma frequência da corrente da antena.

Neste processo de crescimento e de extinção, estes campos dão origem às ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço, conduzindo a informação transmitida aos receptores distantes.

ANTENAS BÁSICAS

O dipolo de meia onda ou antena Hertz é um tipo de antena básica de ampla aplicação em muitos tipos de equipamentos transmissores e receptores.

Outra antena básica é a vertical de um quarto de onda com extremo ligado à terra (massa), também conhecida como “Antena Marconi”. Se um dos elementos de uma antena

Hertz for removido e o fio que estava preso a ele for ligado à terra, o resultado será uma antena Marconi. Realmente a antena toma o lugar de um dos elementos de um quarto de onda, de modo que a terra e o elemento de um quarto de onda restante formam efetivamente um dipolo de meia onda.

A figura 18-39 mostra os pontos de corrente máxima e tensão mínima na base da antena.

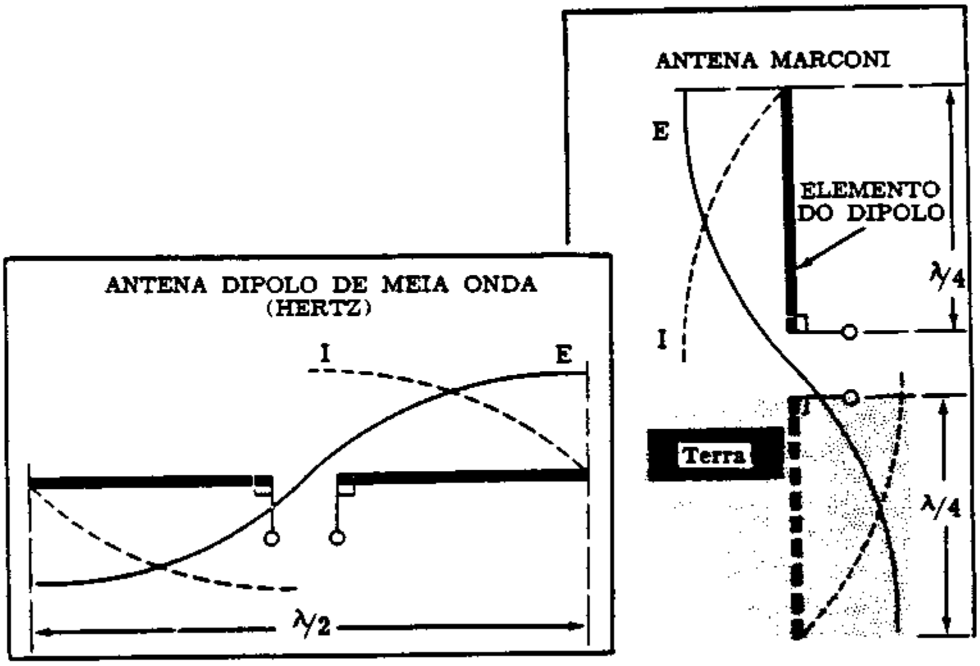


Figura 18-39 Antenas básicas

Quando se usa uma antena Marconi, o solo diretamente sob a antena deve ser um bom condutor elétrico. Algumas vezes são enterrados tubos de cobre na base da antena para melhorar a condutividade do solo.

Nos navios, uma antena vertical de um quarto de onda pode ficar um pouco acima do convés. Pode-se simular uma terra com vergalhões metálicos ligados à massa, pelo menos com um comprimento de um quarto de onda, colocados na base da antena. Esta terra simulada é chamada "Plano de terra" (antigamente chamava-se "contrapeso").

Como uma antena dipolo de um quarto de onda tem fisicamente a metade do comprimento de uma antena de meia onda ligada à terra, é quase sempre preferida nas baixas freqüências (grandes comprimentos de onda), especialmente quando há limitações de espaço para a montagem da antena.

Nas altas freqüências, o dipolo de meio comprimento de onda é amplamente usado porque, embora seja maior do que a antena de um quarto de onda, seu comprimento total será pequeno, e ele pode ser feito de tubos metálicos auto-sustentáveis.

Resistência de irradiação

Em uma antena dipolo de meia onda, a tensão no centro é mínima (praticamente nula), enquanto que a corrente é máxima.

Você deve lembrar que a tensão no circuito em série de ressonância é mínima quando a corrente através dele é máxima. Em seu centro, um dipolo de meia onda equivale a um circuito ressonante em série, quando opera na frequência correta.

Um gerador que fornece energia a um circuito ressonante em série trabalha com resistência pura, pois XL e XC se anulam – a resistência é, praticamente a oferecida pelo fio da bobina.

Da mesma forma, quando um dipolo de meia onda é ligado a uma linha de transmissão, ela trabalha com resistência pura. Esta resistência compreende a resistência do fio e a chamada "resistência de irradiação".

A resistência do fio é desprezível, e, assim, só se considera a resistência de irradiação.

Entretanto, a resistência de irradiação não é uma resistência real.

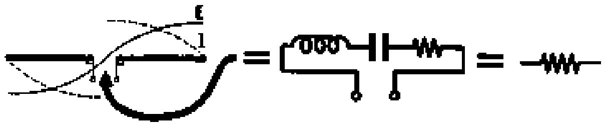


Figura 18-40 Resistência de irradiação

É, antes, uma resistência equivalente que, se fosse ligada em lugar da antena, dissiparia a mesma quantidade de energia que a antena irradia pelo espaço.

O valor da resistência de irradiação pode ser determinado com a fórmula de potência R = P/I^2, onde “P” é a energia irradiada pela antena e “I” é igual à intensidade da corrente no centro da antena.

Para um dipolo de meia onda, a resistência de irradiação é de aproximadamente 73 Ohms, medida no centro da antena.

Este valor é praticamente constante para dipolos de meia onda trabalhando em qualquer freqüência.

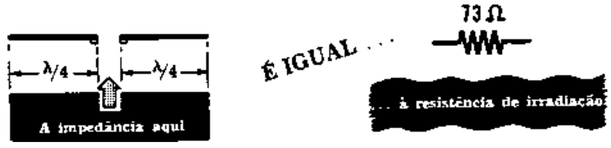


Figura 18-41 Resistência de irradiação

Impedância da antena

Como um dipolo de meia onda atua como um circuito ressonante em série, ele pode apresentar propriedades indutivas ou capacitivas, à medida que varia a frequência da R.F. aplicada à antena.

Quando a frequência da R.F. é a correta, o dipolo tem exatamente meio comprimento de onda e é ressonante em série: sua impedância é puramente resistiva e igual à resistência de irradiação.

Em transmissão, sempre é desejável que a antena ofereça uma carga resistiva à linha de transmissão, de modo que o máximo de energia seja absorvido e irradiado pela antena.

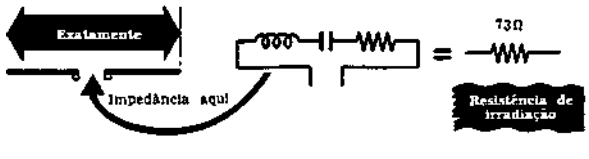


Figura 18-42 Irradiação máxima de energia

Quando a frequência do transmissor se eleva, a antena torna-se maior do que meio comprimento de onda. O circuito em série está, então, operando em uma frequência superior à sua frequência de ressonância. Nesta frequência aplicada, a reatância indutiva é maior do que a reatância capacitiva e a antena é “vista” pelo transmissor como uma carga “indutiva”.

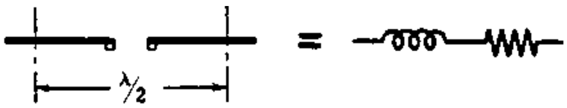


Figura 18-43 Dipolo Maior, visto como Indutivo

Quando a frequência do transmissor é reduzida, a antena torna-se ligeiramente menor do que meio comprimento de onda. O circuito em série está, então, operando em uma frequência inferior à sua frequência de ressonância.

A reatância capacitiva é maior do que a reatância indutiva e a antena é “vista” pelo transmissor como uma carga “capacitiva”.

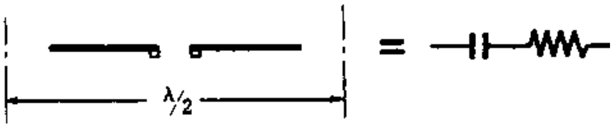


Figura 18-44 Dipolo Menor, visto como Capacitivo

Sintonia da antena

Você aprendeu que quando a frequência do transmissor varia, também variam o comprimento elétrico da antena e a impedância em sua entrada.

Você também sabe que é desejável que a impedância da antena seja resistiva para todas as freqüências do transmissor (para o máximo de energia irradiada), e, para tanto, a antena pode ser posta em ressonância pela adição de indutores ou capacitores para efetivamente aumentar ou diminuir o seu comprimento elétrico.

Por exemplo, se uma antena vertical de quarto de onda, com extremo à terra, for mais curta do que um quarto de comprimento de onda, a impedância de entrada em sua base será resistiva e capacitiva.

O comprimento da antena pode ser aumentado eletricamente (para torna-la ressonante) pela adição de um indutor com o valor correto para anular o efeito da capacitância, tornando a antena resistiva.

O indutor deve ser ligado em série com a antena, em sua base, de acordo com a figura 18-45.

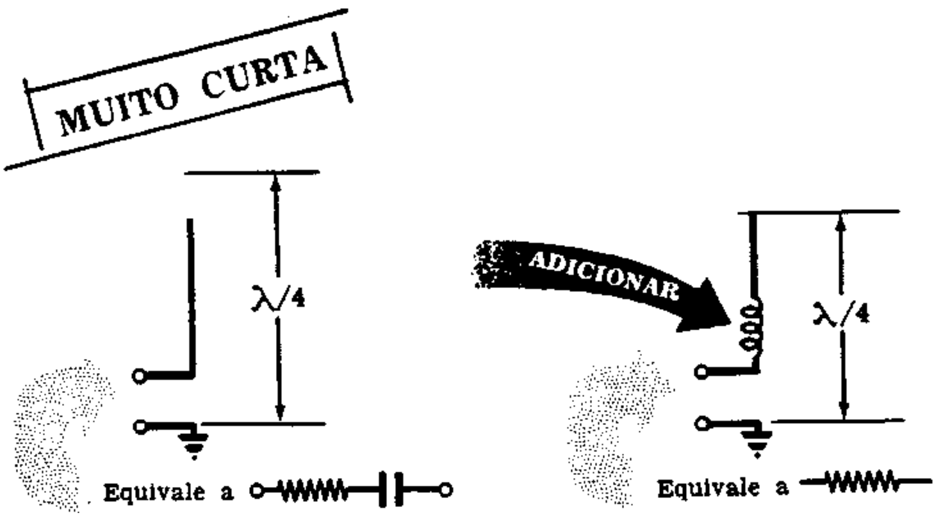


Figura 18-45 Sintonizando uma antena Marconi

Se uma antena vertical de quarto de onda, com extremo à terra, tiver comprimento maior do que um quarto de onda, a impedância de entrada na base será resistiva e indutiva. O comprimento elétrico da antena pode ser diminuído com um capacitor de valor adequado, para anular o efeito da indutância, tornando a antena resistiva.

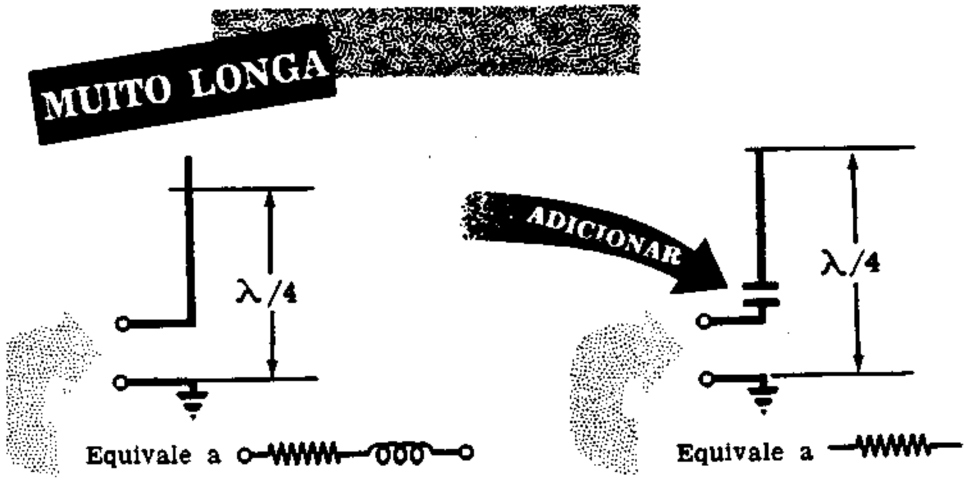


Figura 18-46 Anulando o efeito da indutância

Os transceptores usados nas comunicações podem fazer uso de acopladores automáticos de antena que fornecem o casamento automático de impedância da antena com a saída do transmissor.

Diagrama de irradiação

Quando uma antena irradia ondas eletromagnéticas, a irradiação é mais forte em algumas direções do que em outras.

A antena é considerada direcional ao longo da linha de irradiação mais intensa, que é perpendicular à parte de corrente máxima na antena. Se estas leituras forem usadas para fazer um gráfico em três dimensões, as curvas obtidas constituirão o diagrama de irradiação da antena. O diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda disposta horizontalmente tem o formato mostrado na figura 18-47.

Observe que a parte mais espessa do diagrama está em um plano perpendicular ao centro da antena. Neste plano ocorre o máximo de irradiação. A parte mais delgada do diagrama está ao longo do seu eixo que corresponde à linha de irradiação máxima.

Girando-se a antena 90 graus, em um plano vertical, a irradiação máxima tem lugar em um plano horizontal.

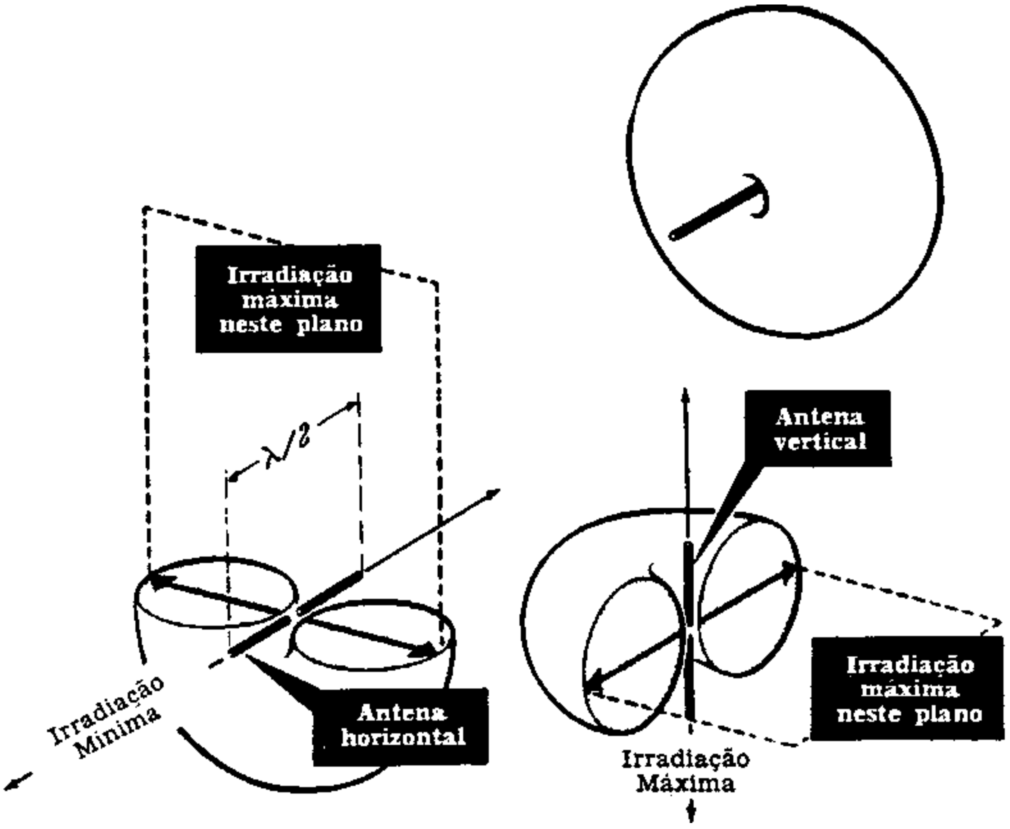

Irradiação máxima neste plano
λ/2
Irradiação Mínima
Antena horizontal
Antena vertical
Irradiação máxima neste plano
Irradiação Máxima

Figura 18-47 Diagrama de irradiação do dipolo de meia onda

A figura 18-47 ilustra o caso em que a antena está isolada no espaço, afastada da terra. Na prática, a antena fica próxima do solo, de modo que o padrão de irradiação se altera apreciavelmente.

Diagramas polares

A variação da intensidade de um sinal ao redor da antena pode ser representada graficamente por meio dos diagramas polares como na figura 18-48.

A distância zero se supõe encontrar no centro do gráfico que indica o centro da antena e as circunferências dos círculos tangentes se expressam em graus.

Os valores calculados ou medidos de intensidade de campo podem ser representados radialmente numa forma que mostra tanto a magnitude como a direção para determinada distância a partir da antena.

As intensidades de campo no plano vertical se representam sobre diagramas polares semicirculares (não indicados na figura) e são conhecidos como "diagramas polares verticais".

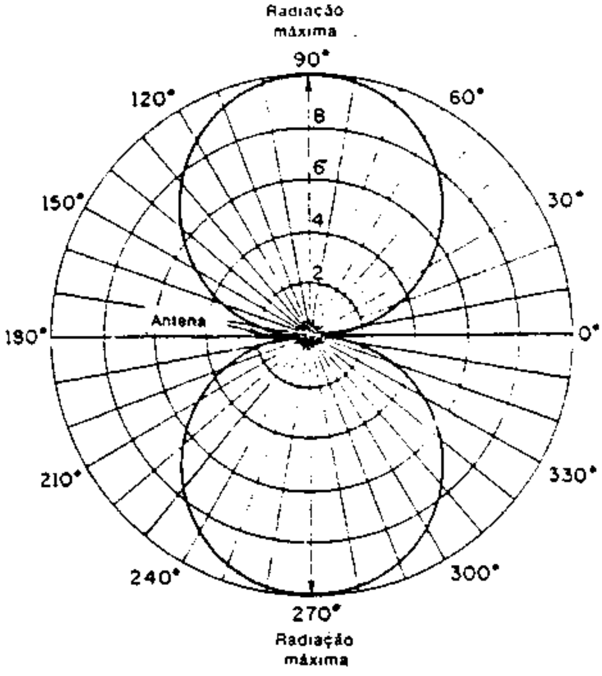


Figura 18-48 Diagramas polares

A figura 18-49 apresenta alguns tipos de antenas usadas em aeronaves.

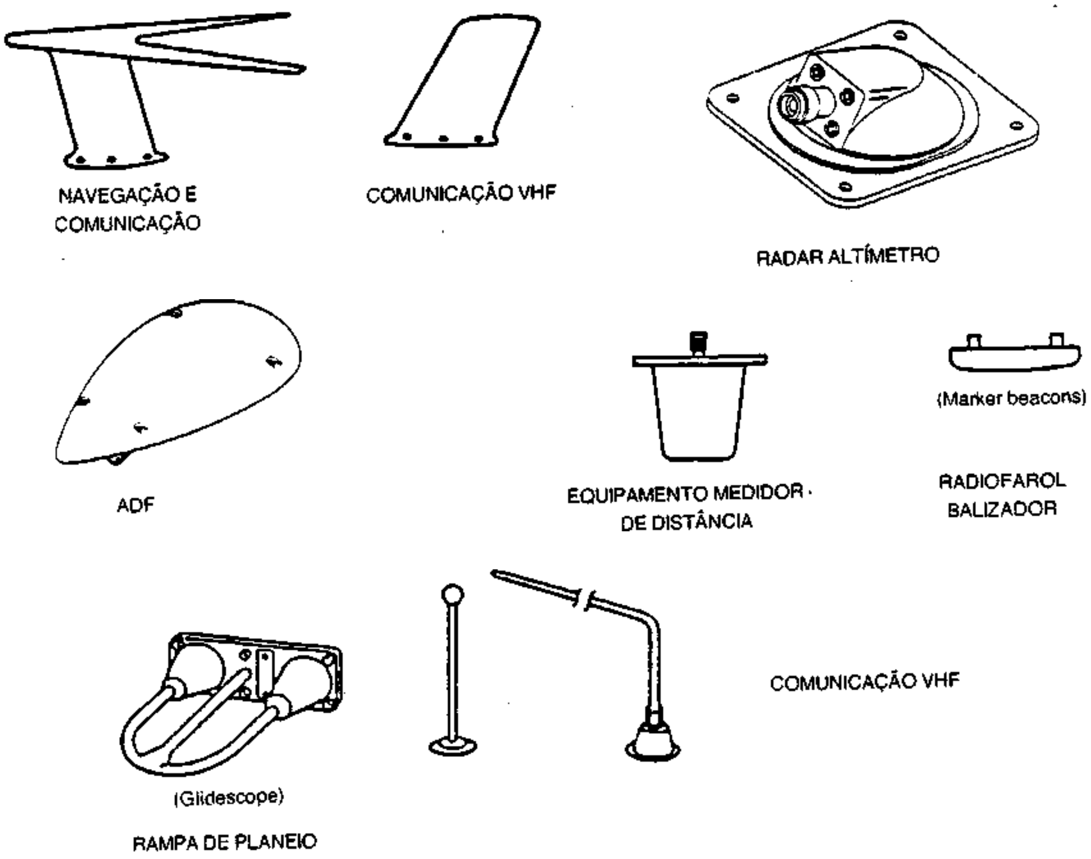


Figura 18-49 Tipos de antenas de aeronaves

SISTEMAS DE INTERCOMUNICAÇÃO

Sistema integrado de áudio

O sistema integrado de áudio tem as seguintes finalidades: selecionar, amplificar e distribuir os sinais de áudio, dos receptores, aos fones e alto-falantes; comunicação entre a cabine de comando e equipes de manutenção, através do interfone de rampa; comunicação entre os tripulantes, através do interfone de cabine, comunicação entre tripulantes e passageiros, controle do nível dos sinais de áudio, interconexão do microfone com os transmissores, apresentação simultânea de alarmes sonoros com o sistema geral de alarmes e fornecimento de sinais de áudio para o gravador de voz da cabine.

Descrição e localização dos componentes:
1 – Dois painéis de controle de áudio (CP) instalados no painel principal e mais um opcional.
2 – Uma unidade eletrônica remota (VER), instalada no compartimento eletrônico.
3 – Dois interruptores PTT / HOT MIC, instalados nos manches.
4 – Fones e "Jack" de fones, instalados nos consoles laterais e dois alto-falantes, instalados no teto da cabine de comando.

Painel de controle de áudio (ACP) – Os painéis de controle de áudio, um localizado no lado esquerdo do painel de instrumentos (piloto) e o outro localizado no lado direito (co-piloto), proporcionam, independentemente, as seguintes finalidades:

a) Teclas seletoras de microfone.
b) Botões de áudio dos receptores.
c) Botão seletor de sensibilidade do Marker Beacon.
d) Botão de filtro.
e) Botão seletor de microfone e controle de volume principal.
f) Botões seletores dos receptores de Marker Beacon.
g) Botão de seleção do modo automático.
h) Botão do modo emergência.
i) Botão dos alto-falantes.
j) Botão de chamada da atendente.

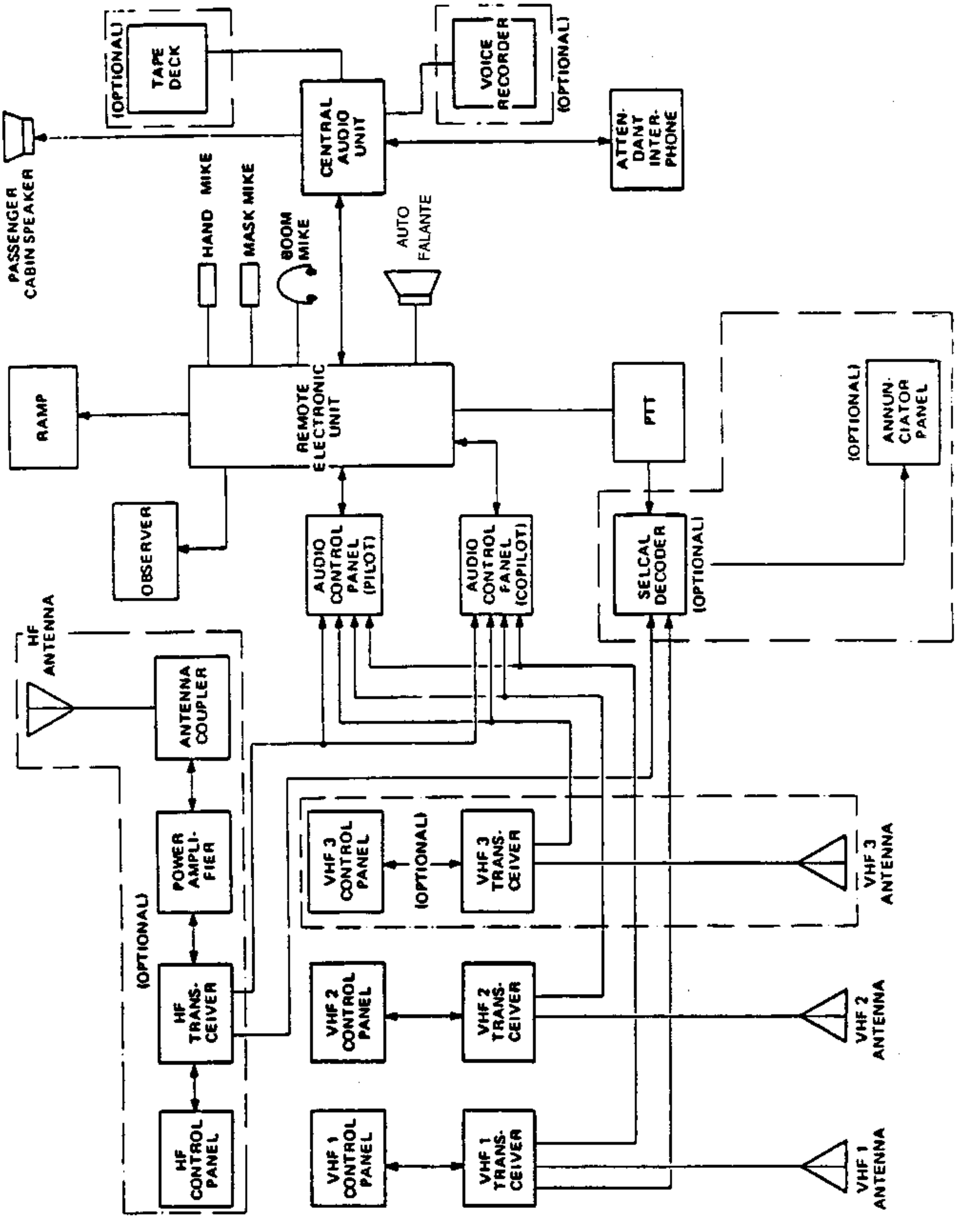

(OPTIONAL)
TAPE DECK
CENTRAL AUDIO UNIT
VOICE RECORDER
(OPTIONAL)
ATTEN-DANT INTER-PHONE
PASSENGER CABIN SPEAKER
HAND MIKE
MASK MIKE
BOOM MIKE
AUTO FALANTE
RAMP
REMOTE ELECTRONIC UNIT
PTT
(OPTIONAL)
ANNUN-CIATOR PANEL
OBSERVER
AUDIO CONTROL PANEL (PILOT)
AUDIO CONTROL FANEL (COPILOT)
SELCAL DECODER
(OPTIONAL)
HF ANTENNA
ANTENNA COUPLER
POWER AMPLI-FIER
(OPTIONAL)
HF TRANS-CEIVER
HF CONTROL PANEL
VHF 3 CONTROL PANEL
(OPTIONAL)
VHF 3 TRANS-CEIVER
VHF 3 ANTENNA
VHF 2 CONTROL PANEL
VHF 2 TRANS-CEIVER
VHF 2 ANTENNA
VHF 1 CONTROL PANEL
VHF 1 TRANS-CEIVER
VHF 1 ANTENNA

Figura 18-50 Sistema integrado de áudio

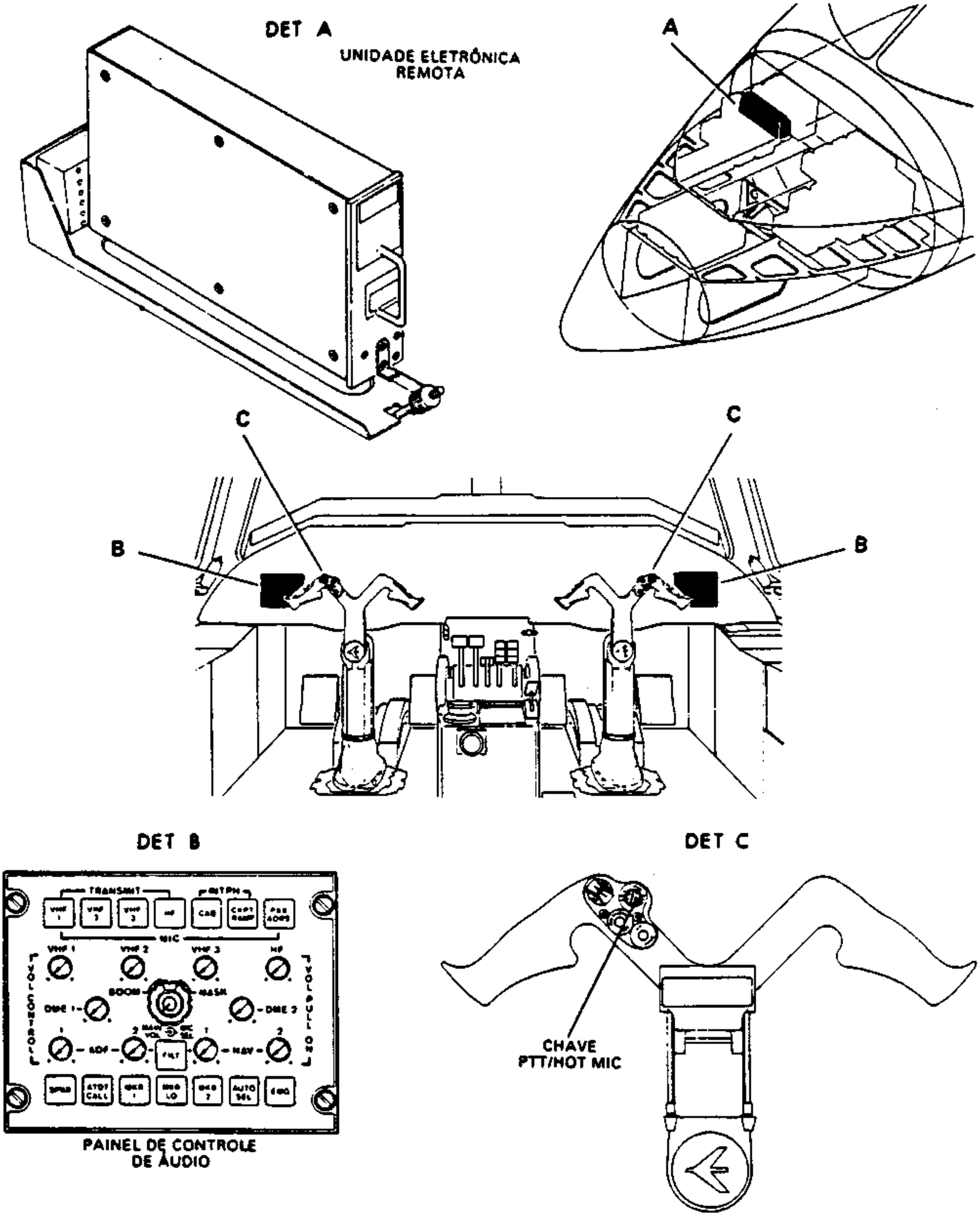

DET A
UNIDADE ELETRÔNICA REMOTA
A
C
C
B
B
DET B
TRANSMIT
INTPH
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
CAB
CKPT RAMP
PSS ADRS
MIC
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
VOL CONTROL
VOL PULL ON
BOOM
MASK
DME 1
DME 2
1
2
ADF
MAN VOL
REC SEL
FILT
1
2
NAV
SPKR
ATDT CALL
MKR 1
MKR LO
MKR 2
AUTO SEL
EMG
PAINEL DE CONTROLE DE ÁUDIO
DET C
CHAVE PTT/HOT MIC

Figura 18-51 Localização dos componentes do sistema integrado de áudio

a)Teclas Seletoras de Microfone

Localizadas ao longo da parte superior do painel, são teclas do tipo INTERLOCK e permitem a seleção das seguintes funções: VHF1, VHF2, VHF3, HF, CABIN, CKPT RAMP e PAX ADDRS.

Quando pressionada, cada tecla atua do seguinte modo:

- VHF1: O microfone é conectado ao VHF1.
- VHF2: O microfone é conectado ao VHF2.
- VHF3: O microfone é conectado ao VHF3.
- HF: O microfone é conectado ao HF.
- CAB: Possibilita a comunicação com a atendente.
- CKP RAMP: Possibilita a comunicação com o operador de solo.
- PAX ADDRS: Possibilita a comunicação com a cabine.

b) Botões seletores de Áudio dos receptores

Localizados na parte central do painel de controle, estes botões são do tipo PULL-ON / PUSH-OFF (combinado com um supressor de ruído) que ligam ou desligam os seguintes receptores e controlam seus respectivos sinais de áudio: VHF1, VHF2, DME1, DME2, ADF1, NAV1, NAV2. Os botões VHF3, HF e ADF2 são opcionais.

c) Botão de sensibilidade do Marker Beacon

Localizado na parte central inferior do painel de controle, este botão é do tipo de ação momentânea e, quando pressionado, permite a mudança de sensibilidade do receptor de Marker Beacon selecionado.

d) Botão Filtro (FILT)

Localizado na parte central inferior do apinel de controle, entre os botões seletores de áudio dos receptores NAV1 e ADF2, este botão é do tipo PUSH-ON / PUSH-OFF e, quando atuado, o sinal de identificação de 1020 Hz, associado aos sinais de NAV e ADF é filtrado, deixando passar somente os sinais de voz.

e) Botão Seletor de Microfone e Controle Principal de Volume

Localizado na parte central do painel de controle, este botão é a combinação de dois botões.

O botão externo é do tipo rotativo, para seleção do microfone da máscara de oxigênio ou microfone labial.

O botão interno é um potenciômetro para o controle principal de volume.

f) Botões Seletores dos Receptores do Marker Beacon

Localizados na parte inferior do painel de controle, estes botões são do tipo PUSH-ON / PUSH-OFF e selecionam o áudio dos receptores Marker 1 e Marker 2.

g) Botão do Modo Automático (AUTO-SEL)

Localizado no lado direito inferior do painel de controle, este botão é do tipo PUSH-ON / PUSH-OFF e, quando pressionado, possibilita a seleção automática do receptor correspondente ao transmissor selecionado.

Neste caso, somente é possível, o controle individual de volume, dos receptores.

h) Botão do Modo Emergência (EMERG)

Localizado na parte inferior direita do painel de controle, este botão do tipo PUSH-ON / PUSH-OFF, quando pressionado, em caso de falha de um canal de áudio, proporciona uma conexão em paralelo com o outro canal, para os fones e conexão do microfone para o VHF (VHF1 para o piloto e VHF2 para o lado do co-piloto).

As atuações do botão de emergência em ambos os lados (canais) ou a perda de energia em ambos, proporciona a conexão do microfone e fones do piloto para o VHF1 e ADF1 e o do co-piloto para o VHF2 e NAV1.

i) Botão do Alto-falante (SPKR)

Localizado na parte inferior esquerda do painel de controle, este botão, do tipo PUSH-ON / PUSH-OFF, quando pressionado, permite a escuta simultânea dos sinais de áudio, nos fones e alto-falantes da cabine de comando.

j) Botão de chamada da Atendente (ATDT CALL)

Localizado na parte inferior esquerda do painel de controle, este botão é de ação momentânea e, quando pressionado, envia um tom de áudio para a chamada da atendente, à cabine de comando.

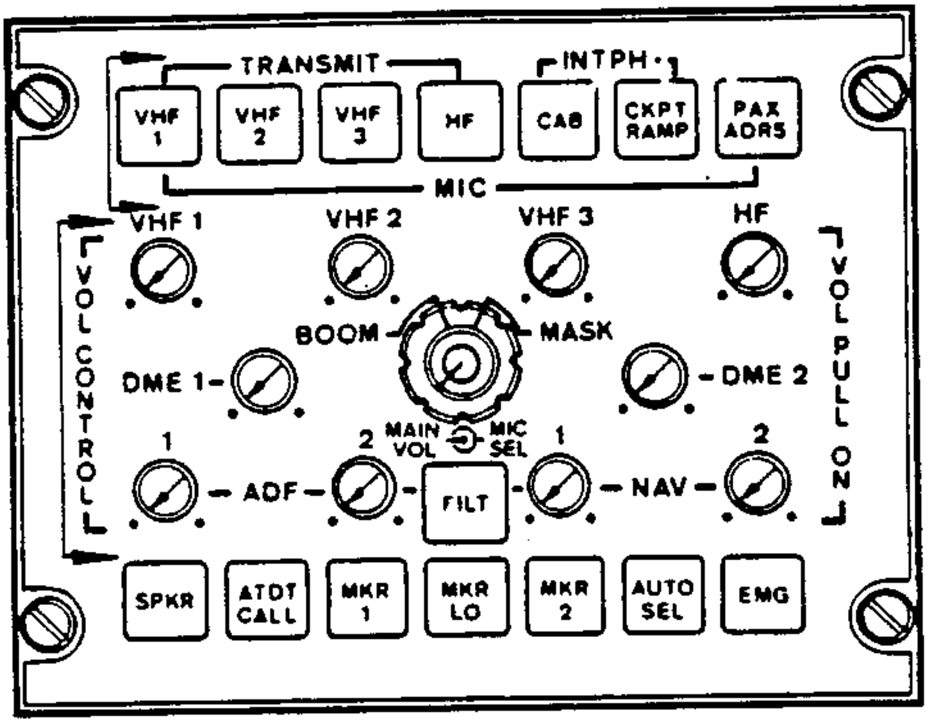

TRANSMIT
INTPH
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
CAB
CKPT RAMP
PAX ADRS
MIC
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
VOL CONTROL
VOL PULL ON
BOOM
MASK
DME 1
DME 2
1
2
ADF
MAIN VOL
MIC SEL
1
2
NAV
FILT
SPKR
ATDT CALL
MKR 1
MKR LO
MKR 2
AUTO SEL
EMG

Figura 18-52 Painel de controle de áudio

Unidade Eletrônica Remota (REU) – A unidade eletrônica remota é a unidade central do sistema de áudio e possui dis canais idênticos e independentes, um para o piloto e outro para o co-piloto. Um terceiro canal é agora instalado para o sistema de áudio do observador.

Esta unidade possui todos os circuitos, de comutação, necessários para o funcionamento do sistema.

Todos os ajustes de SIDETONE são acessíveis pela parte frontal da unidade.

Os controles e ajustes de SIDETONE, identificados na parte frontal da unidade, são:

a) – PAST – Ajusta o nível de SIDETONE dos alto-falantes dos passageiros, em função do áudio do microfone.

b) – INPH ST – Ajusta o nível do SIDETONE para os fones, durante a operação do interfone.

c) – HS ST – Opcional (Ver ajustes VHF1 / VHF2).

d) – VHF3 ST – Opcional (Ver ajustes VHF1 / VHF2).

e) – VHF1 ST – Ajusta o nível de SIDETONE do microfone, para o amplificador do fone durante a operação do VHF1.

f) - VHF2 ST – Ajusta o nível de SIDETONE do microfone, para o amplificador do fone, durante a operação do VHF2.

g) – SPKR ST – Ajusta o nível do SIDETONE, do alto-falante da cabine de comando, durante a transmissão.

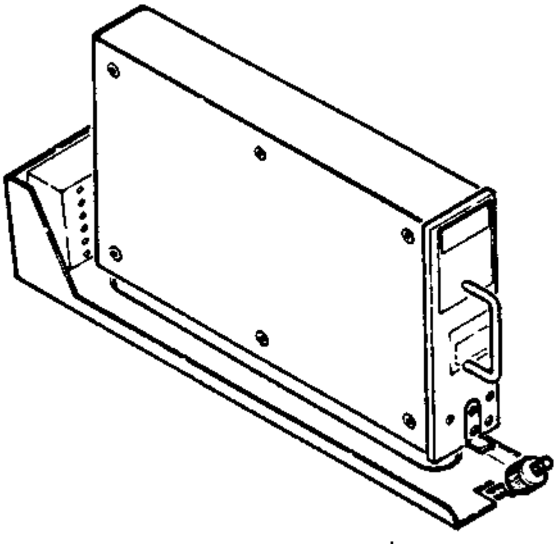


Figura 18-53 Unidade central do áudio

Interruptor PTT / HOT MIC – Os dois interruptores PTT / HOT MIC, instalados no manche de ambos os postos de pilotagem, são usados para transmissão e intercomunicação entre os pilotos.

Este interruptor é do tipo deslizante e possui três posições a saber:
a) – Posição central – o interruptor está desligado.

b) – Posição PTT – é uma posição momentânea e possibilita a transmissão em VHF ou HF e a comunicação entre pilotos.

c) – Posição HOT – é uma posição fixa e possibilita de maneira contínua acomunicação entre pilotos.

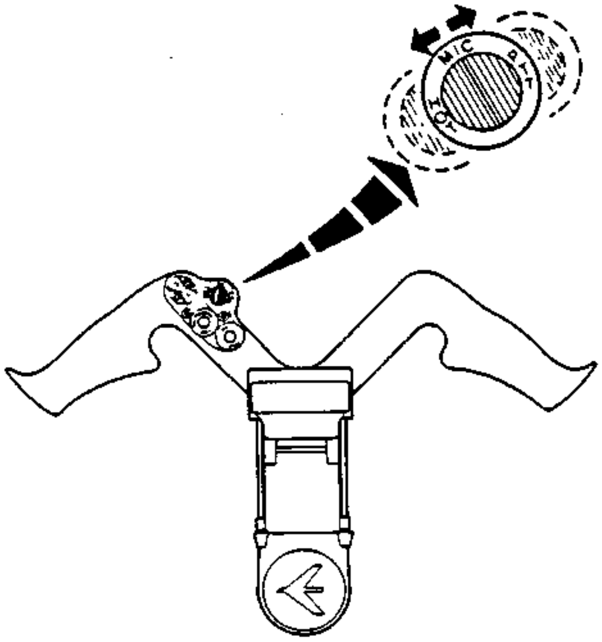


Figura 18-54 Interruptor PTT / HOT MIC

Fone, Microfone e Alto-falantes – Ambos os postos de pilotagem possuem um par de fones, um microfone de mão e um microfone instalado na máscara de oxigênio.

Os "Jacks" estão instalados nos consoles laterais. Dois alto-falantes são instalados no teto da cabine de comando, um em cada posto de pilotagem, permitindo a recepção de áudio, sempre que desejada.

Dois outros alto-falantes, exclusivos dos sistemas de alarme, também são instalados no teto da cabine de comando, um em cada posto de pilotagem.

Operação do sistema – Cada painel de controle de áudio possui uma linha, conectada à unidade eletrônica remota, cuja linha envia todas as informações, sobre as posições dos controles, para esta unidade (REU).

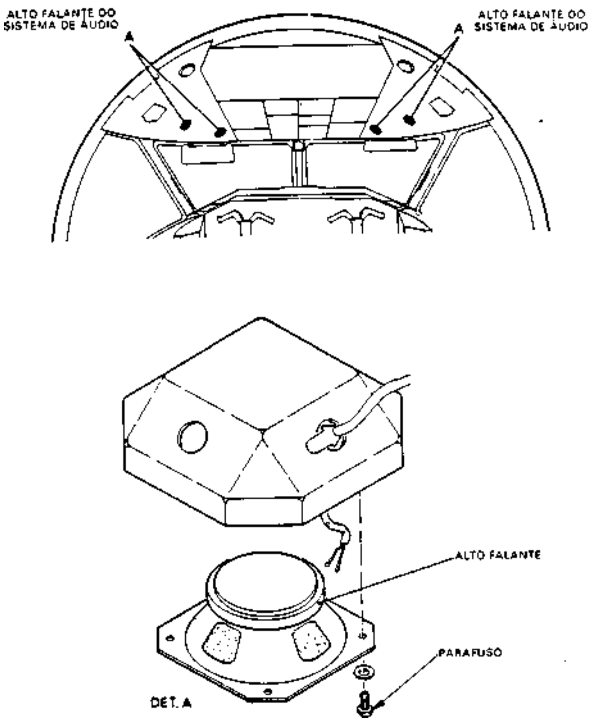

ALTO FALANTE DO SISTEMA DE ÁUDIO
A
ALTO FALANTE DO SISTEMA DE ÁUDIO
A
ALTO FALANTE
PARAFUSO
DET. A

Figura 18-55 Localização dos alto-falantes da cabine de comando

Cada painel de controle transmite as seguintes informações para a unidade eletrônica: seleção de todos os transmissores, seleção de todos os interfones, seleção de mensagens aos passageiros, o controle de volume de todos os receptores e posições dos interruptores ON/OFF, seleção do microfone de mão ou da máscara de oxigênio, controle principal de nível de volume, seleção da posição filtro, seleção do MKR1 e MKR2, sensibilidade do Marker Beacon, seleção de alto-falante e controle da função emergência.

Há outra linha, para cada painel de controle de áudio, conectada diretamente à unidade central de áudio, que permite a ativação do gerador de tons a fim de efetuar a função de chamada da atendente.

Interfone

O avião está equipado com um sistema de interfone o qual é constituído por quatro modos de operação: Interfone da cabine de comando / rampa, interfone de cabine, interfone do observador, interfone de cabine de comando.

1) Interfone Cabine de Comando / Rampa - É usado para comunicação entre o operador de solo e a cabine de comando.

2) Interfone de Cabine – É usado para comunicação entre a cabine de comando e a atendente e vice-versa.
3) Interfone do Observador – É usado para comunicação entre pilotos e observador.
4) Interfone de Cabine de Comando – É parte do sistema integrado de áudio (já descrito).

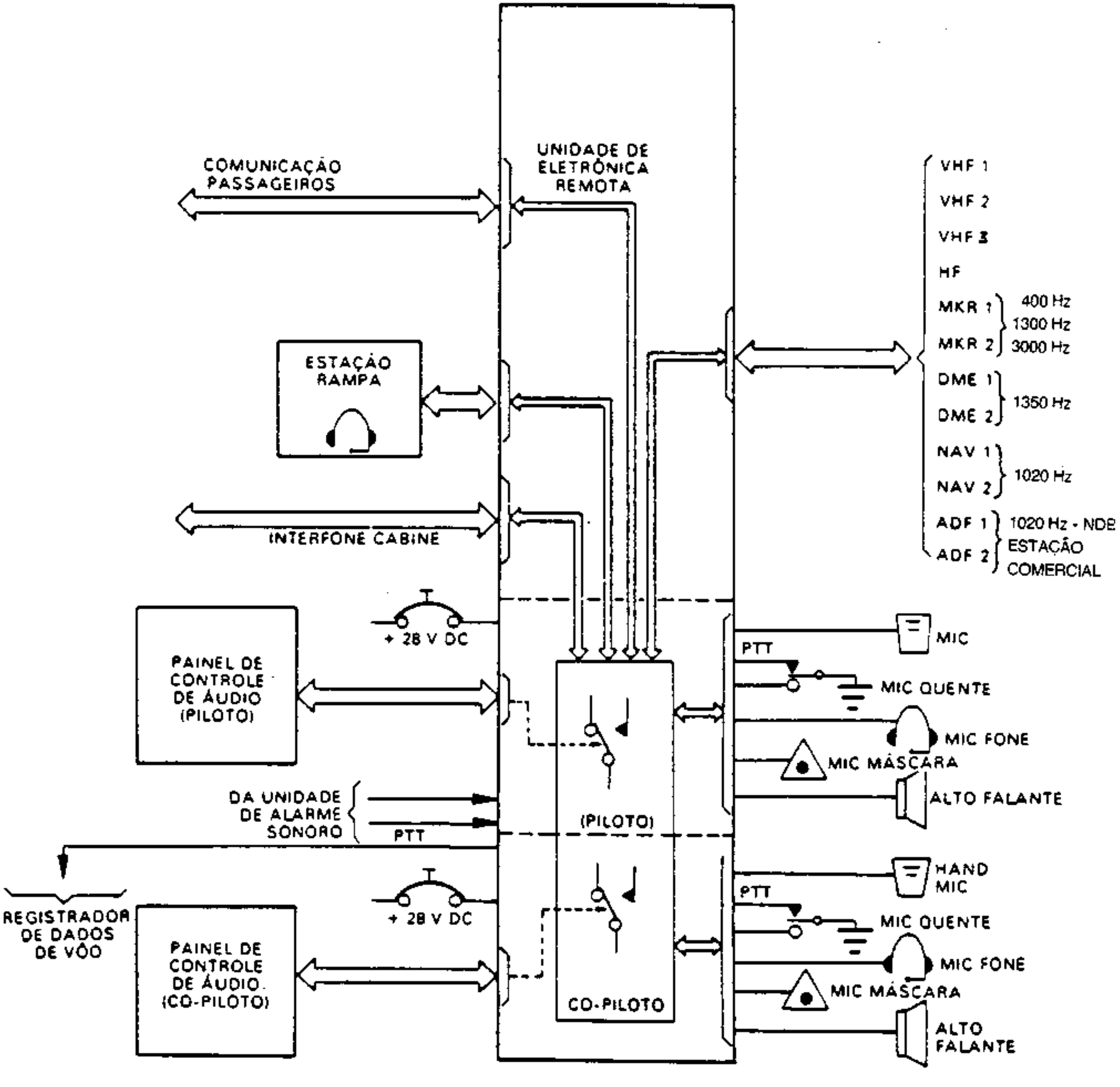

COMUNICAÇÃO PASSAGEIROS
UNIDADE DE ELETRÔNICA REMOTA
ESTAÇÃO RAMPA
INTERFONE CABINE
+ 28 V DC
PAINEL DE CONTROLE DE ÁUDIO (PILOTO)
DA UNIDADE DE ALARME SONORO
PTT
REGISTRADOR DE DADOS DE VÔO
+ 28 V DC
PAINEL DE CONTROLE DE ÁUDIO (CO-PILOTO)
(PILOTO)
CO-PILOTO
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
MKR 1
MKR 2
400 Hz
1300 Hz
3000 Hz
DME 1
DME 2
1350 Hz
NAV 1
NAV 2
1020 Hz
ADF 1
ADF 2
1020 Hz - NDB
ESTAÇÃO COMERCIAL
PTT
MIC
MIC QUENTE
MIC FONE
MIC MÁSCARA
ALTO FALANTE
PTT
HAND MIC
MIC QUENTE
MIC FONE
MIC MÁSCARA
ALTO FALANTE

Figura 18-56 Interfone de Cabine de Comando / Rampa

É composto de um painel que contém um "Jack" de interfone e um botão de ação momentânea, COCKPIT-CALL, para a chamada da cabine de comando.

Um painel de interfone de rampa, instalado no lado esquerdo do nariz do avião.

O interfone cabine de comando / rampa é ativado pela seleção da tecla CKP / RAMP, no painel de controle de áudio ou através do botão COCKPIT-CALL, instalado no painel de interfone de rampa.

Neste modo é possível que o piloto ou o co-piloto mantenha uma conversação simultânea ou não, com o operador de terra, através do HOT-MIC.

Operação do sistema – Quando o interruptor COCKPIT-CALL é pressionado, no painel de controle do interfone de rampa, um tom de 600Hz, gerado pela unidade eletrônica remota, será ouvido nos fones e alto falantes da cabine.

Em seguida o piloto(e ou co-piloto)pressiona o botão CKPT / RAMP, cuja luminosidade aumenta (no painel de controle de áudio) e posiciona o interruptor PTT / HOT MIC para HOT MIC, então ele poderá falar com o operador de solo.

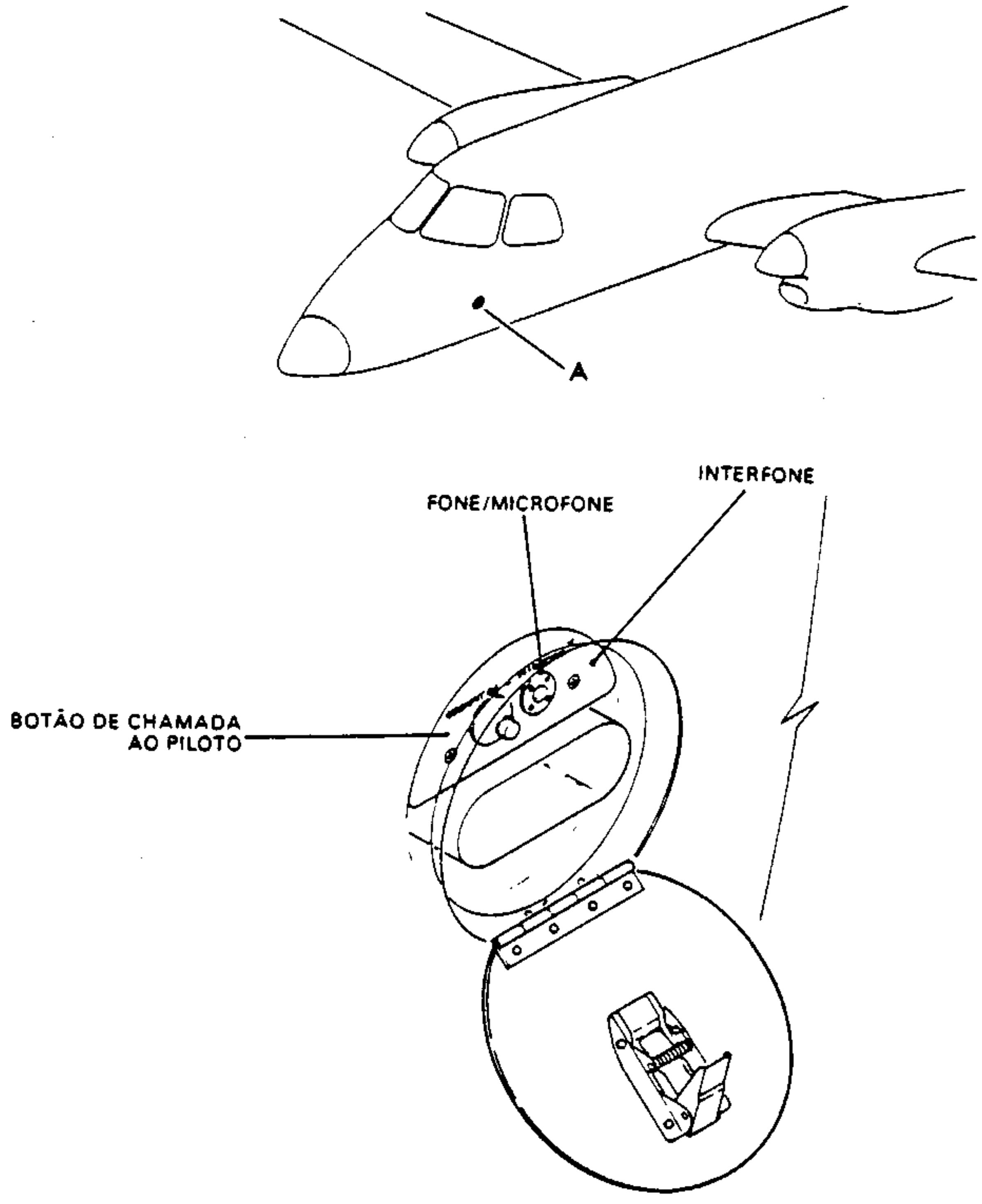

A
INTERFONE
FONE/MICROFONE
BOTÃO DE CHAMADA AO PILOTO
DET A

Figura 18-57 Painel de interfone de rampa

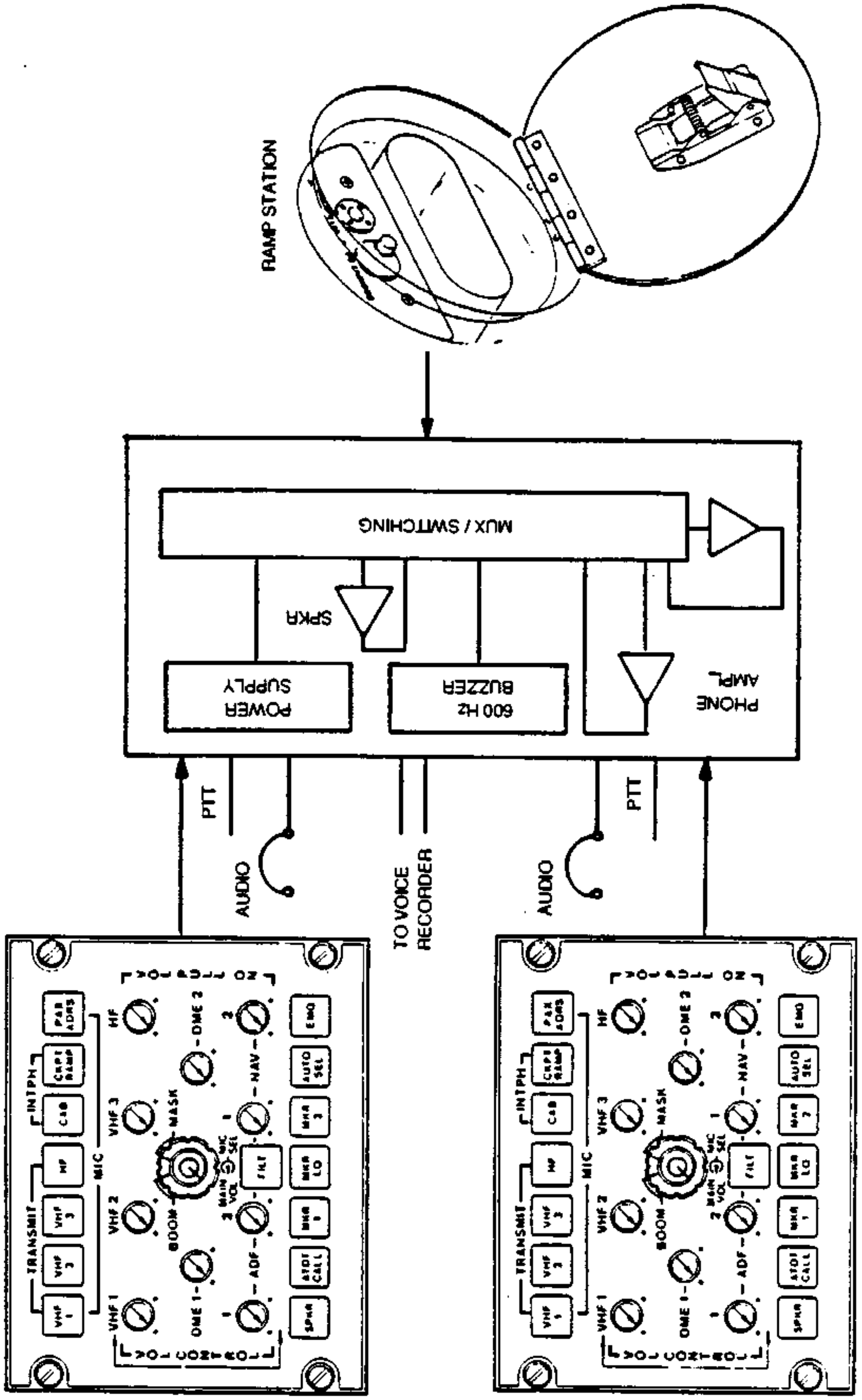

RAMP STATION
MUX / SWITCHING
SPKR
POWER SUPPLY
600 Hz BUZZER
PHONE AMPL
PTT
AUDIO
TO VOICE RECORDER
PTT
AUDIO
TRANSMIT
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
INTPH
CAB
CKPT RAMP
PAX ADRS
MIC
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
BOOM
MASK
DME 1
DME 2
MAIN VOL
MIC SEL
ADF
NAV
FLT
SPKR
ATDT CALL
MKR 1
MKR LO
MKR 2
AUTO SEL
EMG

Figura 18-58 Sistema de Interfone de Cabine de Comando / Rampa

Interfone de Cabine –

Este modo possibilita, ao piloto ou co-piloto, falar simultaneamente ou não, com a atendente, através do HOT-MIKE.

Quando o modo interfone de cabine é ativado a indicação através do anunciador CAB é visível simultaneamente em ambos os painéis de controle de áudio e seu sinal sonoro HI-LO é apresentado pelo sistema de endereçamento aos passageiros.

O interfone de cabine é constituído de:

-Uma unidade central de áudio, instalada no compartimento eletrônico.

-Um conjunto de interfone da atendente, instalado no lado esquerdo da cabine, atrás do assento do piloto.

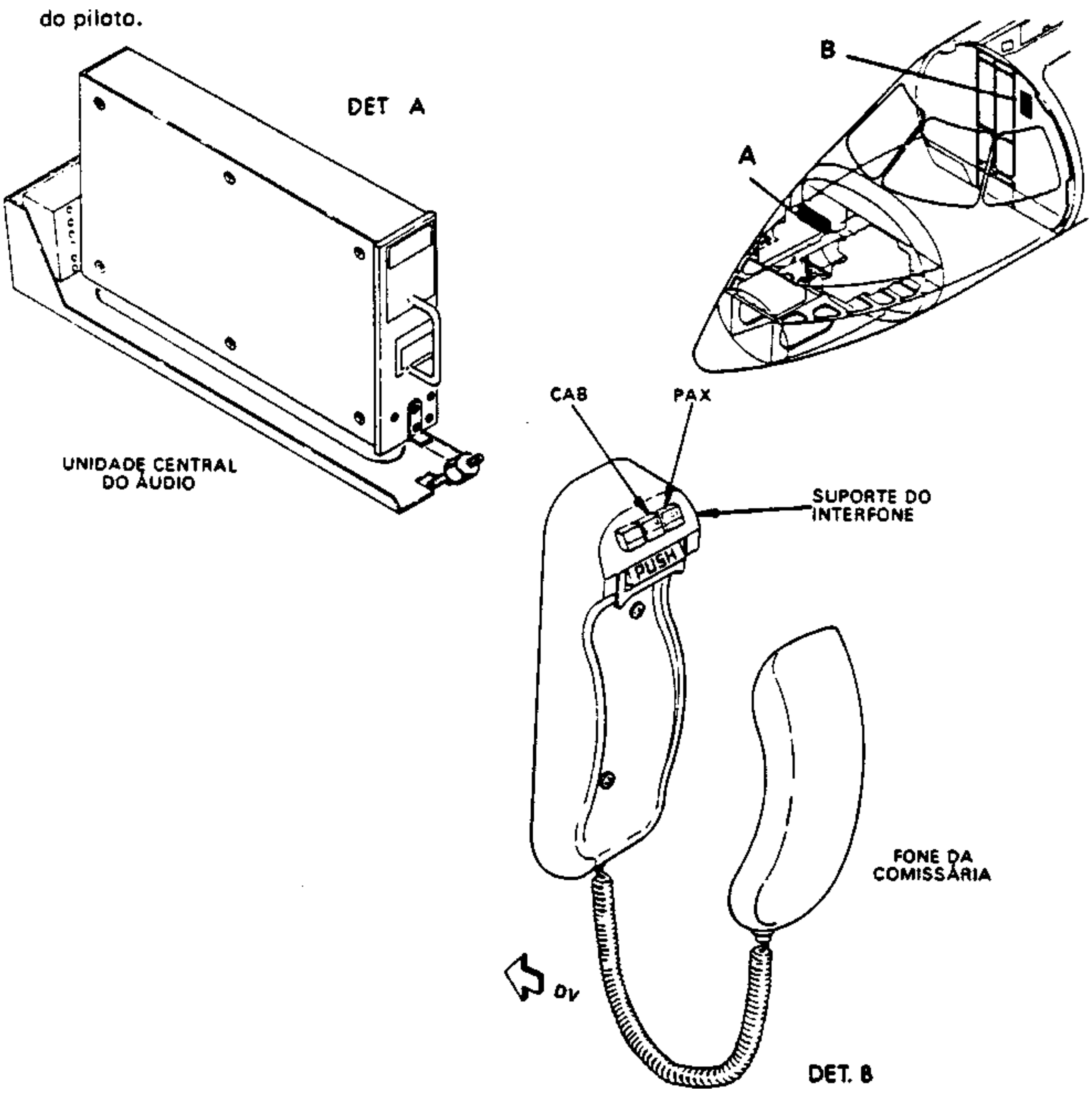


Figura 18-59 Localização dos componentes do interfone da cabine de passageiros

A unidade central de áudio recebe sinais do microfone da cabine de comando e da estação da atendente e controla os sinais de PTT da cabine de comando e da atendente e envia sinais para os alto-falantes da cabine de passageiros, SIDETONE de endereçamento aos passageiros, sinais sonoros para a cabine de comando e para os fones dos pilotos e atendente.

A unidade possui internamente um gerador de tons.

Os tipos de tons gerados e apresentados, com o propósito de chamada e endereçamento, são:

a) Chamada da atendente, pela cabine de comando – TOM-HI-LO.
b) Chamada da cabine de comando, pela atendente – TOM HI-LO.
c) Chamada para endereçamento aos passageiros – TOM-HI.
d) Aviso – APERTE O CINTO – TOM-LO.
e) Aviso – NÃO FUME – TOM-LO.
f) Chamada da atendente, pelos passageiros – TOM-HI.

O suporte da estação da atendente possui três botões para a seleção das funções CAB, PAX, MUS e botão com a função de PTT, localizado no interfone.

a) Botão CAB – Este botão é responsável pela chamada da cabine de comando, através de um sinal HI-LO. Quando pressionado, ele cicla até que o piloto e/ou co-piloto selecione o anunciador correspondente.
b) Botão PAX – Quando pressionado, esse botão iluminar-se-á possibilitando a comunicação entre a atendente e os passageiros..
c) Botão MUS – Quando pressionado, ativa o sistema de entretenimento aos passageiros.

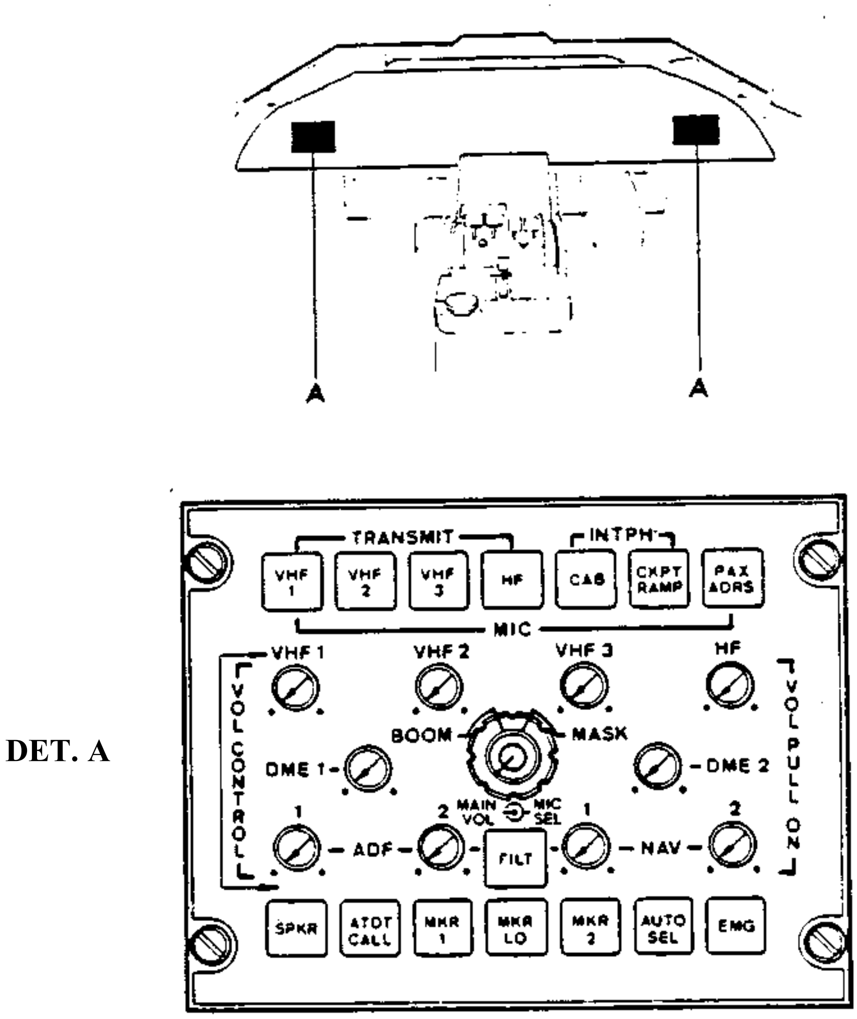

A
A
DET. A
TRANSMIT
INTPH
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
CAB
CKPT RAMP
PAX ADRS
MIC
VHF 1
VHF 2
VHF 3
HF
VOL CONTROL
VOL PULL ON
BOOM
MASK
DME 1
DME 2
MAIN VOL
MIC SEL
1
2
ADF
1
2
NAV
FILT
SPKR
ATDT CALL
MKR 1
MKR LO
MKR 2
AUTO SEL
EMG

Figura 18-60 Instalação do painel de controle de áudio

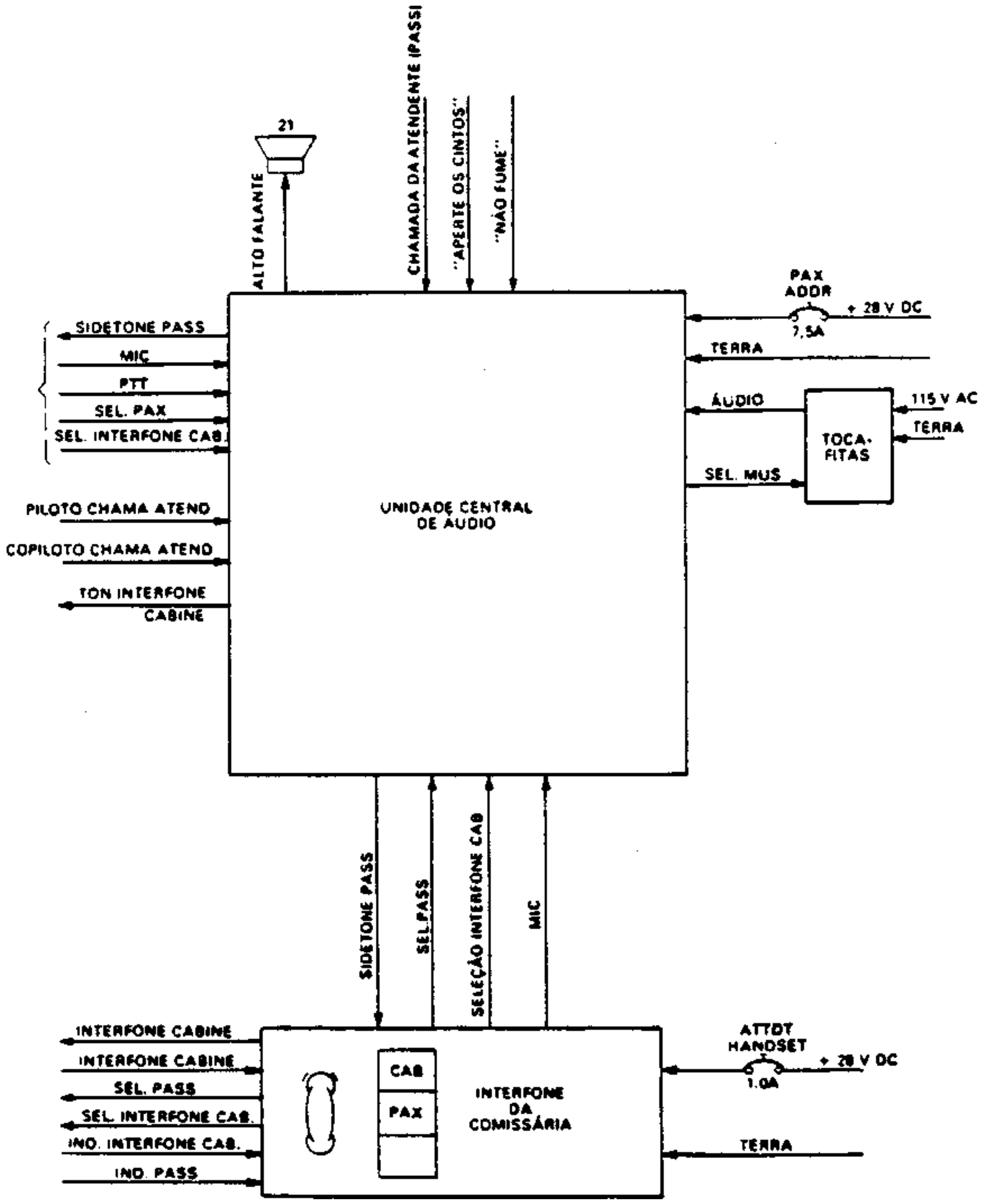
Operação – A comunicação entre pilotos e atendente e vice-versa, é efetuada pressionando-se o botão CAB num dos painéis de controle de áudio ou na unidade de controle da atendente.

Na unidade central de áudio um sinal de áudio HI-LO (DIM / DOM) é gerado e distribuído aos alto-falantes para chamar a atenção.

O botão CAB fica ciclando até que seja pressionado.

Quando a atendente remove o fone de seu braço o interruptor ON/HOOK/OFF HOOK conecta o microfone ao sistema.

Quando termina a comunicação, a ligação é desativada automaticamente, quando a atendente coloca o seu fone no gancho (berço).



21
ALTO FALANTE
CHAMADA DA ATENDENTE (PASS)
"APERTE OS CINTOS"
"NÃO FUME"
SIDETONE PASS
MIC
PTT
SEL. PAX
SEL. INTERFONE CAB.
PILOTO CHAMA ATEND
COPILOTO CHAMA ATEND
TON INTERFONE CABINE
UNIDADE CENTRAL DE ÁUDIO
PAX ADDR
7,5A
+ 28 V DC
TERRA
ÁUDIO
SEL. MUS
TOCA-FITAS
115 V AC
TERRA
SIDETONE PASS
SEL.PASS
SELEÇÃO INTERFONE CAB
MIC
INTERFONE CABINE
INTERFONE CABINE
SEL. PASS
SEL. INTERFONE CAB.
IND. INTERFONE CAB.
IND. PASS
CAB
PAX
INTERFONE DA COMISSÁRIA
ATTDT HANDSET
1.0A
+ 28 V DC
TERRA

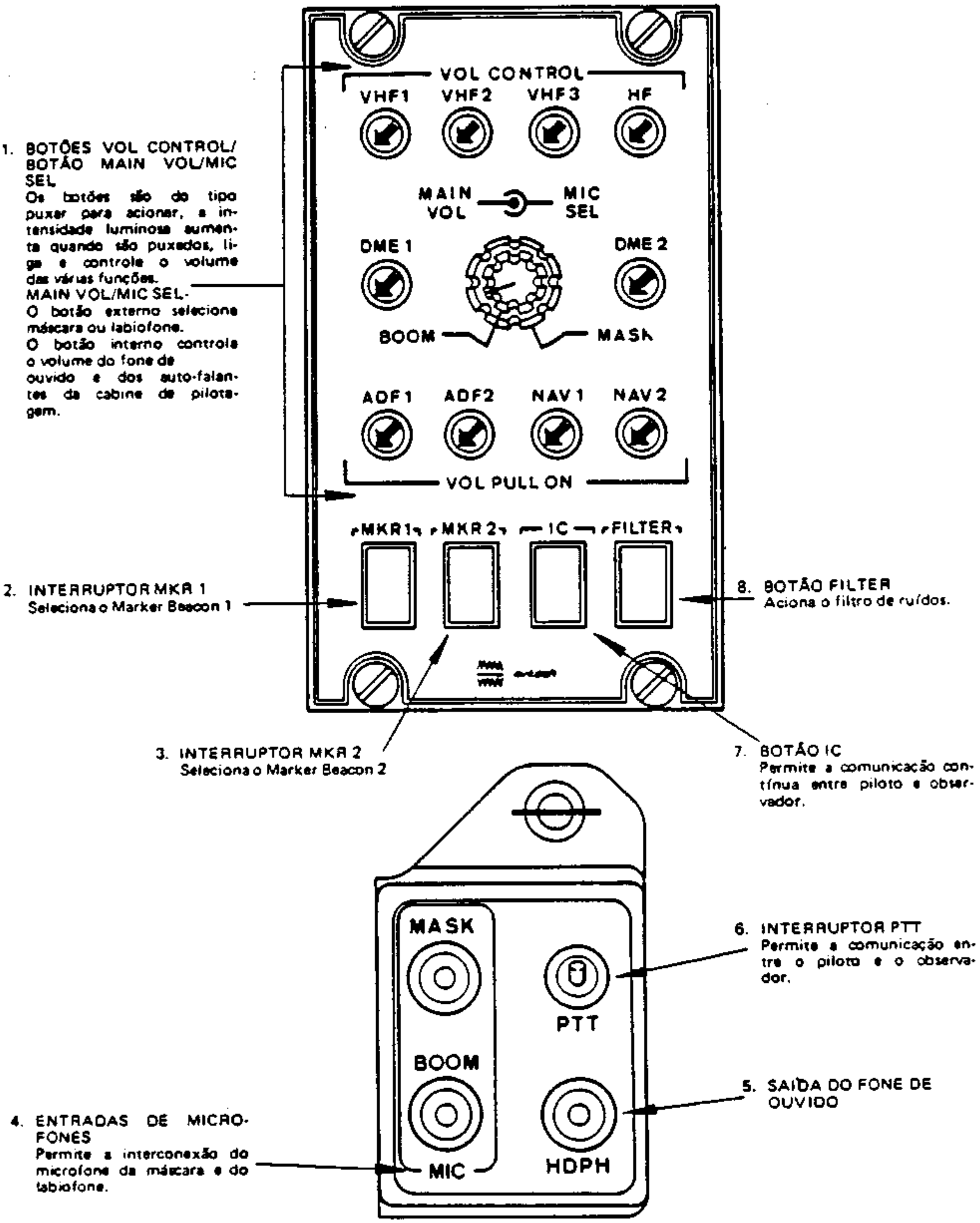
Figura 18-61 Operação do modo interfone cabine dos pilotos

Modo interfone do observador – O modo interfone do observador possibilita comunicação entre pilotos e observador.

Há duas versões para o modo de interfone do observador.

a) Versão Certificado FAA – Esta versão tem meios de controlar o áudio dos receptores e selecionar o modo de intercomunicação da tripulação. Ela é normalmente instalada em aeronaves com certificado FAA.
b) Versão Certificado CTA – Esta versão somente controla o volume e o PTT do modo intercomunicação. Não existem meios de controlar o áudio dos receptores. O modo interfone do observador consiste de:

a) Um painel de controle de áudio, instalado á direita do painel de forração da linha do duto do ar condicionado.
b) Um painel de interconexão de fone e microfone, instalado abaixo do painel de controle de áudio do observador.
c) Um microfone labial, instalado acima da cadeira do co-piloto.


VOL CONTROL
VHF1
VHF2
VHF3
HF
MAIN VOL
MIC SEL
DME 1
DME 2
BOOM
MASK
ADF1
ADF2
NAV1
NAV2
VOL PULL ON
MKR1
MKR2
IC
FILTER
MASK
PTT
BOOM
MIC
HDPH

1. BOTÕES VOL CONTROL/ BOTÃO MAIN VOL/MIC SEL
Os botões são do tipo puxar para acionar, a intensidade luminosa aumenta quando são puxados, liga e controle o volume das várias funções.
MAIN VOL/MIC SEL-
O botão externo selecione máscara ou labiofone.
O botão interno controla o volume do fone de ouvido e dos auto-falantes da cabine de pilotagem.

2. INTERRUPTOR MKR 1
Seleciona o Marker Beacon 1

3. INTERRUPTOR MKR 2
Seleciona o Marker Beacon 2

4. ENTRADAS DE MICROFONES
Permite a interconexão do microfone da máscara e do labiofone.

5. SAÍDA DO FONE DE OUVIDO

6. INTERRUPTOR PTT
Permite a comunicação entre o piloto e o observador.

7. BOTÃO IC
Permite a comunicação contínua entre piloto e observador.

8. BOTÃO FILTER
Aciona o filtro de ruídos.

Figura 18-62 Painel de áudio do observador

Na versão Certificado FAA, o painel de áudio do observador é composto dos controles abaixo discriminados.

Botões dos Receptores – Ligam, desligam e controlam o volume para seleção das seguintes funções: VHF 1, VHF 2, VHF 3, HF, DME 1, DME 2, ADF 1, ADF 2, NAV 1 e NAV 2. Se dois botões forem selecionados os seus sinais serão superpostos.

Botões de seleção de Microfone e Volume Principal – O seletor externo, seleciona microfone labial ou microfone de máscara. O interno é o controle principal de volume, atuando sobre os sinais que estão sendo enviados para os fones ou auto-falantes da cabine de comando.

- Botão Marker Beacon 1 (MKR1) - Possibilita a seleção de áudio do Marker Beacon nº 1.
- Botão Marker Beacon 2 (MKR2) - Possibilita a seleção de áudio do Marker Beacon nº 2.
- Botão Intercomunicação (IC) - Possibilita comunicação contínua entre o observado e os pilotos.
- Botão filtro (FILTER) - Quando pressionado possibilita a audição do sinal de identificação de 1020 Hz do VHF, NAV e ADF.

O painel de interconexão de fone / microfone do observador possui os seguintes "Jacks" e interruptores:

a) "Jack" de Microfone – Conecta o microfone de máscara ou o microfone labial.
b) "Jack" de fone – Conecta o fone do observador.
c) Interruptor PTT / HOT – PTT é uma posição momentânea que permite comunicação entre observador e pilotos.
d) "HOT" é uma posição fixa.

Na versão Certificado CTA, o painel de áudio do observador possui os controles discriminados a seguir:

- Interruptor Seletor Piloto/Co-piloto – Possibilita ao observador selecionar o áudio do piloto ou co-piloto.
- Interruptor PTT / HOT – Possibilita intercomunicação com os pilotos. Este interruptor possui três posições
  a) Posição central – o interruptor está desligado.
  b) Posição PTT – é uma posição momentânea e possibilita a comunicação com os pilotos.
  c) Posição HOT – é uma posição fixa e também permite a comunicação com os pilotos.

- Controle de volume – É um potenciômetro usado para controlar o volume de áudio, no fone do observador.
- HDPH-MIC – "Jack" de fone e microfone.

O microfone labial do observador é constituído de um fone e um microfone, cujos "jacks" deverão ser conectados ao painel de controle de áudio, do observador.

Através do interruptor PTT (HOT), do painel de controle de áudio do observador, este se comunica com os pilotos.

A comunicação, entre o piloto ou o co-piloto e o observador, é efetuada por meio do interruptor PTT / HOT MIC (nos manches) ou por meio do botão CKP / RAMP (no painel de controle de áudio do piloto ou do co-piloto).

Sistemas de Endereçamento aos passageiros

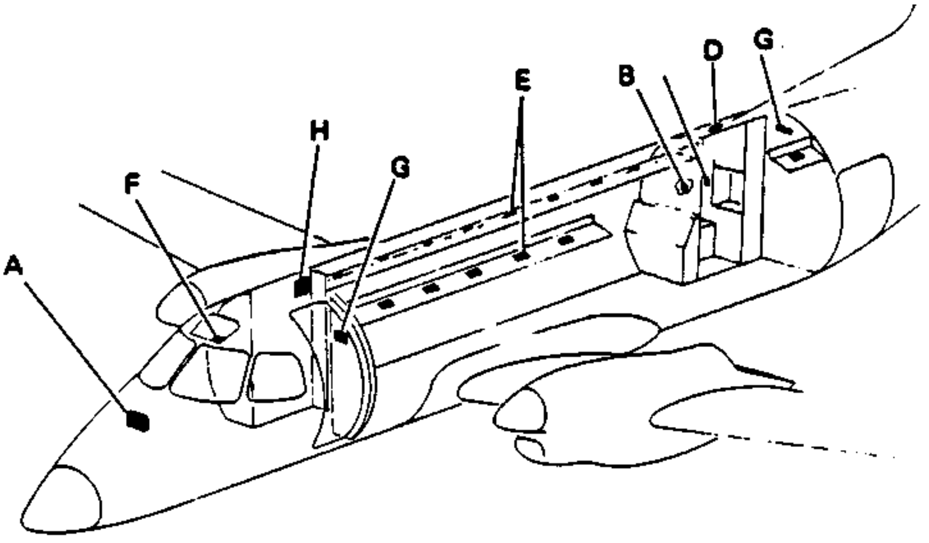
Os sistemas de endereçamento aos passageiros e entretenimento, possibilitam um aviso de voz e música para os passageiros. Possibilita também a transmissão de um aviso para os passageiros através dos pilotos e atendente, assim como, sinais de tom.

O avião é opcionalmente provido de música de bordo para entretenimento dos passageiros.

Descrição e localização dos componentes – O sistema de endereçamento aos passageiros, possibilita um aviso de voz, comunicação entre pilotos e atendente e chamada da atendente pelos passageiros, assim como geração de tons para a sinalização de áudio.

O endereçamento aos passageiros é efetuado através de:

a) Alto-falantes instalados na cabine dos passageiros e no teto do toalete.
b) Dois interruptores de avisos aos passageiros – "Não fume" e "Aperte os cintos" – instalados no painel superior afim de ativas sinais de áudio aos passageiros.
c) Avisos – "Não fume" e "Aperte os cintos" – instalados nas unidades de serviço dos passageiros e na parte superior direita do armário da atendente.
d) Aviso "Retorne ao seu lugar" – Instalado no toalete e conectado ao aviso - "Aperte o cinto".
e) Botões de chamada da Atendente, instalados na unidade de serviço dos passageiros e toalete.



LEGENDA

A. UNIDADE CENTRAL DE ÁUDIO
B. SINALIZAÇÃO DE AVISO - RETORNE À SUA POLTRONA
C. TECLA DE CHAMADA DA COMISSÁRIA
D. ALTO-FALANTE DO TOALETE
E. UNIDADE DE SERVIÇOS DE PASSAGEIROS PSU's
F CHAVES PAX SIGNS
G. PAINÉIS DE AVISOS DA COMISSÁRIA
H. FONTE DE ALIMENTAÇÃO E TOCA-FITAS

Figura 18-63 Localização dos componentes do sistema de avisos aos passageiros

Operação – Os avisos aos passageiros, pelo piloto/co-piloto, são selecionados no painel de controle de áudio (PCA). Os avisos de mensagens aos passageiros (PAX ADRS) têm o brilho aumentado em ambos os painéis (PCA) e, simultaneamente, o anunciador PAX iluminar-se-á na unidade da atendente.

O tom da cabine é ativado em HI (DIM).

O piloto e/ou co-piloto pressiona o PTT do manche ou o PTT do microfone e fala.

Terminada a comunicação, a função é automaticamente desativada, quando o piloto ou o co-piloto seleciona outra função relacionada ao microfone.

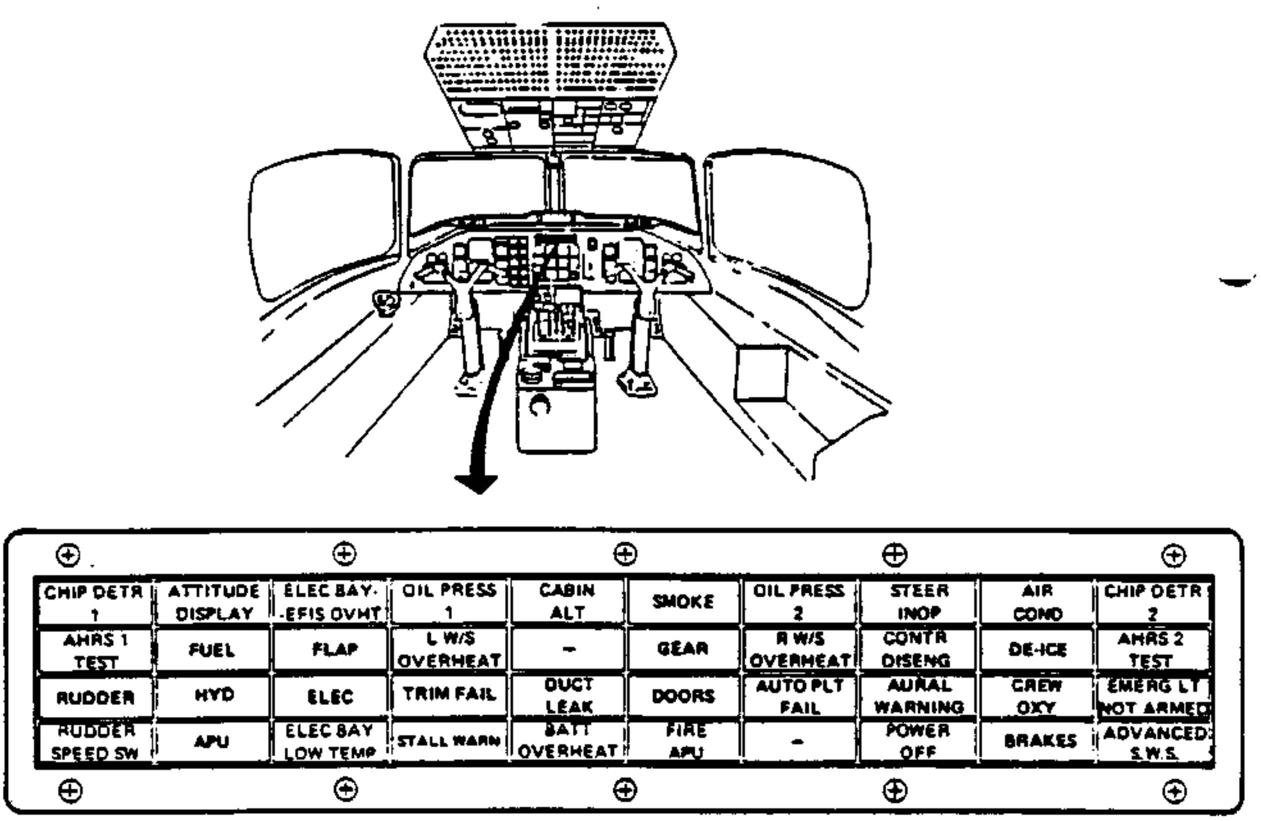
Sistema de alarme

O sistema de alarme alerta os membros da tripulação, por meios visuais e sonoros, quando da ocorrência de qualquer situação anormal de vôo.

Descrição e localização dos componentes:
-Um painel múltiplo de alarmes (PMA), instalado no painel principal.
-Dois pares de luzes de alarme geral, instaladas nos lados esquerdo e direito do PMA.
-Dois botões de cancelamento, instalados ao lado de cada par das luzes de alarme geral.
-Um controlador das luzes de alarme, instalado no console lateral direito.
-Um interruptor BAT/DIM/TEST, instalado no painel superior.
-Várias luzes discretas de indicação de alarme, distribuídas em diversos painéis da cabine de comando.
-Uma unidade de alarme sonoro, instalada no compartimento eletrônico e dois alto-falantes, instalados no teto da cabine de comando.

Painel Múltiplo de Alarmes (PMA) – Este painel consiste de um mostrador de falhas, com capacidade de apresentar até 40 legendas coloridas e iluminadas.

Estas legendas são agrupadas em módulos de atenção (WARNING) e alerta (CAUTION), os quais identificam imediatamente o sistema ou equipamento em falha.



CHIP DETR 1	ATTITUDE DISPLAY	ELEC BAY-EFIS OVHT	OIL PRESS 1	CABIN ALT	SMOKE	OIL PRESS 2	STEER INOP	AIR COND	CHIP DETR 2
AHRS 1 TEST	FUEL	FLAP	L W/S OVERHEAT	-	GEAR	R W/S OVERHEAT	CONTR DISENG	DE-ICE	AHRS 2 TEST
RUDDER	HYD	ELEC	TRIM FAIL	DUCT LEAK	DOORS	AUTO PLT FAIL	AURAL WARNING	CREW OXY	EMERG LT NOT ARMED
RUDDER SPEED SW	APU	ELEC BAY LOW TEMP	STALL WARN	BATT OVERHEAT	FIRE APU	-	POWER OFF	BRAKES	ADVANCED S.W.S.

Figura 18-64 Painel Múltiplo de Alarmes

As legendas em vermelho (WARNING), quando acesas, indicam a necessidade de uma ação corretiva imediata e as legendas em âmbar (CAUTION), quando não se requer necessariamente uma ação corretiva e imediata.

As legendas dos módulos são ilegíveis quando não estão iluminadas.

Quando uma falha ocorre, o módulo correspondente é iluminado de modo intermitente, a uma frequência de 4 Hz. Assim que o piloto percebe o alarme, ele pode, através do botão ALARM CANCEL, cancelar a alternância da luz, que permanecerá continuamente acesa enquanto a falha persistir. Se o sinal de falha for removido antes ou depois da operação de cancelamento, o módulo indicador apagar-se-á imediatamente, indicando que a falha não mais existe.

Sempre que o módulo âmbar é ativado (acende-se) são gerados dois sinais: um sinal de massa (4 Hz negativo) para comandar as luzes de alarme geral (âmbar) de advertência (CAUTION) e um outro sinal típico, para disparar o sistema de alarme sonoro.

Existem também, avisos sonoros associados às lâmpadas vermelhas. Os sinais de comandos para estes avisos são gerados no PMA.

O PMA tem um circuito que continuamente monitora o suprimento de energia. Caso uma das entradas de alimentação seja cortada, o módulo POWER OFF ficará piscando. Uma vez rearmado, o módulo iluminar-se-á num nível estável, até que a energia seja restabelecida ou a segunda entrada também seja cortada.

Existem dois tipos de legendas:

a) Legendas específicas – São as que permitem aos pilotos a identificação do sistema em falha, sem a necessidade de maiores informações de qualquer outro painel.

b) Legendas de sistema – São as que indicam aos pilotos somente o sistema que apresenta-se em falha. O piloto precisa olhar para o painel correspondente ao sistema em falha e observar qual a lâmpada de indicação ou alarme que está acesa, a fim de identificar a falha.

Exemplo:

- Porta de entrada dianteira destravada.
- Legenda DOOR, no painel múltiplo de alarmes.
- Luz discreta de indicação e alarme FORWARD, no painel de portas, piscando, indicando a porta dianteira destravada.

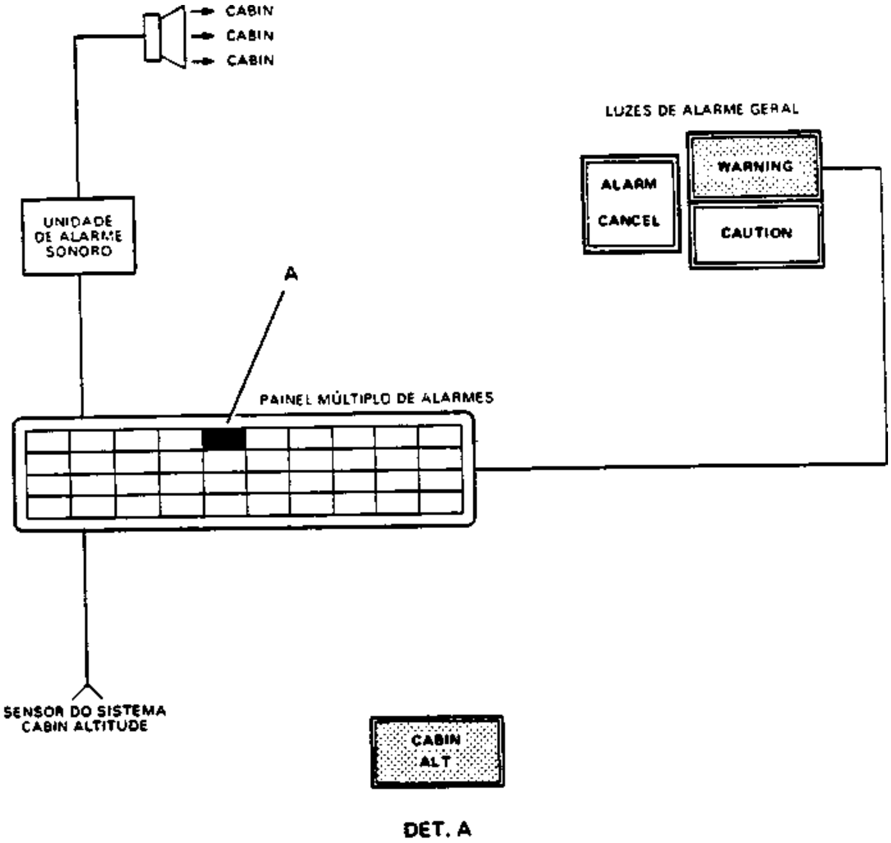

CABIN
CABIN
CABIN
LUZES DE ALARME GERAL
WARNING
ALARM
CANCEL
CAUTION
UNIDADE DE ALARME SONORO
A
PAINEL MÚLTIPLO DE ALARMES
SENSOR DO SISTEMA CABIN ALTITUDE
CABIN ALT
DET. A

Figura 18-65 Diagrama bloco de legenda específica

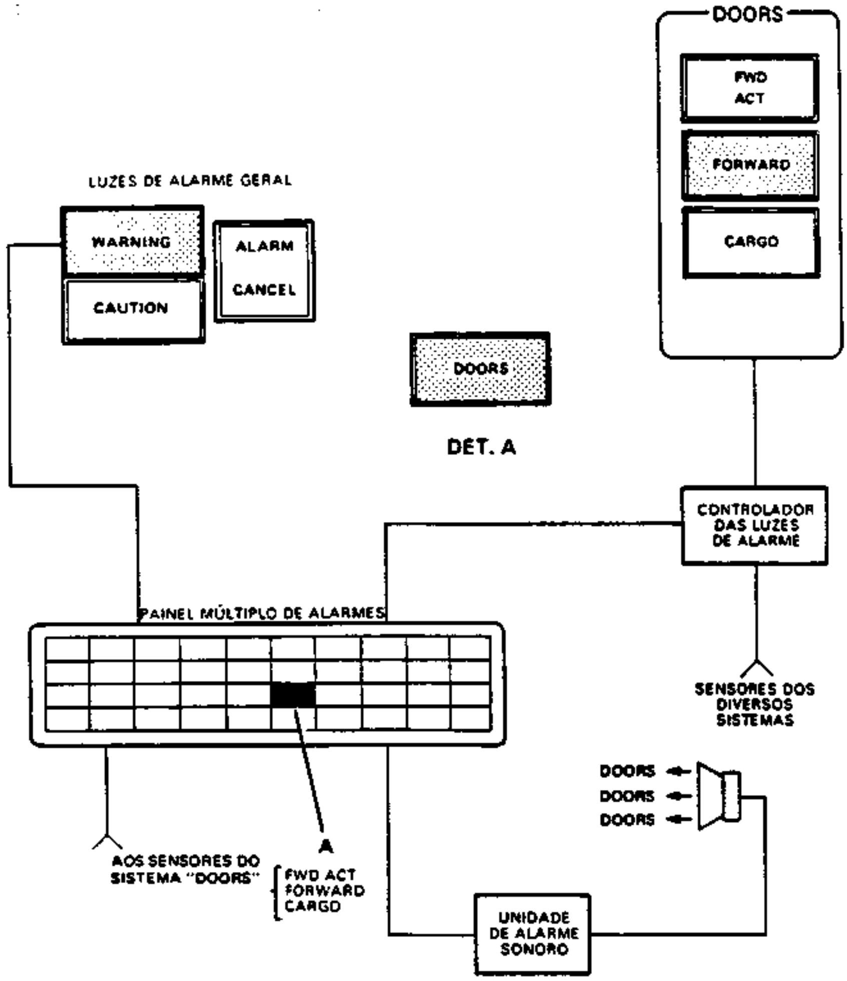

DOORS
FWD ACT
FORWARD
CARGO
LUZES DE ALARME GERAL
WARNING
CAUTION
ALARM
CANCEL
DOORS
DET. A
CONTROLADOR DAS LUZES DE ALARME
PAINEL MÚLTIPLO DE ALARMES
SENSORES DOS DIVERSOS SISTEMAS
DOORS
DOORS
DOORS
AOS SENSORES DO SISTEMA "DOORS"
A
FWD ACT
FORWARD
CARGO
UNIDADE DE ALARME SONORO

Figura 18-66 Sistema tipo Legenda Cativa

Unidades de Alarme Sonoro – O sistema de alarme sonoro pertence ao sistema de alarme e funciona em conjunto com o sistema de alarme visual.

A unidade de alarme sonoro está instalada no compartimento eletrônico. Algumas condições de alerta, em alguns sistemas essenciais, são anunciadas em ambos os sistemas, visual e sonoro.

O sistema de alarme sonoro apresenta dois tipos de alarmes: mensagens faladas e/ou sons.

As mensagens faladas são precedidas por três alarmes de apito que chamam a atenção para a mensagem que virá logo a seguir.

As mensagens faladas e os alarmes de apito são apresentados, na cabine de comando, por dois alto-falantes e também pelo sistema de áudio.

A unidade de alarme sonoro pode ser cancelada, inibindo as mensagens faladas e os apitos de alarme, por intermédio dos botões de cancelamento, ALARM CANCEL, das luzes de alarme geral.

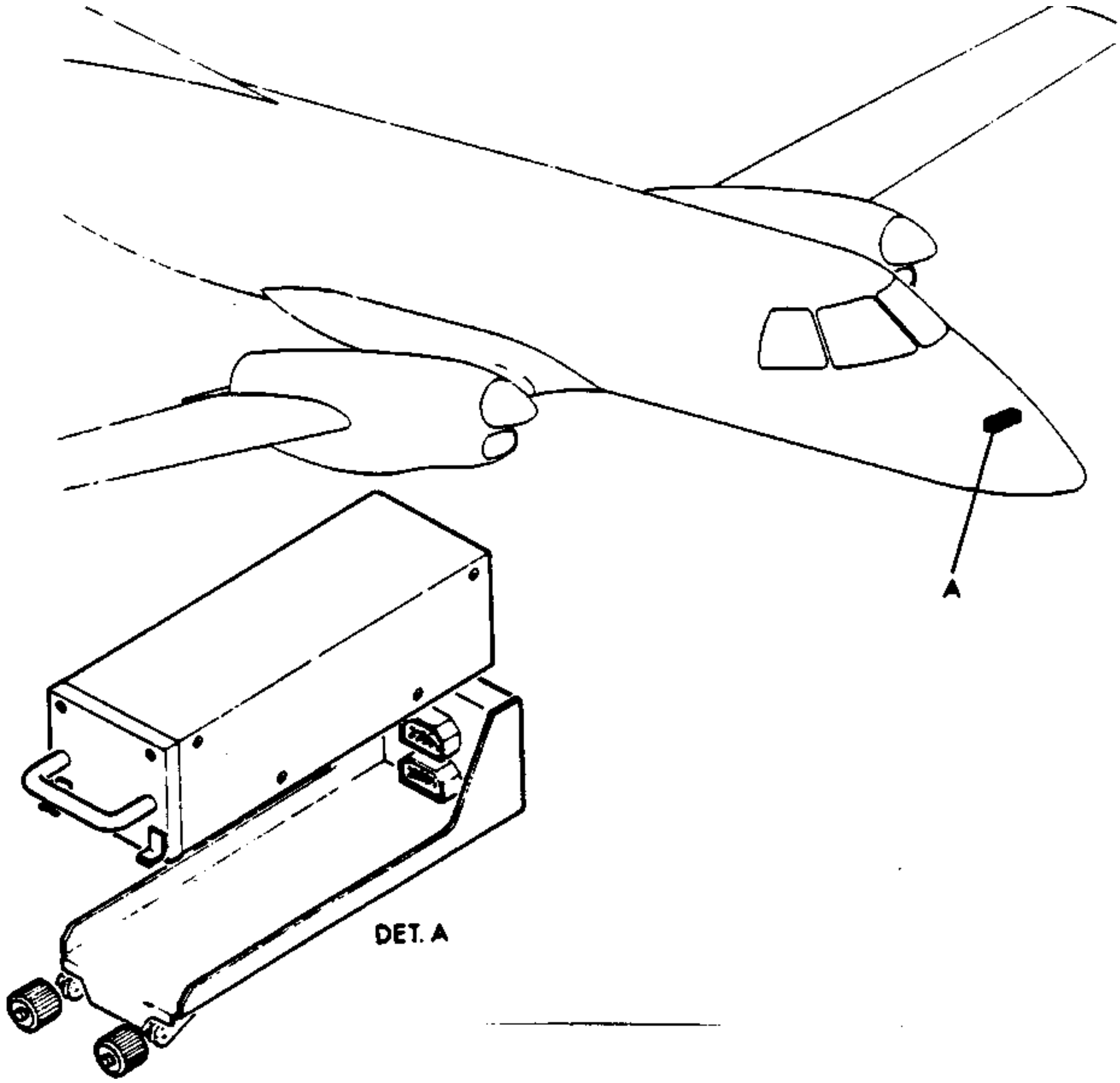


Figura 18-67 Unidade de alarme sonoro

A unidade de alarme sonoro constitui-se de dois canais idênticos, para maior segurança. Durante a operação normal, somente um deles é ativado.

Um circuito de falha, interno, detecta qualquer falha em qualquer das partes especificadas da unidade, automaticamente, efetua a troca entre os dois canais.

Em caso de falha do segundo canal, a luz do sistema de alarme sonoro, no painel múltiplo de alarmes, será ativada e a unidade de alarme sonoro deverá ser desativada.

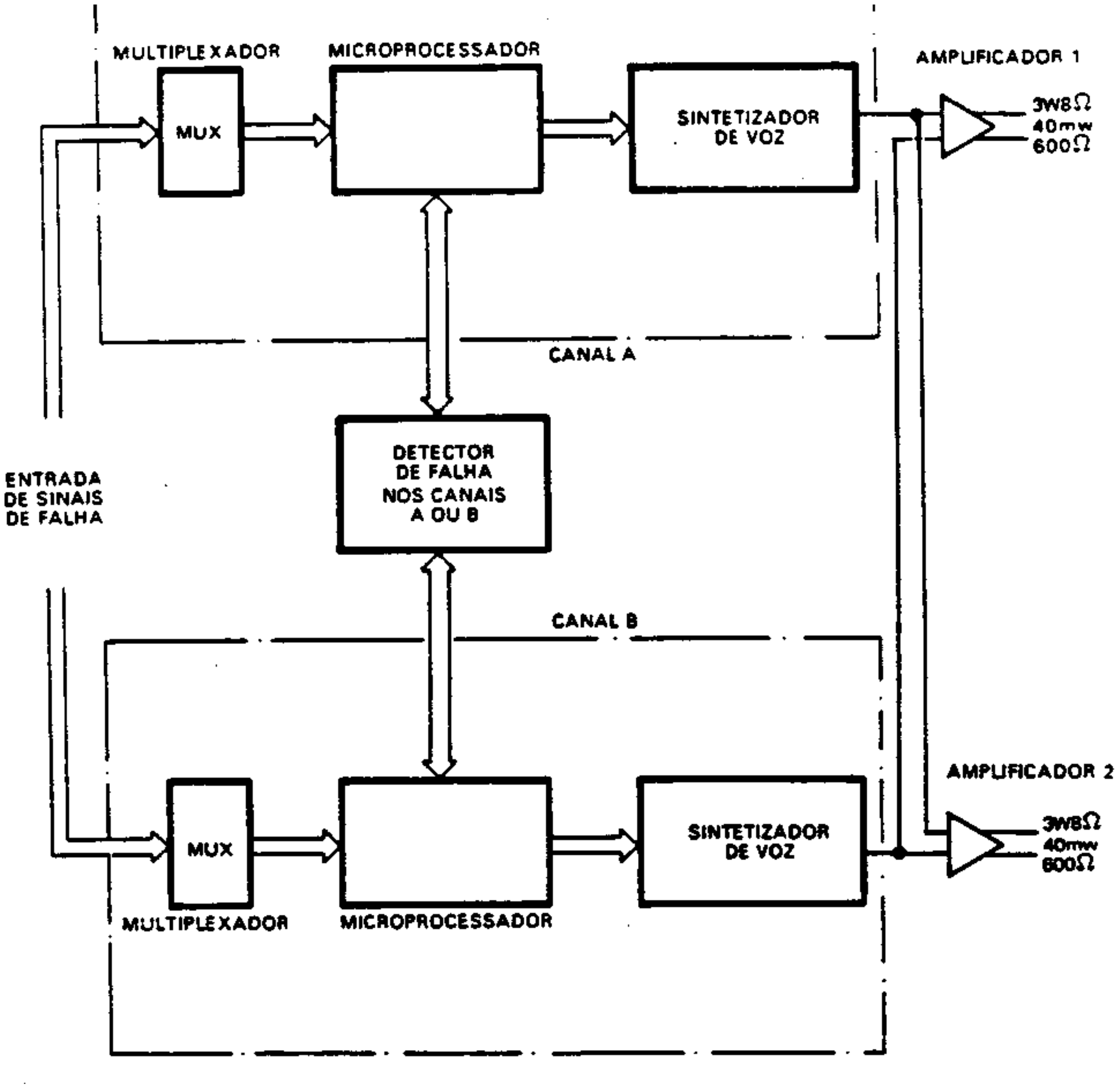

MULTIPLEXADOR
MICROPROCESSADOR
AMPLIFICADOR 1
MUX
SINTETIZADOR DE VOZ
3W8Ω
40mw
600Ω
CANAL A
ENTRADA DE SINAIS DE FALHA
DETECTOR DE FALHA NOS CANAIS A OU B
CANAL B
AMPLIFICADOR 2
MUX
SINTETIZADOR DE VOZ
3W8Ω
40mw
600Ω
MULTIPLEXADOR
MICROPROCESSADOR

Figura 18-68 Diagrama de bloco da unidade de alarme sonoro

Quando a unidade do alarme sonoro é ligada, pela primeira vez, ambos os canais executam um teste funcional, com entradas e saídas de sinais inibidas, a fim de evitar informações errôneas.

Se não for detectada nenhuma falha no auto teste, a unidade de alarme sonoro anuncia AURAL UNIT OK e o canal B será desativado, permanecendo na reserva.

Se um dos dois canais, A ou B, falhar no auto teste, ele será comandado para desligar-se, pelo detector de falha (monitor) e o canal remanescente anunciará: AURAL UNIT ONE CHANNEL (Unidade sonora com um canal). Uma falha nos dois canais desconecta (do sistema) a unidade de alarme sonoro e uma luz de alerta acender-se-á no painel múltiplo de alarmes.

Em qualquer situação os amplificadores de áudio continuarão em funcionamento.

Durante a operação normal, alguns testes dos multiplexadores RAM, ROM, sintetizador de voz, são efetuados, semelhantes ao auto teste feito quando a unidade é ligada pela primeira vez. Sempre que for pressentido algum problema interno, a unidade de alarme sonoro agirá como se estivesse sendo ligada pela primeira vez, efetuando um teste completo.

A unidade de alarme sonoro possui dois conjuntos de entrada de alimentação elétrica, internamente intercruzados com diodos, para prevenir um novo ciclo de partida, se um dos conjuntos entrar em falha.

Em caso de interrupção na alimentação, a unidade não reiniciará o funcionamento, antes de decorridos dez segundos

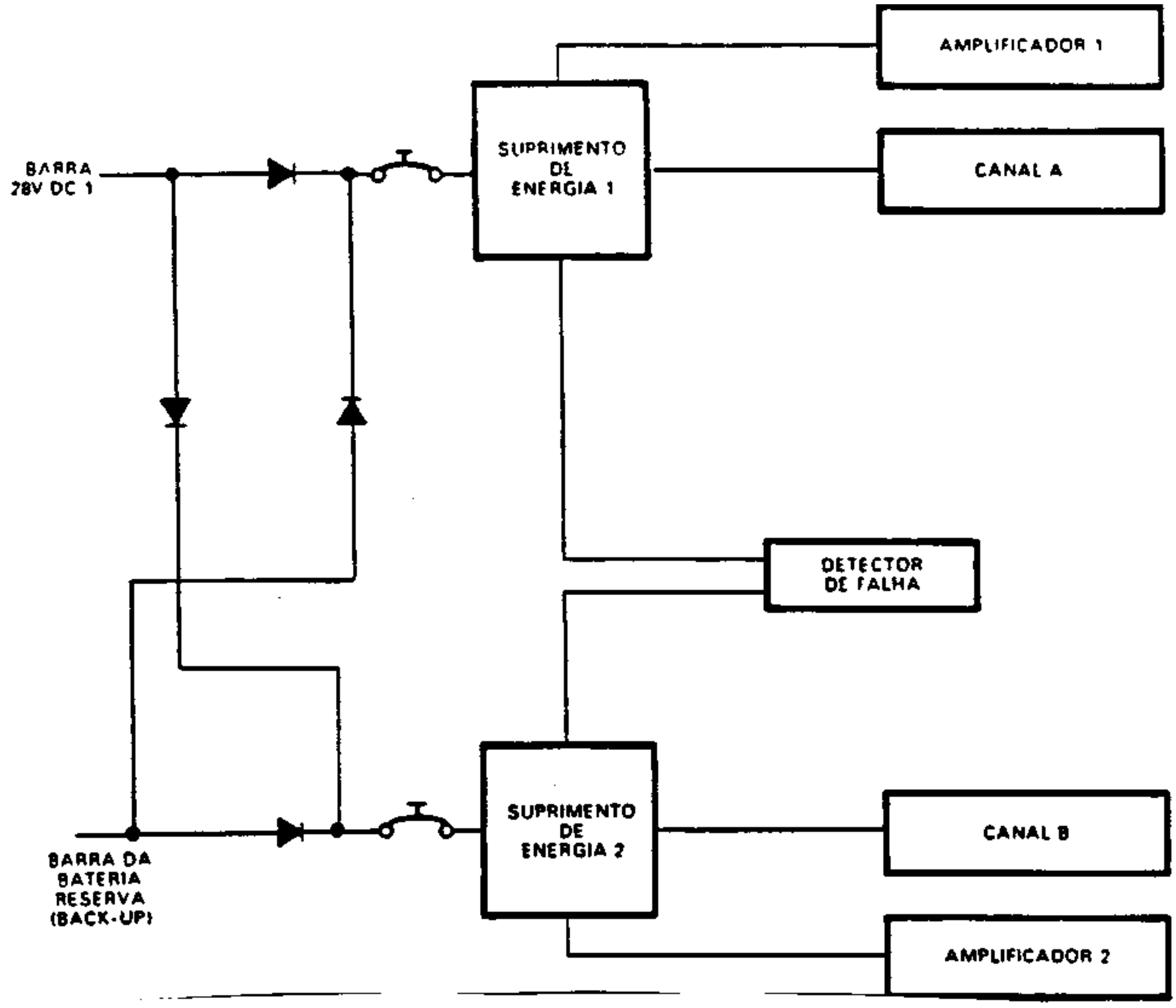


Figura 18-69 Diagrama de bloco da alimentação de energia elétrica na unidade de alarme sonoro

Operação do sistema – As luzes discretas de indicação de alarme, as luzes do painel múltiplo de alarmes e as luzes de alarme geral, permanecem apagadas durante o vôo normal.

Tão logo ocorra uma falha, a luz de alarme geral WARNING ou a CAUTION começará a piscar. Antes de cancelar estas luzes, o piloto deverá olhar no PMA e observar qual a legenda que também está piscando.

As luzes de alarme geral (LAG) e a cor na legenda, no painel múltiplo de alarmes, fornecem ao piloto uma classificação da seriedade da falha.

No caso de um alarme vermelho, o sistema de alarme sonoro gerará um triplo sinal de campainha, seguido de uma mensagem falada.

No caso de um alarme âmbar, o sistema de alarme sonoro gerará somente um sinal de campainha.

Pressionando-se qualquer um dos dois botões do cancelamento de alarme, ao lado das LAGs, ambas as LAGs apagam-se, a legenda, no PMA, fica com a luz acesa constante e os sinais sonoros são cortados.

O sistema de alarme sonoro gera, além das mensagens faladas, seis diferentes tipos de sons discretos.

Três deles são usados em falhas específicas e são definidos de acordo com padrões largamente utilizados em aviação, de maneira que a tripulação possa associá-las mais facilmente às falhas.

a) Estalido (clacker): Onda quadrada 1600 Hz modulada por um sinal de 20 Hz, dois segundos ligado e dois segundos desligado, que é ativado quando a aeronave aproxima-se da condição de STALL

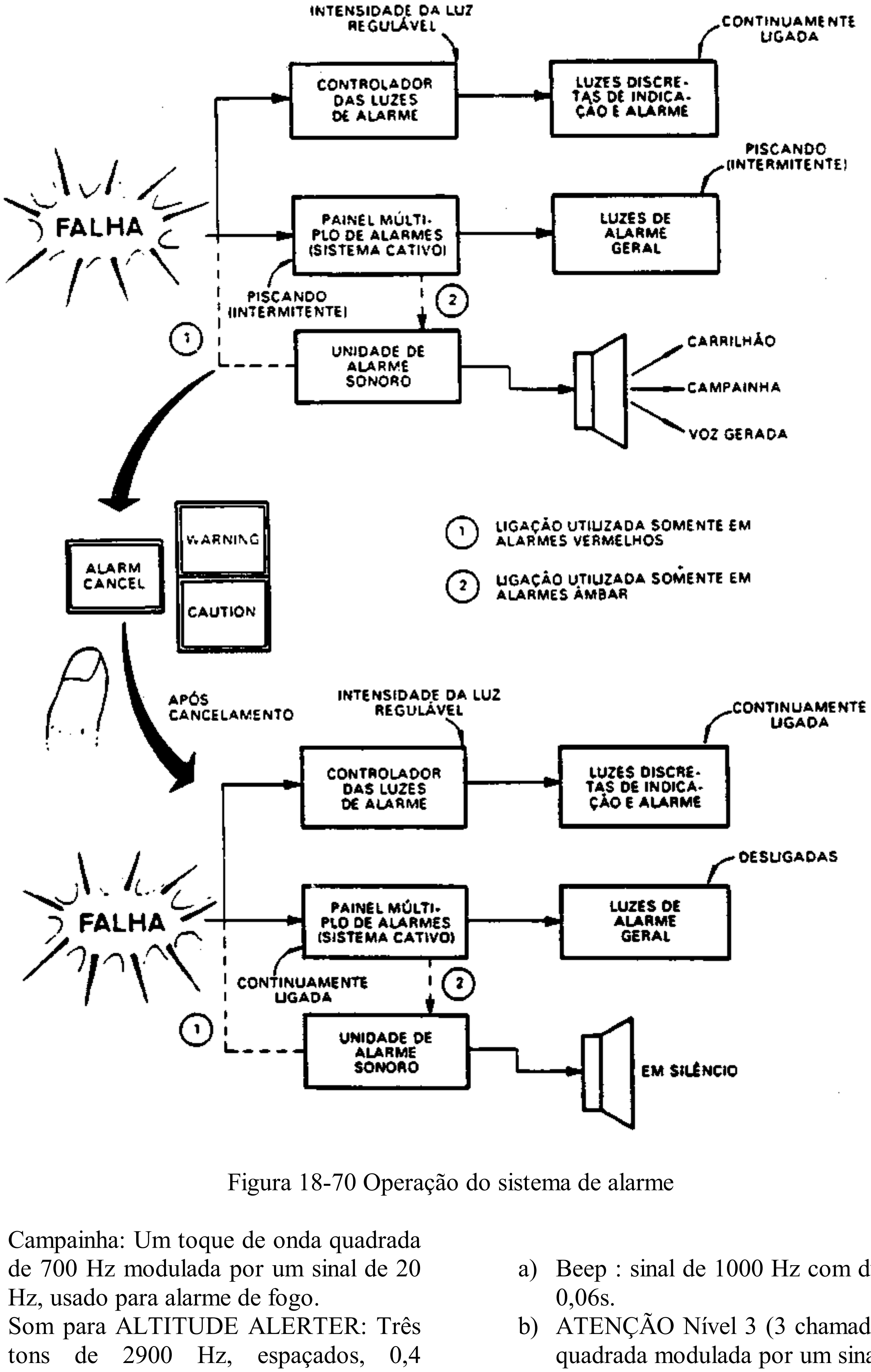

INTENSIDADE DA LUZ REGULÁVEL
CONTINUAMENTE LIGADA
CONTROLADOR DAS LUZES DE ALARME
LUZES DISCRETAS DE INDICAÇÃO E ALARME
PISCANDO (INTERMITENTE)
FALHA
PAINEL MÚLTIPLO DE ALARMES (SISTEMA CATIVO)
LUZES DE ALARME GERAL
PISCANDO (INTERMITENTE)
②
①
UNIDADE DE ALARME SONORO
CARRILHÃO
CAMPAINHA
VOZ GERADA
WARNING
ALARM CANCEL
CAUTION
① LIGAÇÃO UTILIZADA SOMENTE EM ALARMES VERMELHOS
② LIGAÇÃO UTILIZADA SOMENTE EM ALARMES ÂMBAR
APÓS CANCELAMENTO
INTENSIDADE DA LUZ REGULÁVEL
CONTINUAMENTE LIGADA
CONTROLADOR DAS LUZES DE ALARME
LUZES DISCRETAS DE INDICAÇÃO E ALARME
DESLIGADAS
FALHA
PAINEL MÚLTIPLO DE ALARMES (SISTEMA CATIVO)
LUZES DE ALARME GERAL
CONTINUAMENTE LIGADA
②
①
UNIDADE DE ALARME SONORO
EM SILÊNCIO

Figura 18-70 Operação do sistema de alarme

b) Campainha: Um toque de onda quadrada de 700 Hz modulada por um sinal de 20 Hz, usado para alarme de fogo.
c) Som para ALTITUDE ALERTER: Três tons de 2900 Hz, espaçados, 0,4 segundos ligado e 0,4 segundos desligado.

Existe também, um som de bip e dois tipos de som mestre, para chamar a atenção (ATENÇÃO).

a) Beep : sinal de 1000 Hz com duração de 0,06s.
b) ATENÇÃO Nível 3 (3 chamadas): Onda quadrada modulada por um sinal de 4 Hz gerada sempre que uma falha de emergência for sentida.
c) ATENÇÃO nível 2 (1 chamada): Similar ao ATENÇÃO nível 3, mas com somente uma chamada, repetida a cada 5

segundos. O som WHOOP-WHOOP e as mensagens faladas PULL UP e GLIDE SLOPE, são gerados externamente por um equipamento opcional que é o Sistema de Alarme de Aproximação do Solo (GPWS).

SISTEMA GRAVADOR DE VOZ

O sistema gravador de voz registra toda conversação e comunicação entre a tripulação de vôo, com o propósito de auxiliar as investigações, em caso de acidente da aeronave.

O sistema prevê uma gravação contínua, nos últimos 30 minutos de vôo e oferece quatro pistas separadas para gravação de sinais transmitidos e recebidos pelas estações do piloto, co-piloto, sistema de endereçamento aos passageiros e área da cabine de comando.

Os sinais são gravados numa fita magnética, protegida contra quaisquer acidentes da aeronave.

Descrição e localização dos componentes: - O sistema de gravação de voz é composto de:

1) Uma unidade de controle, instalada no painel dianteiro do pedestal.
2) Uma unidade gravadora, instalada no cone de cauda.
3) Um balizador acústico submarino, instalado no mesmo conjunto da unidade gravadora.
4) Um interruptor de impacto, instalado no cone de cauda.

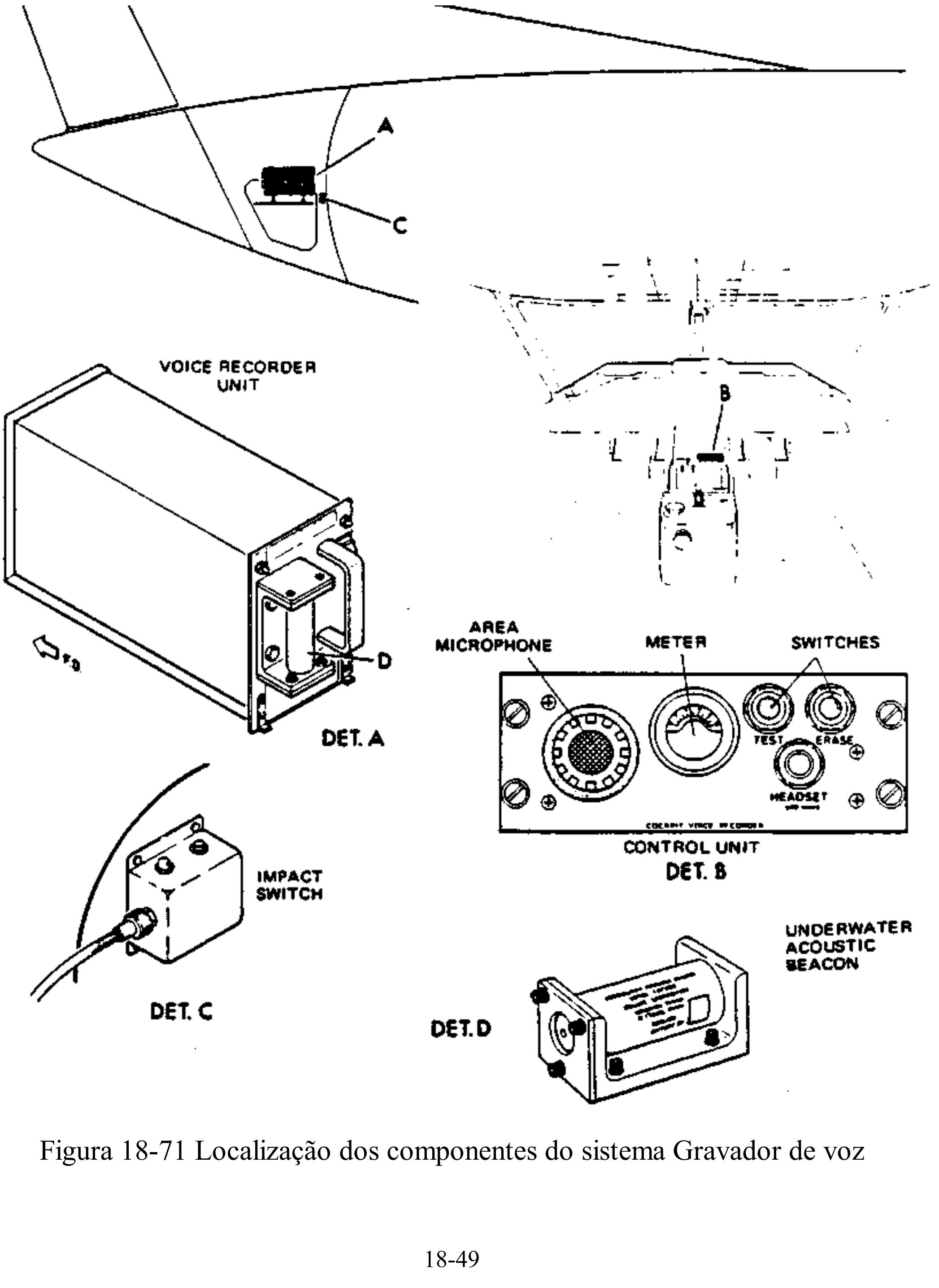

A
C
B
VOICE RECORDER UNIT
FD
D
DET. A
AREA MICROPHONE
METER
SWITCHES
TEST
ERASE
HEADSET
COCKPIT VOICE RECORDER
CONTROL UNIT
DET. B
IMPACT SWITCH
DET. C
UNDERWATER ACOUSTIC BEACON
DET. D

Figura 18-71 Localização dos componentes do sistema Gravador de voz

Unidade de controle – A unidade de controle provê meios, à tripulação de, remotamente, controlar e testar a unidade gravadora de voz e também apaga a gravação, se algumas condições porem satisfeitas.

A unidade de controle contém um microfone de área, um indicador de nível de sinal, um "Jack" para fones e interruptores de teste e apagamento da fita.

O microfone de área detecte qualquer ruído da cabine de comando e envia este sinal para a unidade gravadora de voz a fim de ser gravado em uma das quatro pistas.

O medidor indica o nível dos sinais sendo gravados.

Um "Jack" de fone é instalado, a fim de monitorar o sinal de áudio do teste, que é gerado através da unidade gravadora de voz, quando o interruptor TEST é pressionado.

O interruptor de apagamento tem a finalidade de apagar a gravação da fita, depois do vôo, quando desejado.

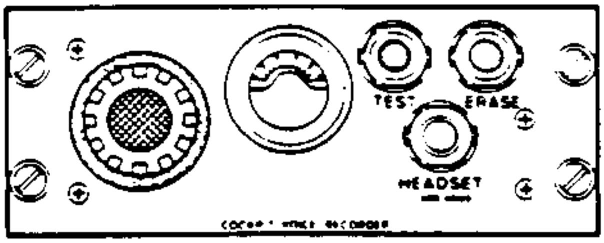


Figura 18-72 Unidade de controle

Unidade gravadora de voz – A unidade é uma caixa de cor laranja (internacional), para fácil localização do gravador de voz, em caso de acidente da aeronave.

Esta unidade contém uma fita magnética para gravação simultânea, nas quatro pistas, dos últimos 30 minutos de comunicação da aeronave.

A fita é do tipo sem fim (LOOP) e sempre inicia uma regravação após decorridos os 30 minutos iniciais.

As quatro pistas disponíveis, recebem sinais da estação do piloto, co-piloto, microfone de área e sistema de endereçamento aos passageiros. As pistas estão distribuídas como abaixo indicadas.

CANAL 1 – Sistema de endereçamento aos passageiros (ou observador).
CANAL 2 – Sistema de áudio do co-piloto.
CANAL 3 – Sistema de áudio do piloto.
CANAL 4 – Microfone de área.

O sistema inicia a gravação destes sinais, sempre que as barras CC são energizadas. Portanto não existe nenhum interruptor (ON/OFF) no sistema de alimentação. Há um disjuntor para proteção dos circuitos internos, assim como um interruptor de impacto, o qual é instalado em série com a alimentação de 28 VCC de entrada, para prevenir o apagamento da fita, após o impacto.

A unidade gravadora de voz suporta um impacto de até 100 Gs e uma temperatura de 1100º C. A unidade não é afetada por água doce ou salgada.

Balizador acústico submarino – O balizador acústico submarino está instalado na unidade gravadora de voz, a fim de auxiliar a equipe de busca e salvamento, na localização da unidade gravadora, em caso da aeronave acidentar-se no mar.

Ele consiste de uma bateria de mercúrio, um módulo eletrônico e um transdutor.

A bateria fornece energia para o módulo eletrônico, por um período de 12 a 30 dias (dependendo do tipo instalado), assim que a unidade entra em contato com a água. O módulo eletrônico, que nada mais é que um oscilador aciona o transdutor que, por sua vez, produz uma onda acústica de 37 KHz, que pode ser detectada por um sonar, num raio de aproximadamente, até 2 milhas náuticas.

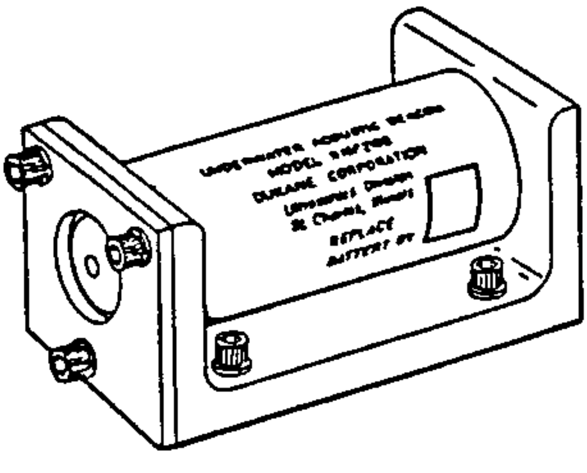


Figura 18-73 Balizador acústico submarino

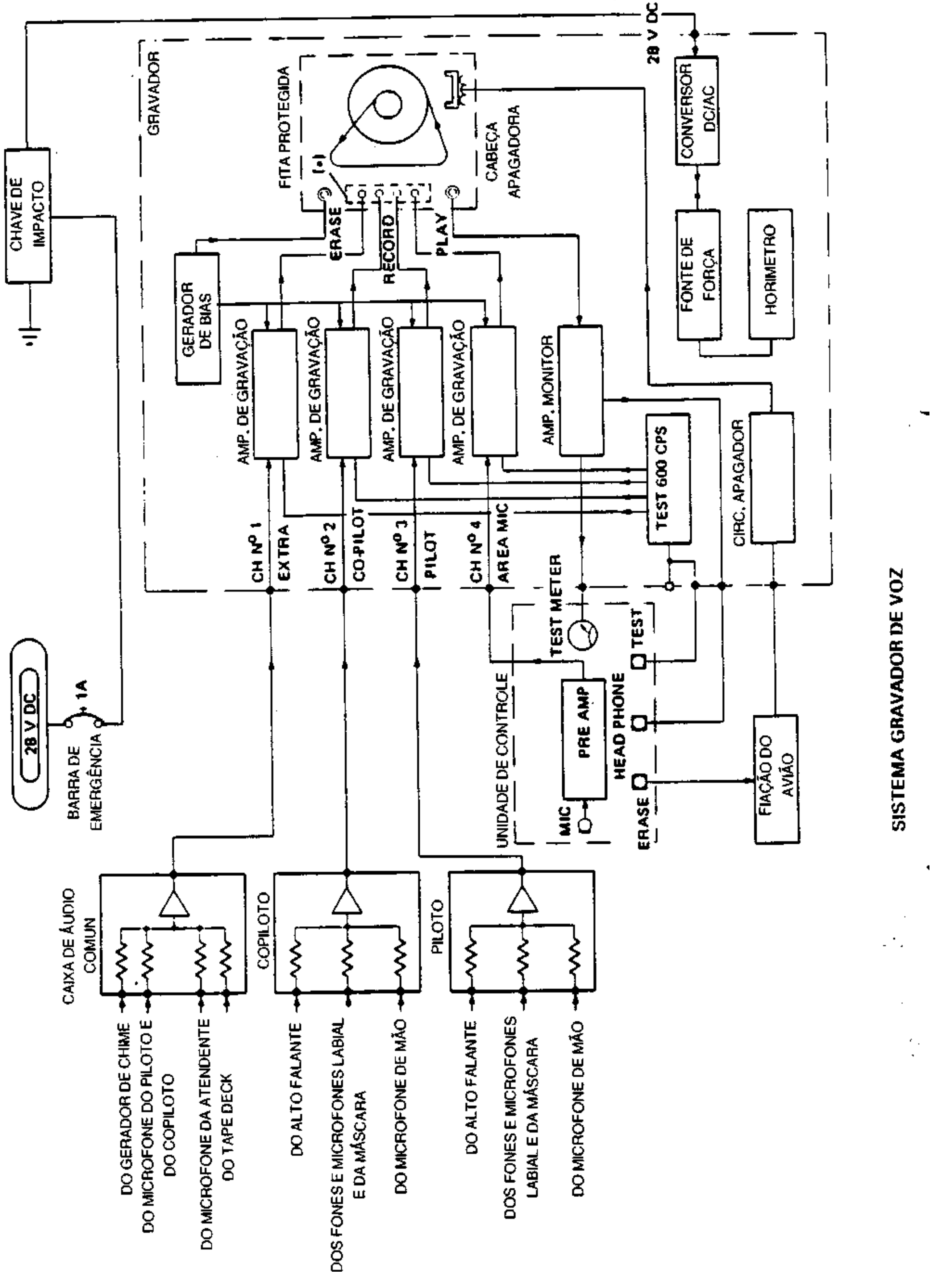

SISTEMA GRAVADOR DE VOZ
28 V DC
CHAVE DE IMPACTO
GRAVADOR
FITA PROTEGIDA
CABEÇA APAGADORA
ERASE
RECORD
PLAY
GERADOR DE BIAS
AMP. DE GRAVAÇÃO
AMP. DE GRAVAÇÃO
AMP. DE GRAVAÇÃO
AMP. DE GRAVAÇÃO
AMP. MONITOR
CONVERSOR DC/AC
FONTE DE FORÇA
HORIMETRO
TEST 600 CPS
CIRC. APAGADOR
CH Nº 1
EXTRA
CH Nº 2
CO-PILOT
CH Nº 3
PILOT
CH Nº 4
AREA MIC
TEST METER
TEST
HEAD PHONE
ERASE
MIC
PRE AMP
UNIDADE DE CONTROLE
FIAÇÃO DO AVIÃO
28 V DC
1A
BARRA DE EMERGÊNCIA
CAIXA DE ÁUDIO COMUN
COPILOTO
PILOTO
DO GERADOR DE CHIME
DO MICROFONE DO PILOTO E DO COPILOTO
DO MICROFONE DA ATENDENTE
DO TAPE DECK
DO ALTO FALANTE
DOS FONES E MICROFONES LABIAL E DA MÁSCARA
DO MICROFONE DE MÃO
DO ALTO FALANTE
DOS FONES E MICROFONES LABIAL E DA MÁSCARA
DO MICROFONE DE MÃO

Figura 18-74 Sistema Gravador de voz

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÃO

Sistema de comunicação em VHF

Normalmente as aeronaves são equipadas com dois sistemas distintos de comunicação em VHF. O sistema VHF opera na faixa de frequência de 118.00 MHz a 135.975 MHz, perfazendo um total de 720 canais, com espaçamento de 25 KHz entre eles.

Descrição e localização dos componentes –

Cada sistema é composto por:

- Um transceptor instalado no compartimento eletrônico.
- Um painel de controle de VHF, instalado no painel principal.
- Uma antena de VHF, instalada na fuselagem.

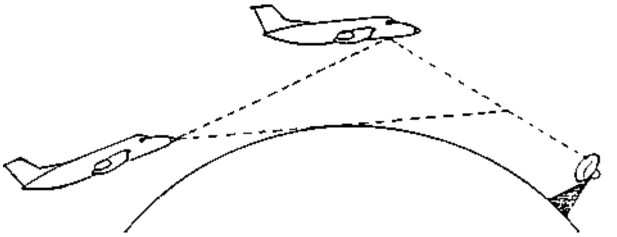


Figura 18-75 Comunicação em VHF

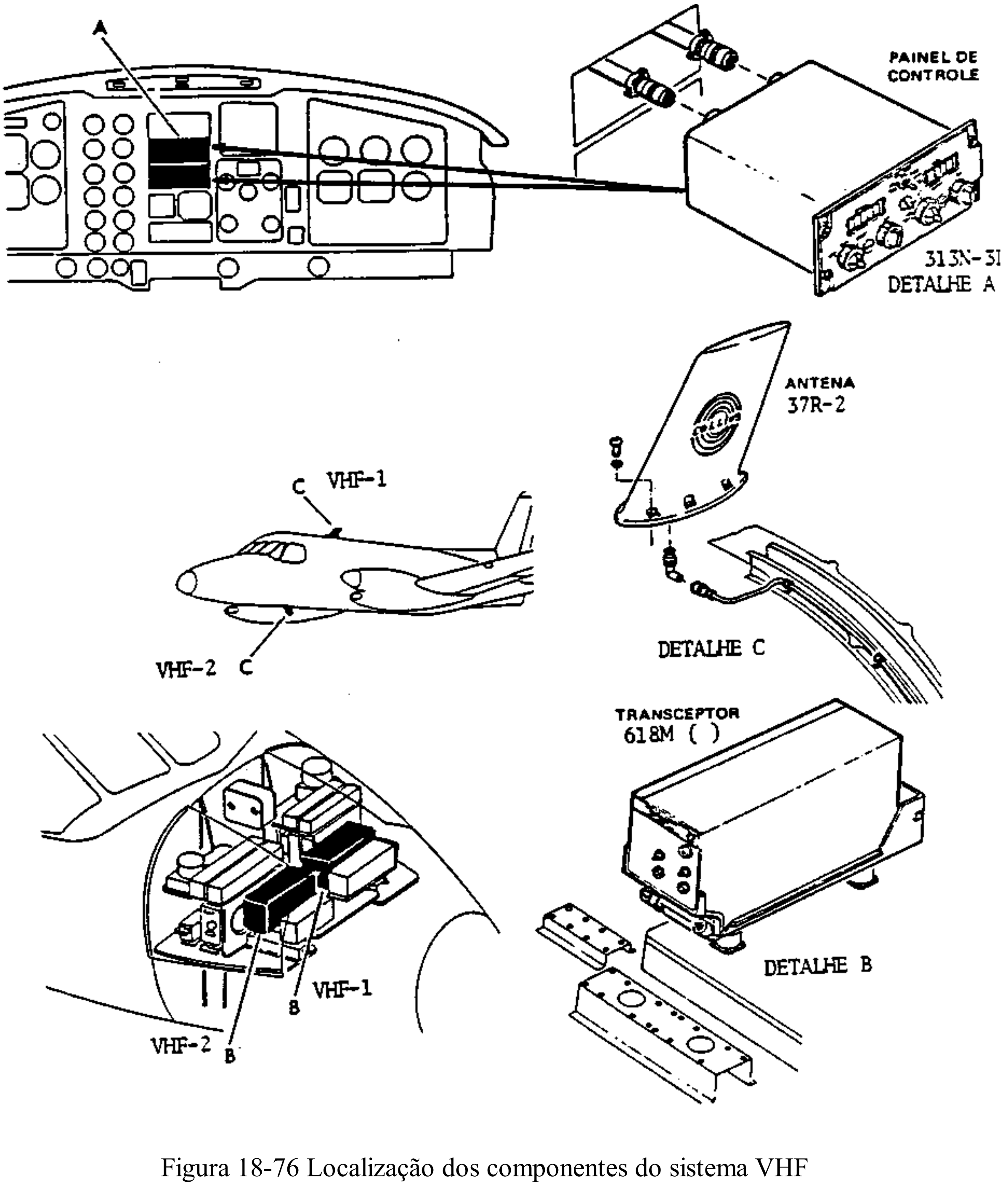

A
PAINEL DE CONTROLE
313N-31
DETALHE A
ANTENA
37R-2
C VHF-1
VHF-2 C
DETALHE C
TRANSCEPTOR
618M ( )
DETALHE B
VHF-1
B
VHF-2
B

Figura 18-76 Localização dos componentes do sistema VHF

Painel de controle de VHF – O painel de controle estabelece e apresenta as condições de operação para todas as funções do transceptor de VHF.

Dependendo da posição, o seletor de função ativa, desativa, ou testa a operação do transceptor.

Cada painel possui os seguintes controles:

- Seletor – Com as posições OFF – PWR – TEST

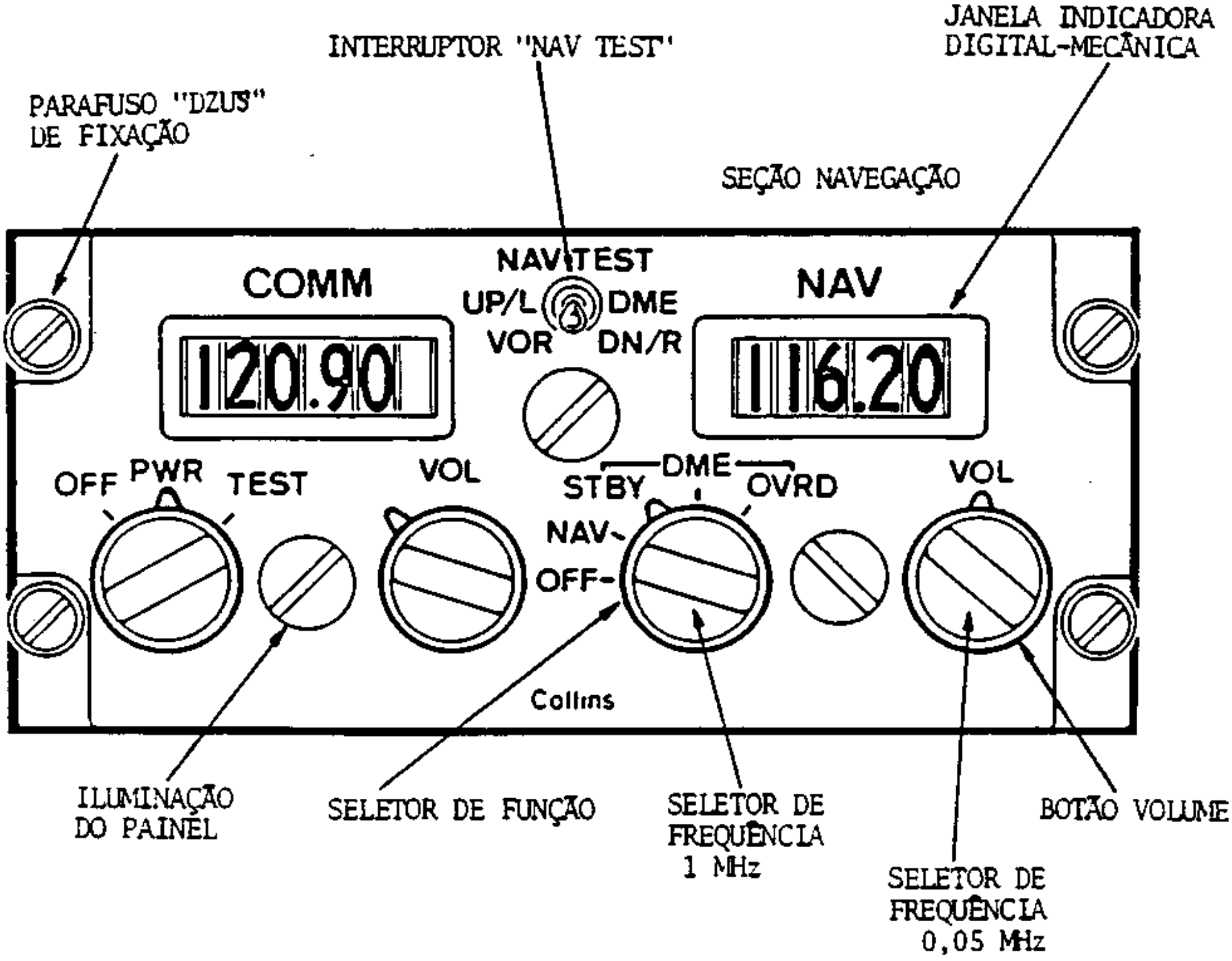
- OFF – Desliga o sistema VHF.

- PWR – O sistema é alimentado, permitindo transmissão e recepção.

- TEST – O circuito do abafador (Squelch) é removido, permitindo a recepção de qualquer ruído de fundo no áudio.

- Controle de volume – Permite ajustar o nível de saída de áudio do receptor.

- Chaves seletoras de frequência – A chave da esquerda, concêntrica ao seletor (OFF-PWR-TEST), seleciona as freqüências de VHF em intervalos de 1MHz. A chave da direita, concêntrica ao controle de volume, seleciona as freqüências de VHF em intervalos de 0.025 MHz. As freqüências selecionadas são mostradas na janela indicadora.



INTERRUPTOR "NAV TEST"
JANELA INDICADORA DIGITAL-MECÂNICA
PARAFUSO "DZUS" DE FIXAÇÃO
SEÇÃO NAVEGAÇÃO
NAV TEST
COMM
UP/L
DME
VOR
DN/R
NAV
120.90
116.20
OFF
PWR
TEST
VOL
DME
STBY
OVRD
NAV
OFF
VOL
Collins
ILUMINAÇÃO DO PAINEL
SELETOR DE FUNÇÃO
SELETOR DE FREQUÊNCIA 1 MHz
BOTÃO VOLUME
SELETOR DE FREQUÊNCIA 0,05 MHz

Figura 18-77 Painel de controle de VHF

Transceptor de VHF

O transceptor de VHF é uma unidade totalmente transistorizada, dispondo de 720 canais para comunicação em voz.

Antena de VHF

A antena de VHF é do tipo “Blade”. A antena do VHF 1 está instalada na parte superior da fuselagem e a do VHF 2 na parte inferior.

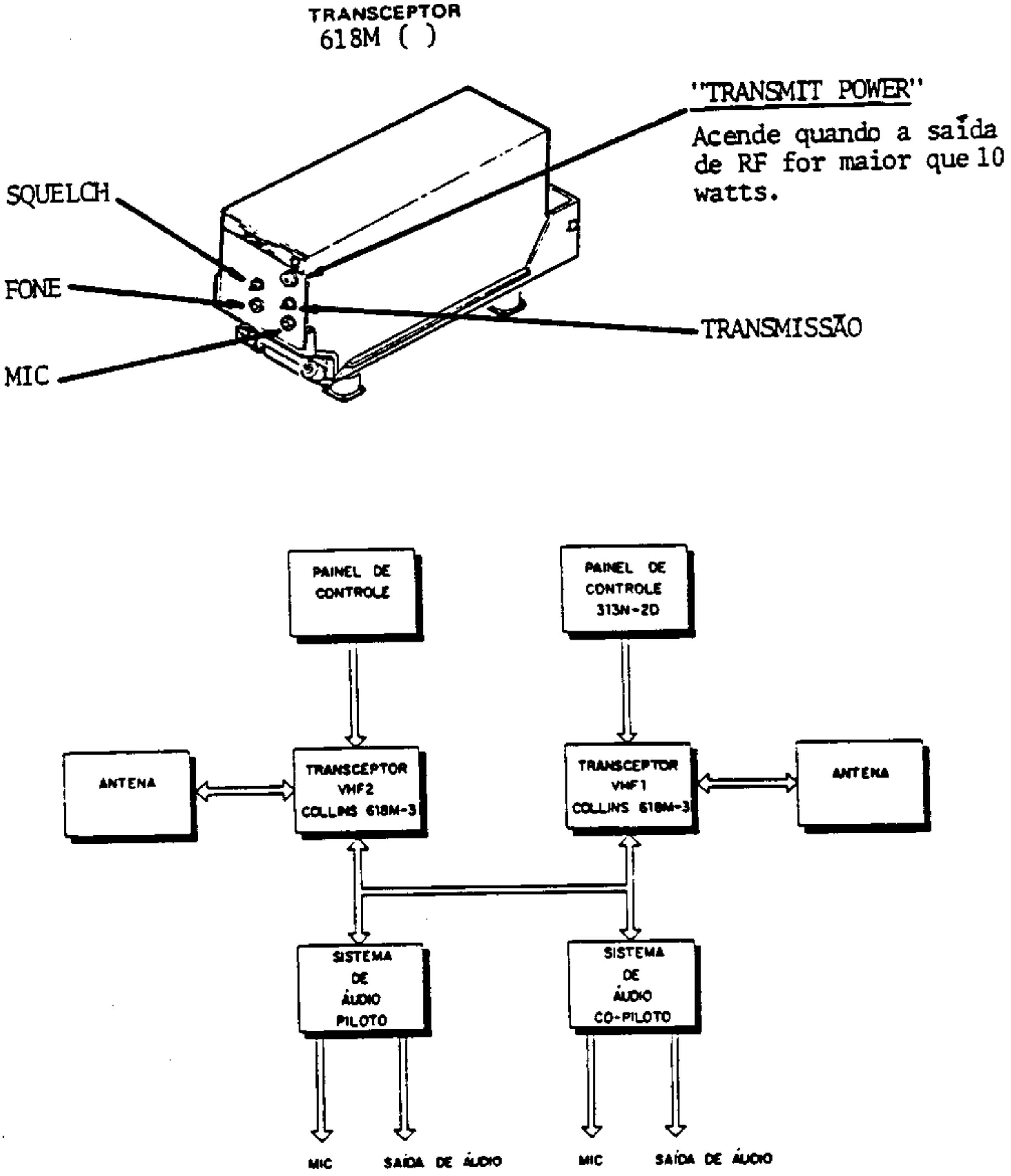

TRANSCEPTOR
618M ( )
"TRANSMIT POWER"
Acende quando a saída de RF for maior que 10 watts.
SQUELCH
FONE
MIC
TRANSMISSÃO
PAINEL DE CONTROLE
PAINEL DE CONTROLE 313N-2D
ANTENA
TRANSCEPTOR VHF2 COLLINS 618M-3
TRANSCEPTOR VHF1 COLLINS 618M-3
ANTENA
SISTEMA DE ÁUDIO PILOTO
SISTEMA DE ÁUDIO CO-PILOTO
MIC
SAÍDA DE ÁUDIO
MIC
SAÍDA DE ÁUDIO

Figura 18-78 Transceptor de VHF

Especificações técnicas:

Energia requerida	
Recepção	27,5 VCC 1A max.
Transmissão	27,5 VCC 7A Max.
Frequência	
Faixa	118.00 a 135.95 MHz
Canais	720
Incrementos	25 KHz
F.I.	20 MHz
Modulação	90% AM
Potência de saída	
R.F. nominal	25 Watts
R.F. mínimo	20 Watts
Áudio	10 mW com 30% de modulação
Peso do transceptor	4,99 Kg
Temperatura	-54 a +55ºC
Umidade	95%
Altitude	55000 pés
Tempo	
Troca de canal	40 ms max.
Intervalo Rx / Tx	40 ms max.
Impedância	
Saída de antena	52 Ohms
Saída de áudio	600 Ohms
Entrada de áudio	150 (carvão ou dinâmico transistorizado
Antena 37R-2	
Polarização vertical	52 Ohms
Resposta de áudio	300 a 2500 Hz

Sistema de comunicação HF-230

É um equipamento de bordo que permite comunicação a longa distância através de sinais modulados por voz em AM ou em SSB, abrange a faixa de frequência de 2 a 29.999 MHz perfazendo um total de 280.000 canais espaçados em 100Hz.

O sistema provê operação simplex, semi-duplex ou somente recepção.

As freqüências discretas em USB e AM são para operação SIMPLEX somente, ou seja, transmissão e recepção na mesma frequência. Na posição CHAN qualquer um dos 40 canais programados pelo usuário ou um dos 176 canais ITU (International Telecommunication Union) programados, pode ser selecionado.

A sintonia do conjunto HF 230 é totalmente automática, tem uma potência de RF de 100W p.e.p.(potência de envelope de pico).

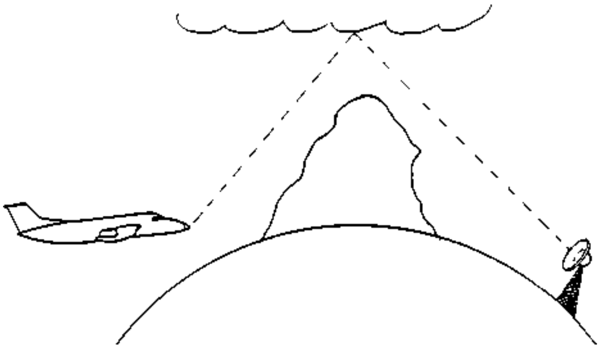


Figura 18-79 Sistema de comunicação HF

Descrição e localização dos componentes

- O sistema é composto por:

- Um painel de controle de HF, instalado no painel principal.
- Um transceptor de HF, instalado no compartimento eletrônico.
- Um amplificador de potência instalado no compartimento eletrônico.
- Um acoplador automático de antena, instalado no armário elétrico.
- Uma antena, instalada na parte superior da aeronave.

Painel de controle do HF: Esse painel é uma unidade fundamentada em um microprocessador que eletricamente varre os interruptores do painel frontal para as informações de modo e frequência / canal, as quais são apresentadas no "display" e provê dados seriados para o transceptor.

O microprocessador, também aplica um pulso para o acoplador sempre que a frequência é trocada ou quando o interruptor FREQ/CHAN é trocado de posição.

O painel de controle CTL-230, possui na sua parte frontal os seguintes controles e indicações:

- Botão CLARIFIER – Este controle permite que o sinal recebido possa ser variado a ± 100 Hz, quando o sistema estiver operando nas modalidades SSB. O ajuste é feito para o ponto de máxima inteligibilidade do sinal recebido. A função desempenhada por este controle não afeta a recepção em AM e é desativada, durante a transmissão.
- Botão OFF / VOL – Permite ligar e desligar o sistema e controlar o nível de áudio.

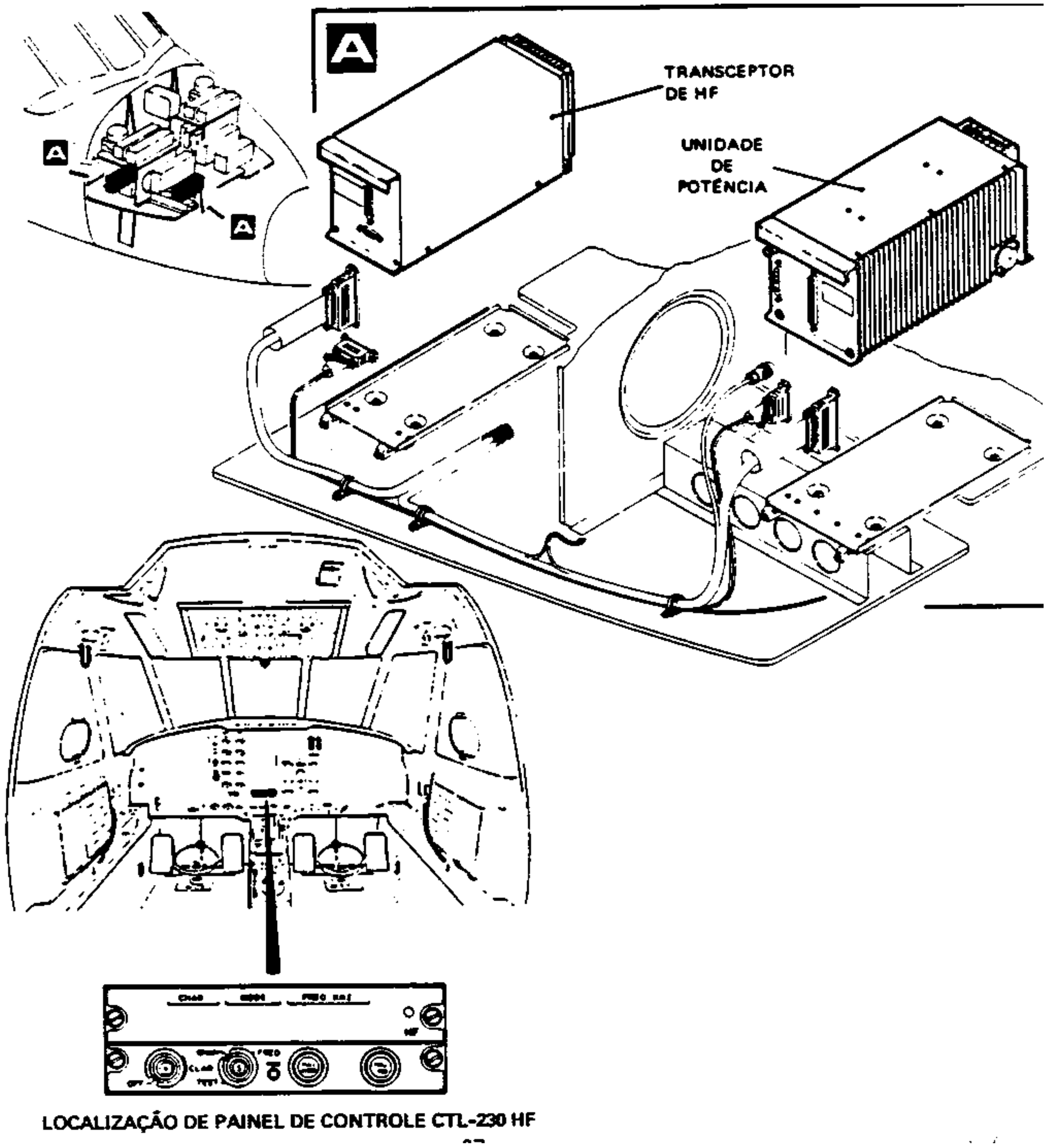

A
A
A
A
TRANSCEPTOR DE HF
UNIDADE DE POTÊNCIA
CHAN
MODE
FREQ KHZ
HF
LOCALIZAÇÃO DE PAINEL DE CONTROLE CTL-230 HF

Figura 18-80 Localização dos componentes do sistema HF

- Botão SQUELCH / TEST – Com o botão na posição TEST o circuito abafador de ruído é eliminado do circuito áudio do receptor; nesta posição será ouvido o máximo ruído de fundo (dependendo da posição do botão VOL).

Girando-se no sentido horário obtem-se o limiar requerido para recepção em todas as modalidades do sistema.

- Botão CHAN / FREQ – Este interruptor seleciona dois modos de operação: CHAN e FREQ.

- Na posição FREQ, qualquer um dos 280.000 canais podem ser selecionados com incrementos de 100 Hz.
- Na posição CHAN qualquer dos 40 canais programados pelo usuário ou um dos 176 canais ITU programados pode ser selecionado.

Todos os 176 canais ITU são semiduplex ou seja, transmitem numa frequência e recebe em outra.

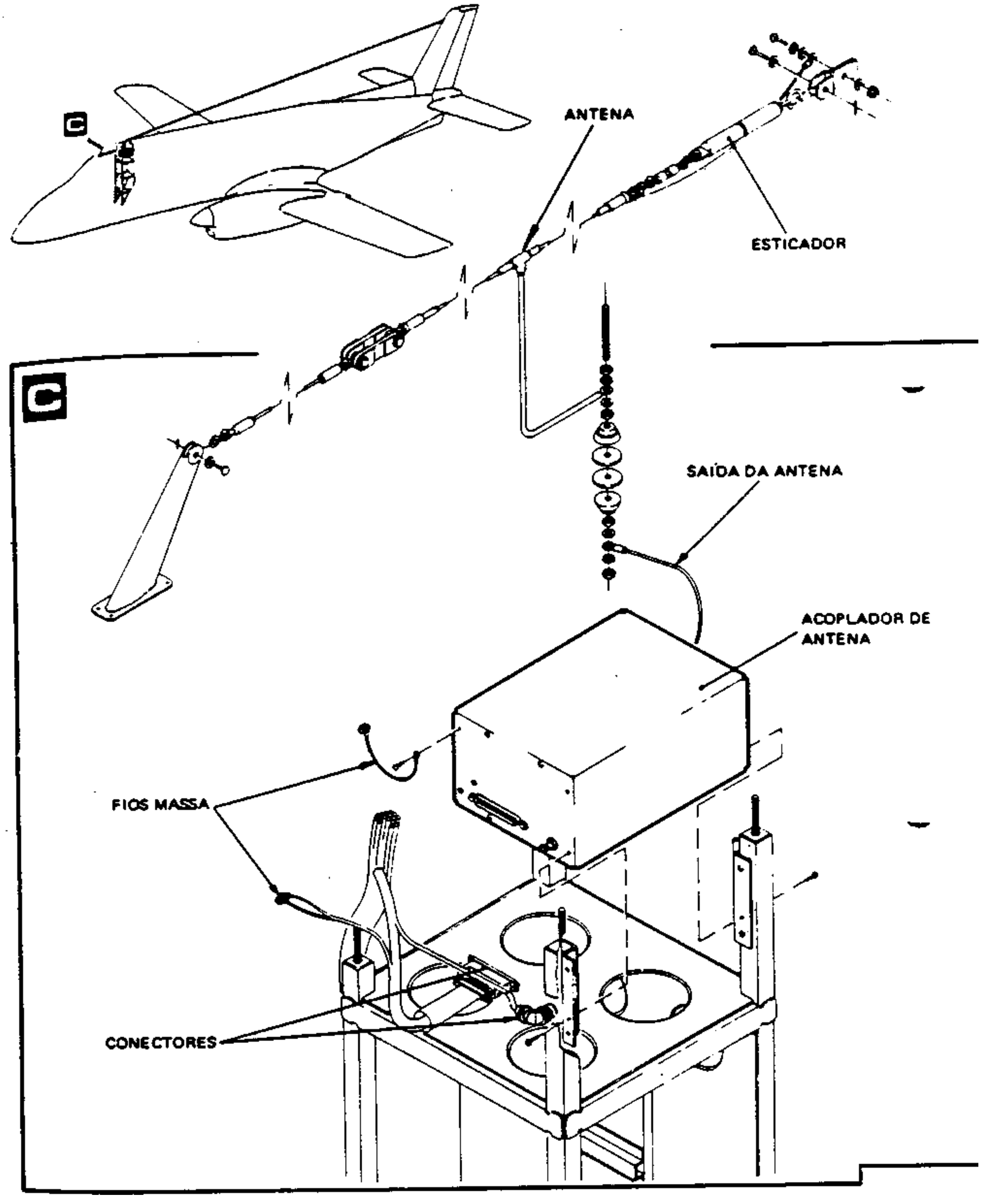

C
ANTENA
ESTICADOR
C
SAÍDA DA ANTENA
ACOPLADOR DE ANTENA
FIOS MASSA
CONECTORES

Figura 18-81 Instalação da antena de HF

- Botão de programação (PGM) – É usado para programar os 40 canais, selecionados pelo usuário.
- 1 MHz CONTROL – Montado concêntricamente com o controle PULL MODE / 100 kHz, seleciona os dígitos de 1 MHz quando no modo FREQ e os dígitos de centésimo e milésimo quando em CHAN, que correspondem os 2 dígitos indicadores de faixa dos canais ITU, no display CHAN.
- PULL MODE / 100 kHz – Quando pressionado, este controle seleciona os dígitos de

100 kHz no display de frequência, com o controle CHAN / FREQ na posição FREQ.

Quando puxado seleciona os modos de operação AM, USB e LSB, quando o controle CHANEL / FREQUENCY estiver na posição FREQ; se estiver na posição CHANEL com um canal ITU selecionado, selecionará as modalidades TEL.

Se estiver, com um dos 40 canais selecionados pelo operador, poder-se-á selecionar um dos cinco modos de operação.

- 10 kHz CONTROL – Este controle montado concentricamente com o controle de 100 Hz / 1 kHZ, seleciona os dígitos de 10 kHz, quando o controle CHAN / FREQ estiver na posição FREQ. Quando estiver em CHAN, seleciona os dígitos das unidades e das dezenas, que corresponde ao número do canal selecionado no display CHAN.
- CHAN DISPLAY – Mostra o canal de ITU ou os canais programados pelo usuário, quando o sistema estiver posicionado para CHAN. Quando em FREQ aparecerão traços no display.
- MODE DISPLAY – Mostra o modo de operação do sistema (USB – AM – LSB – TEL SUP CAR ou TEL PLT CAR).
- FREQ kHz DISPLAY – Mostra a frequência de operação e os indicadores de recepção (R) ou transmissão (T).

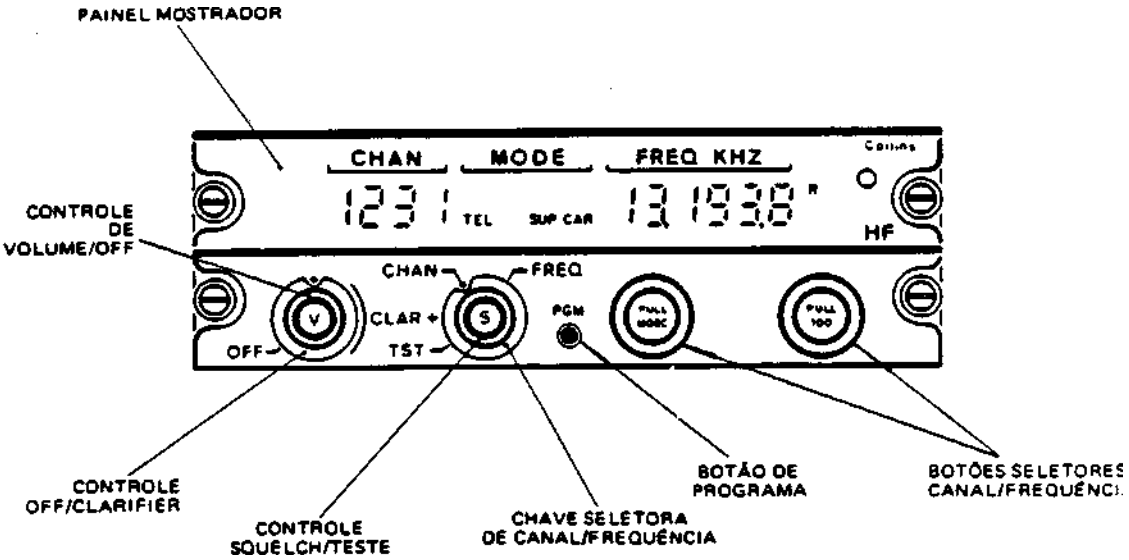

PAINEL MOSTRADOR
CHAN
MODE
FREQ KHZ
Collins
1231
TEL
SUP CAR
131938
R
HF
CONTROLE DE VOLUME/OFF
CHAN
FREQ
V
CLAR +
S
PGM
PULL MODE
PULL 100
OFF
TST
CONTROLE OFF/CLARIFIER
CONTROLE SQUELCH/TESTE
CHAVE SELETORA DE CANAL/FREQUÊNCIA
BOTÃO DE PROGRAMA
BOTÕES SELETORES
CANAL/FREQUÊNC

Figura 18-82 Painel de controle do HF

- Transceptor de HF- Faz parte do sistema de comunicação, o qual opera na faixa de frequência de 2 a 29.999 MHz, perfazendo um total de 280.000 canais com espaçamento de 100 Hz.
- Amplificador de potência – A finalidade do amplificador de potência é fornecer amplificação de HF capaz de produzir uma potência de 100W PEP na saída, a qual corresponde a 25W médio.
- Acoplador Automático de Antena – Este acoplador, fornece o casamento automático de impedância, de várias antenas, de modo a apresentar uma carga resistiva de 50 Ohms ao amplificador de potência.

Esse efeito é conseguido pela detecção de uma amostra do sinal de RF a fim de determinar sua carga. Então, os controles lógicos internos comutam uma quantidade de impedância e/ou capacitância, capaz de sintonizar o acoplador automático de antena, para o perfeito casamento (de 50 Ohms, com o amplificador de potência).

Operação do Sistema HF

Ajuste inicial do sistema – Assegure-as de que os interruptores estejam em ON e os disjuntores pressionados. Gire o interruptor ON-OFF para a direita e espere 15 minutos (tempo para estabilização de frequência).

OBS: Sempre que um novo canal é selecionado, o acoplador de antena estará desalinhado. Isto faz com que a antena fique fora de sintonia para o novo canal selecionado, reduzindo a sensibilidade do receptor. Para evitar a perda de recepção de sinais de menor intensidade, recomenda-se que o PTT seja pressionado momentaneamente para que o acoplador de antena inicie um ciclo de sintonia para o novo canal. O tempo necessário de sintonia é de 5 a 15 segundos, durante os quais um sinal contínuo de 1000 Hz será ouvido nos fones ou alto-falantes. Um segundo após ter completado o ciclo de sintonia, o sinal cessa, indicando que o equipamento está pronto para uso. Caso não haja a sintonia do acoplador em ±30 segundos o tom de 1000 Hz inicia um BIP indicando uma falha do equipamento ou a necessidade da tentativa de um novo ciclo de sintonia.

Comunicação em voz – A transmissão ou recepção do sinal de áudio pode ser efetuada na mesma frequência ou em freqüências diferentes, dependendo do modo de operação selecionado no painel de HF.

NOTA: Se o sintetizador não sintonizar, na frequência selecionada, um tom BIP, será injetado no sistema de áudio e o transmissor será inibido.

Para recepção, o controle individual de volume, do sistema de HF, no painel de controle de áudio, deve ser puxado e girado de modo a obter-se um nível de áudio confortável. Gire lentamente para a direita, o controle "S", até que o ruído desapareça.

ATENÇÃO: Não gire o controle muito rapidamente, o circuito"Squelch" tem uma constante de tempo relativamente larga e se o controle for muito além do ponto correto, poderá resultar no emudecimento dos sinais fracos.

Seleção de freqüência – A seleção de freqüência envolve a chave CHAN / FREQ e o controle de freqüência/canal do painel de controle, assim como da programação utilizada e do multiplicador/divisor de freqüência do transceptor.

A sintonia direta do painel de controle permite a seleção de qualquer freqüência dentro da faixa operacional de 2.0 a 29.999 kHz, com espaçamento de 100 Hz. As linhas Freq/Data do painel de controle enviam os dados da freqüência selecionada em forma seriada ao programador.

A sintonia por canal, no painel de controle, permite a operação de qualquer um dos 40 canais programados pelo operador ou qualquer um dos 176 canais pré-programados pelo fabricante.

As freqüências de transmissão e recepção do sistema são fornecidas pelo sintetizador do transceptor.

No modo de sintonia direta o programador do painel de controle envia dados da freqüência selecionada sob a forma seriada para o sintetizador.

No modo de sintonia por canal o painel de controle usa informações armazenadas na memória para enviar ao programador.

Se o sintetizador não estiver locado ao oscilador padrão, um BIP é levado ao sistema de áudio e o transmissor é inibido.

- Programação – Os 40 canais programados pelo usuário podem ser conseguidos (programados) facilmente tanto em terra como em vôo. Todas as informações de programação são armazenadas numa memória não volátil e podem ser facilmente requisitados, selecionando-se o número do canal desejado.

Há três tipos de programação:

- Semiduplex – Duas freqüências diferentes são programadas: uma para recepção e uma para transmissão. Um dos modos disponíveis.(LSB, USB, AM, TEL SUP CAR ou TEL PLT CAR) também é atribuído ao canal selecionado. A semi-duplex é uma modalidade também utilizada pelas estações de radiotelefonia marítima.
- Simplex – A mesma freqüência é programada para recepção e para transmissão. Um dos modos de operação disponíveis (LSB, USB, AM, TEL SUP CAR ou TEL PLT CAR) é também atribuído ao canal selecionado.
- Somente recepção – O usuário programa uma freqüência para recepção e a ela atribui um dos modos de operação disponível, mas não programa a freqüência de transmissão. Os canais somente para a recepção são usados para escuta de freqüência padrão (tempo, horário, informações sobre estações OMEGA, estações de BROADCASTS, para alerta a geofísica).

Procedimentos de programação

Modo Simplex

a) Com o sistema energizado, certifique-se que o seletor CHAN / FREQ esteja posicionado em CHAN.

b) Gire o seletor externo, da esquerda, até que um dos canais (1 a 40) apareça no lado direito do display de CHAN. Em seguida, opere o seletor externo da direita a fim de selecionar o número do canal desejado.
c) Pressione o botão PGM uma vez a fim de dar início à seqüência de programação. Todo display FREQ kHz, começa a piscar lentamente.

Selecione a freqüência de operação através dos quatro seletores de freqüência. Este procedimento é idêntico ao descrito anteriormente para sintonia se sua freqüência discreta.

A frequência selecionada aparecerá no display. Em seguida selecione o modo de operação desejado, puxando o botão PULL MODE e girando-o até que o modo de operação desejado apareça no display.

Com a frequência e modo desejado sendo mostrados, pressione o botão PGM uma vez mais, a fim de armazenar os dados. O display do CTL ficará apagado por um curto espaço de tempo, confirmando o armazenamento dos dados.

Quando o display retornar a sua condição normal, estará piscando mais rapidamente, mostrando a frequência de transmissão (a mesma programada para recepção). A partir deste ponto, há 20 segundos disponíveis para completar a programação.

Se nenhuma modificação for efetuada a frequência de transmissão torna-se inválida e a programação terá sido somente para a frequência de recepção. Contudo se o PGM for pressionado uma vez mais, a frequência será armazenada e o display ficará apagado, por um curto espaço de tempo, como confirmação do armazenamento.

Em seguida o display volta a sua condição normal, mostrando o número do canal, o modo de operação e a frequência.

Na operação simplex as freqüências de transmissão e recepção são iguais. A frequência de recepção aparece no display, indicada com a letra "R" à direita, até que o microfone seja acionado quando, então, a letra "T" aparecerá a fim de indicar a frequência de transmissão. Se as letras aparecem piscando, é sinal de alguma falha no equipamento.

Somente para Recepção – Quando programado um canal somente para recepção, só a frequência de recepção é introduzida e armazenada. Esta programação é semelhante ao do canal simplex, exceto que o botão PGM é pressionado somente uma vez após a entrada da frequência de recepção e do modo de operação.

A programação é encerrada sem entrar sem entrara com a frequência de transmissão.

Este encerramento pode ser efetuado de um dos seguintes modos:

a) Esperando 20 segundos;
b) Ativando o microfone momentâneamente; ou
c) Posicionando-se para FREQ o controle CHAN/FREQ e, em seguida de volta a CHAN.

Quando somente a recepção for selecionada, os amplificadores de potência e o transmissor ficam automaticamente desativados. Neste caso, mesmo que o microfone seja acionado, nenhum sinal será transmitido. Se o indicador "R" (recepção) piscar no CTL 230, significa que a frequência de recepção da CTL não bate com a do TCR 230, havendo alguma discrepância no equipamento.

Semi Duplex – Esta operação é possível somente quando o sistema é operado no modo CHAN.

Para programar os canais em "semi-duplex" obedecerá os seguintes passos:

a) Com energia aplicada ao sistema, certifique-se de que o controle CHAN/FREQ seja posicionado em CHAN;
b) Gire o botão seletor de canais, externo à esquerda, para que apareça um número do canal (de 1 a 40), no display de CHAN à direita.

Em seguida use o botão seletor de canais, externo da direita, para conseguir o número do canal desejado a ser programado.

Pressione o botão PGM uma vez a fim de iniciar a sequência de programação. Neste ponto todo o display (FREQ kHz) começa a piscar lentamente.

Ajuste a frequência desejada para recepção, usando os quatro botões de seleção de frequência e, em seguida, o modo desejado para operação puxando o botão PULL MODE e girando-o até que o modo correto apareça no display. Com a freqüência de recepção e o modo desejado sendo mostrado pressione o botão PGM novamente para armazenar os dados. O display ficará apagado por um curto espaço de tempo confirmando o armazenamento.

Quando o display retornar ao normal, estará piscando mais rapidamente, com a frequência de transmissão sendo mostrada (no início é a mesma frequência que foi programada para a recepção). A partir deste momento, há 20 segundos disponíveis para que seja programada a frequência de transmissão desejada. Se após decorridos 20 segundos, não for programada uma frequência para transmissão, aquela que está piscando torna-se inoperante e o equipamento terá sido programado somente para recepção.

Se, ainda não decorridos os 20 segundos, ajuste a frequência de transmissão, usando os quatro botões de seleção de frequência. Este procedimento é igual ao descrito acima, para a frequência de recepção.

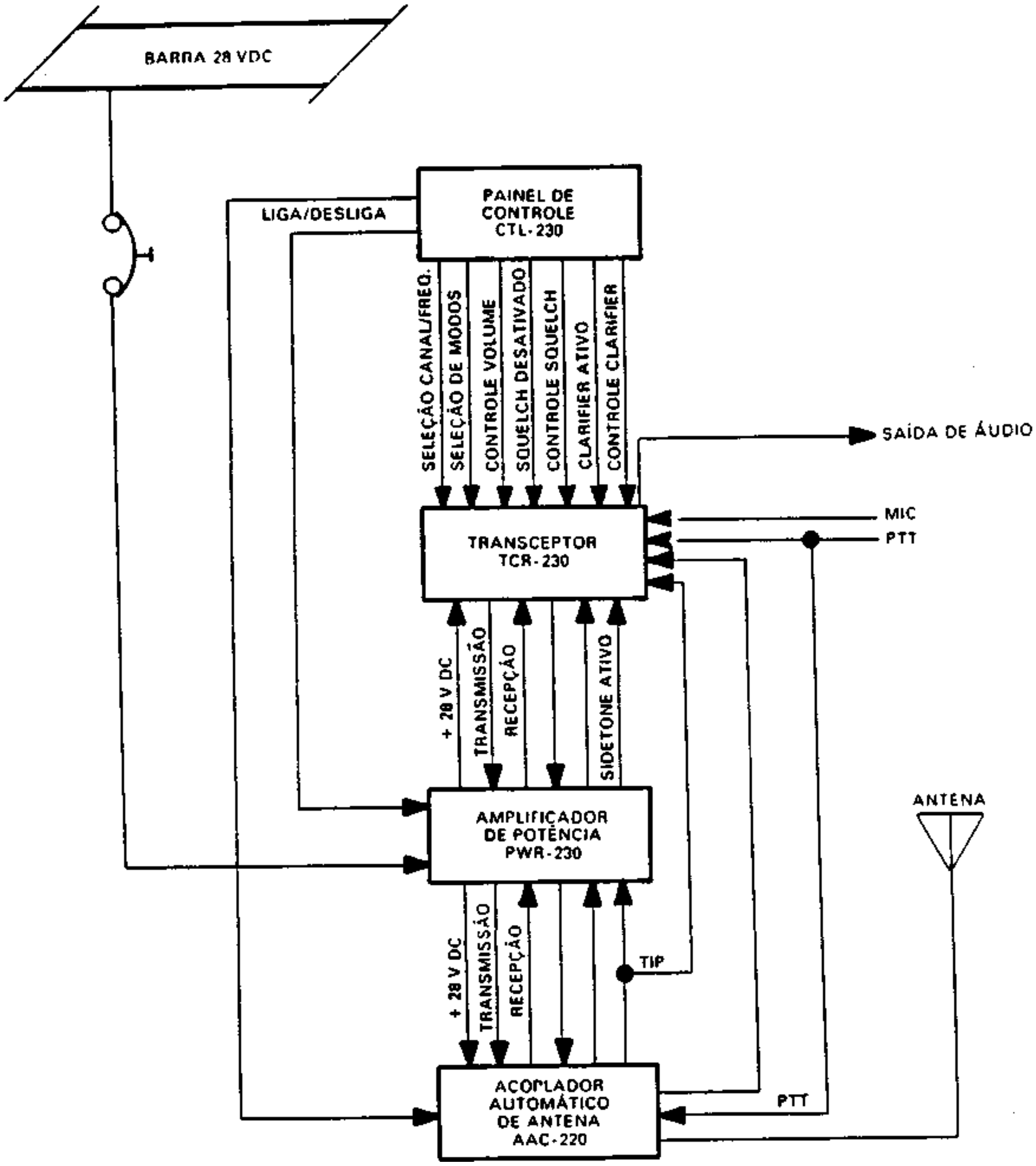

BARRA 28 VDC
LIGA/DESLIGA
PAINEL DE CONTROLE CTL-230
SELEÇÃO CANAL/FREQ.
SELEÇÃO DE MODOS
CONTROLE VOLUME
SQUELCH DESATIVADO
CONTROLE SQUELCH
CLARIFIER ATIVO
CONTROLE CLARIFIER
SAÍDA DE ÁUDIO
MIC
PTT
TRANSCEPTOR TCR-230
+ 28 V DC
TRANSMISSÃO
RECEPÇÃO
SIDETONE ATIVO
AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA PWR-230
ANTENA
+ 28 V DC
TRANSMISSÃO
RECEPÇÃO
TIP
ACOPLADOR AUTOMÁTICO DE ANTENA AAC-220
PTT

Figura 18-83 Diagrama de bloco do sistema HF

Agora, com a freqüência desejada para transmissão mostrada no display, pressione novamente o botão PGM a fim de armazenar os dados.

Como no procedimento anterior, o display ficará apagado por um curto espaço de tempo, confirmando o armazenamento. Em seguida voltará a sua condição normal, com os dados do novo canal (número, modo e freqüência de recepção).

Na operação semi-duplex, o modo selecionado controlará, tanto a freqüência de transmissão, como a de recepção.

A freqüência de recepção é mostrada no display e identificada pela letra "R", até que o microfone seja acionado, ocasião em que a freqüência de transmissão passa a ser mostrada e identificada com a letra "T".

Se a letra "T" ou a "R" (conforme o caso) piscar, indica que a freqüência do TCR é a mesma selecionada na CTL, logo há uma discrepância no equipamento.

TRANSMISSOR LOCALIZADOR DE EMERGÊNCIA (ELT)

O Transmissor Localizador de Emergência destina-se em casos de emergência, a fornecer uma orientação para busca e salvamento.

O sistema irradia omnidirecionalmente uma portadora de RF modulada em amplitude por um tom cíclico variável e decrescente de 1600 a 300 Hz, nas freqüências simultâneas de 121.5 e 243.0 MHz.

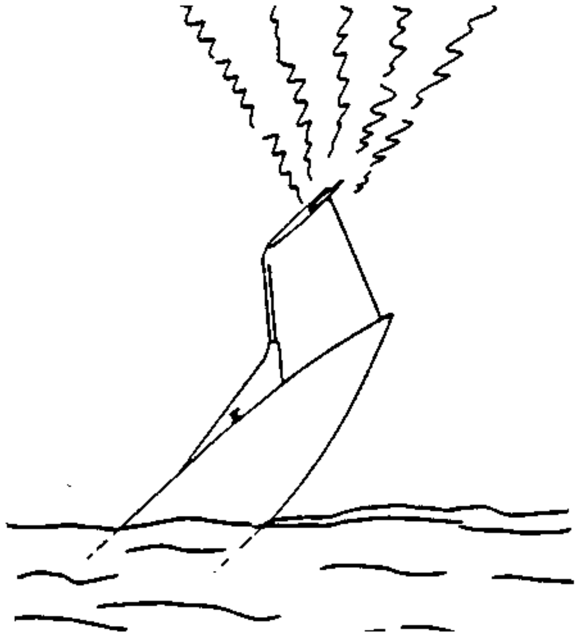


Figura 18-84 Localização do ELT

Descrição e localização dos componentes – O sistema é composto por:

a) Um transmissor, instalado no cone de cauda.;
b) Uma antena, instalada no cone de cauda;
c) Um interruptor ARM/ON-REARM, instalado no painel principal.

Transmissor de emergência – O transmissor localizador de emergência foi projetado a fim de transmitir sinais de freqüências de 121.5 e 243.0 MHz, automaticamente, em condições de emergência ou manualmente como pedido de socorro em caso de acidente do avião.

O transmissor de emergência é equipado com um interruptor de três posições (ON – AUTO – OFF), uma bateria e um interruptor de impacto.

O interruptor seletor controla o modo de operação do transmissor. Na posição ON, opera manualmente o equipamento. Em AUTO, a operação será automática, quando o interruptor de impacto sentir uma desaceleração de 5 a 7 G, no sentido da linha de vôo. Com o interruptor na posição OFF o sistema estará desativado. Quando ativado, esta unidade pode transmitir por 48 horas contínuas.

Antena – Uma antena flexível é conectada ao transmissor através de um cabo coaxial de RF, a fim de irradiar o sinal transmissor.

Interruptor ARM/ON/REARM – Ele é um interruptor protegido por uma guarda de segurança, montado em um painel, o qual possibilita à tripulação, ligar manualmente o transmissor.

Este interruptor é normalmente conservado na posição ARM, a qual corresponde à posição AUTO do interruptor seletor do transmissor. Se comandado para a posição ON/REARM, ele sobrepuja a posição AUTO do interruptor do transmissor e a transmissão é ativada.

Operação do sistema – O transmissor é comandado manual ou automaticamente. No caso de comando manual, aciona-se para a posição LIGA O INTERRUPTOR localizado no painel principal. O comando automático é feito por um acelerômetro, localizado no próprio transmissor, quando a aeronave for submetida a uma força de desaceleração de 5 (+2, -0) G, no sentido de seu eixo longitudinal.

A operação do transmissor de emergência é restrita a condições específicas. Fora destas condições, o transmissor somente poderá ser operado, obedecendo à autorização do DAC.

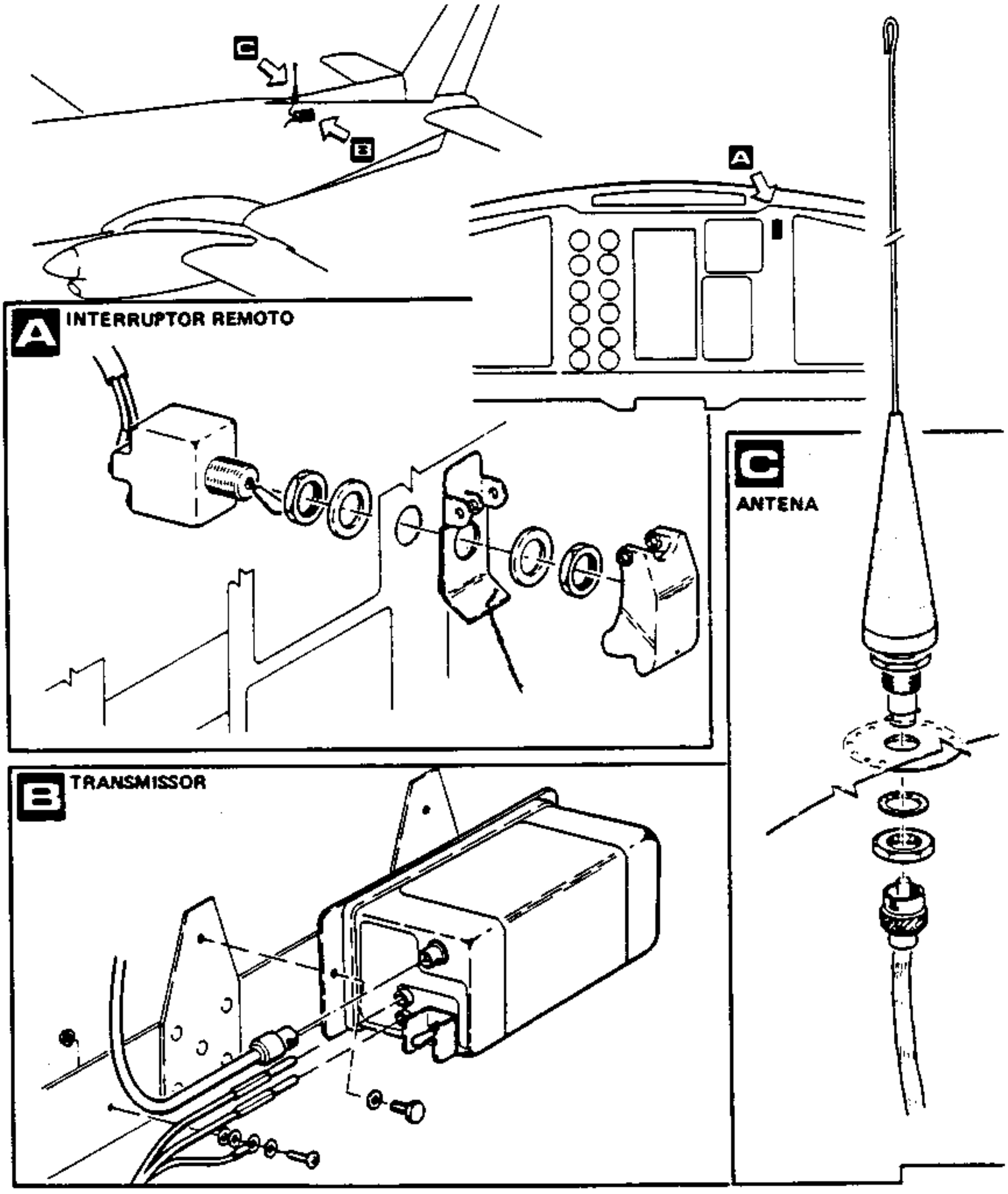

A
C
B
A INTERRUPTOR REMOTO
B TRANSMISSOR
C ANTENA

Figura 18-85 Componentes do sistema ELT

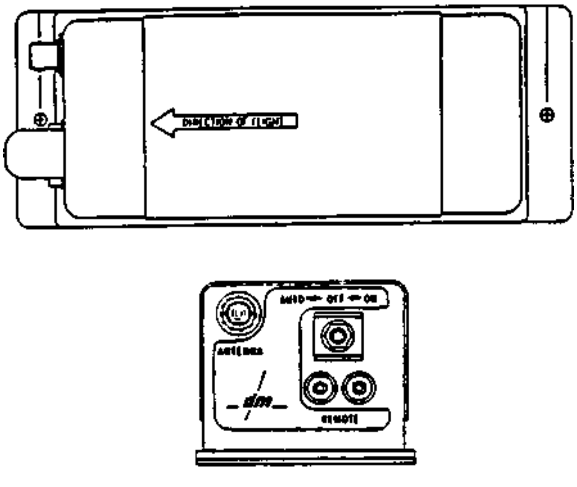

DIRECTION OF FLIGHT
ELT
AUTO — OFF — ON
ANTENNA
REMOTE

Figura 18-86 Transmissor de emergência

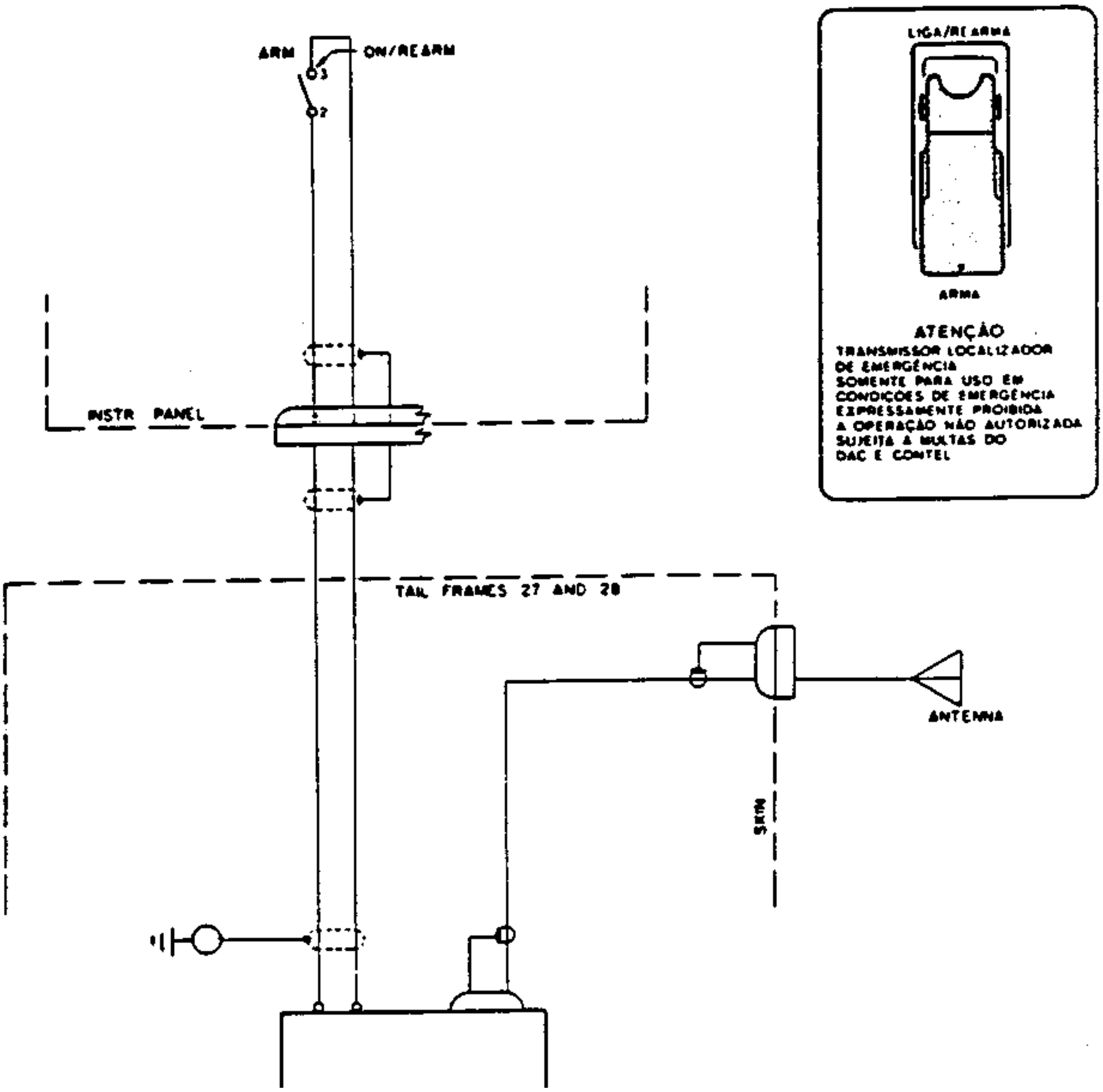

ARM
ON/REARM
1
2
INSTR PANEL
TAIL FRAMES 27 AND 28
ANTENNA
SKIN
LIGA/REARMA
ARMA
ATENÇÃO
TRANSMISSOR LOCALIZADOR
DE EMERGÊNCIA
SOMENTE PARA USO EM
CONDIÇÕES DE EMERGÊNCIA
EXPRESSAMENTE PROIBIDA
A OPERAÇÃO NÃO AUTORIZADA
SUJEITA A MULTAS DO
DAC E CONTEL

Figura 18-87 Sistema Transmissor de Emergência

SISTEMA DE CHAMADA SELETIVA (SELCAL)

Introdução

O Sistema de Chamada Seletiva (SELCAL) possibilita, a uma estação de terra, chamar um avião particular, através do sistema rádiocomunicação VHF ou HF, sem a necessidade do piloto monitorar constantemente as freqüências de comunicação.

As estações de terra, com equipamentos de transmissão codificados, podem chamar um avião, individualmente, através da transmissão de 4 tons de áudio, modulando uma frequência de VHF ou HF, os quais ativarão uma unidade única decodificadora, que será ajustada a fim de receber esta combinação, em particular.

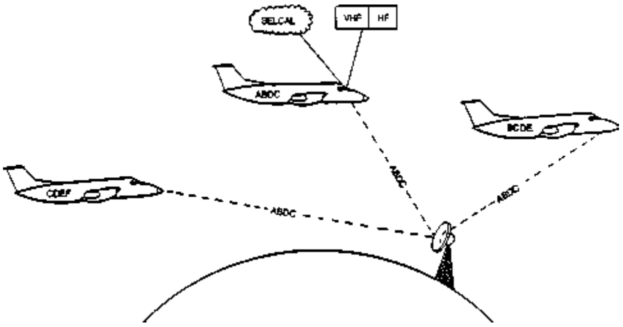

SELCAL
VHF
HF
ABDC
BCDE
CDEF
ABDC
ABDC
ABDC

Figura 18-88 Comunicação pelo sistema SECAL

Localização e descrição dos componentes

Um sistema SELCAL, é constituída de:

1 – Um decodificador SELCAL, instalado no compartimento eletrônico.

2 – Um painel anunciador, instalado no painel principal.

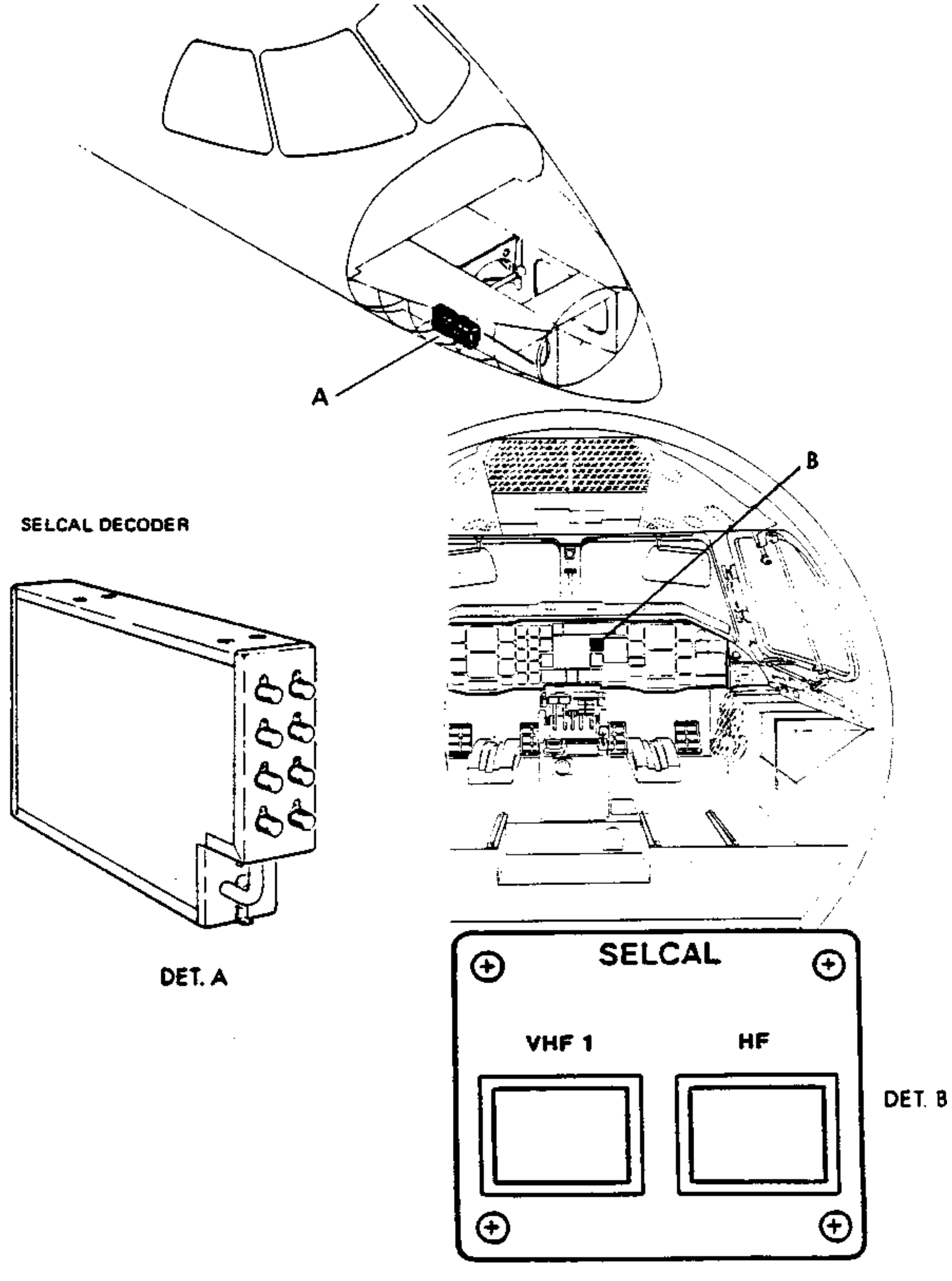


Figura 18-89 Localização dos componentes do sistema SELCAL.

Decodificador SELCAL – A unidade decodificadora contém dois canais idênticos e independentes. A seleção de código é efetuada por oito seletores rotativos, sendo quatro por canal, instalados na parte frontal da unidade.

Acima de cada seletor há uma janela, onde aparece a letra indicativa da frequência selecionada. A cada letra é atribuída uma frequência de áudio (veja tabela abaixo). Deste modo a combinação das letras, em cada canal, fornece o código selecionado para uma aeronave, em particular, para a qual o decodificador responderá sempre que interrogado.

Letras	Freqüências em Hz
A	312.6
B	346.7
C	348.6
D	426.6
E	473.2
F	524.8
G	582.1
H	645.7
J	716.1
K	794.3
L	881.0
M	977.2

Tabela de Frequência x Código

Painel anunciador – O painel anunciador compreende dois botões PUSH BUTTON com inscrições HF e VHF 1 (poderia ser VHF 2 ou VHF 3), que ciclam sempre que o codificador é ativado, por um canal de HF ou VHF, de uma estação de terra.

Operação do sistema

Quando um codificador SELCAL, de terra, enviar 4 tons correspondentes ao código do avião que se deseja chamar, o receptor de bordo (HF ou VHF), que deve estar ligado e sincronizado para a frequência de transmissão da estação de terra, amplifica, detecta e envia o sinal recebido, ao decodificador.

Estes códigos são interpretados e se combinam com as freqüências dos códigos da unidade decodificadora. Uma luz, no painel anunciador, relacionada ao receptor ativo, cicla e a palavra SELCAL é anunciada na cabine, através da unidade de alarme sonoro.

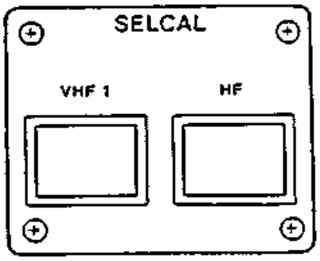

SELCAL
VHF 1
HF

Figura 18-90 Painel anunciador

O piloto reconhecerá o transmissor, através do qual ele está sendo chamado. Pressionando o botão PUSH – BOTTON ele rearma o canal e seleciona o microfone, no painel de áudio, para iniciar a comunicação entre a aeronave e a estação de terra.

NOTA: Se o piloto pressionar o PTT, antes do botão PUSH-BOTTON, do painel anunciador, o mesmo também será cancelado.

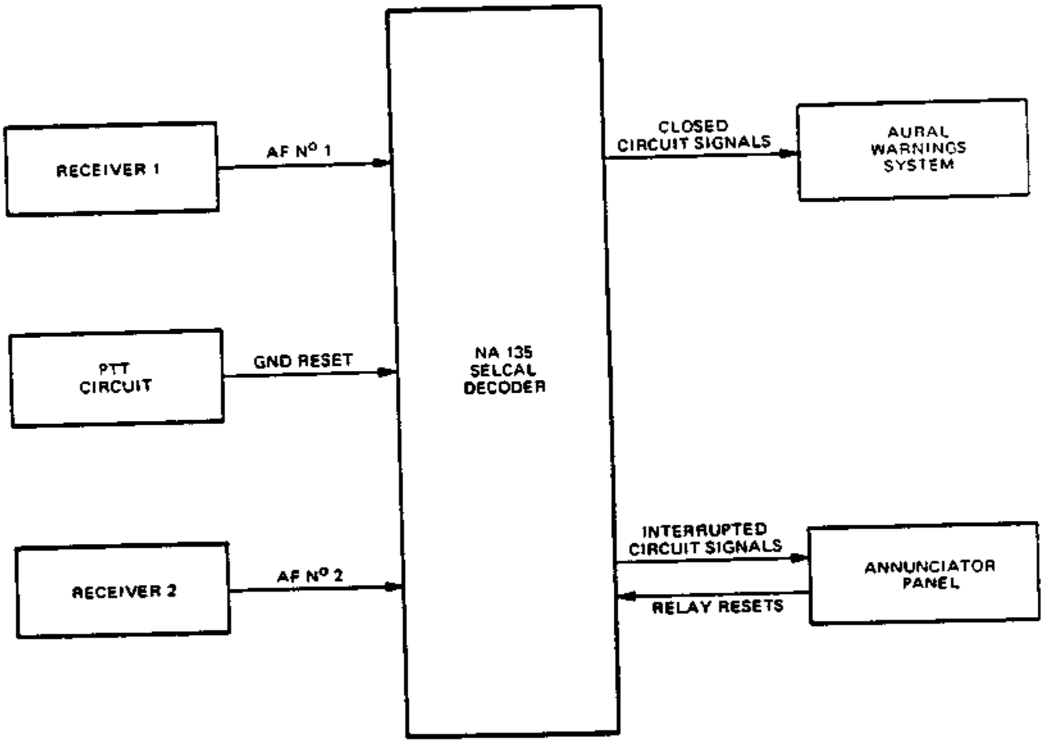

RECEIVER 1
AF Nº 1
PTT CIRCUIT
GND RESET
RECEIVER 2
AF Nº 2
NA 135 SELCAL DECODER
CLOSED CIRCUIT SIGNALS
AURAL WARNINGS SYSTEM
INTERRUPTED CIRCUIT SIGNALS
ANNUNCIATOR PANEL
RELAY RESETS

Figura 18-91 Diagrama em bloco do sistema SELCAL.

CAPÍTULO 19

SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO

SISTEMA ANEMOMÉTRICO

Geral

O sistema anemométrico consiste de duas linhas Pitot e de duas linhas estáticas independentes. A finalidade do sistema é o suprimento de pressão estática e dinâmica para os instrumentos e sistemas que operam baseados na pressão atmosférica ou na de impacto de ar.

Os instrumentos e componentes que utilizam o sistema anemométrico são os seguintes:

Dois velocímetros;
Dois altímetros;
Dois indicadores de razão de subida;
Um indicador duplo de altitude da cabine e pressão diferencial;
Um sensor de velocidade de piloto automático;
Um controlador de altitude do diretor de vôo.

Descrição

Sistema Pitot

O sistema Pitot consiste de duas linhas de Pitot, um dreno e respectivas tubulações. A linha de pitot esquerda fornece pressão dinâmica para o velocímetro do painel do piloto e para o sensor de velocidade do piloto automático. A linha de Pitot direita fornece pressão dinâmica somente para o velocímetro do painel do co-piloto.

Cada linha tem seu tubo de Pitot instalado no lado correspondente na parte superior do nariz do avião; os tubos possuem resistências elétricas incorporadas para impedir a formação de gelo. Esses elementos aquecedores são controlados pelos pilotos por meio de interruptores situados no painel superior e são comuns também às tomadas estáticas.

Cada linha tem seu dreno instalado no lado correspondente, na parte inferior do nariz do avião, podendo ser inspecionado e removido através de uma janela de inspeção identificada com a inscrição “Dreno Pitot”. Consiste de uma pequena garrafa de plástico transparente, com a finalidade de recolher toda água que penetre na linha correspondente.

Sistema Estático

O avião utiliza dois sistemas estáticos independentes: um para os instrumentos anemométricos do painel do co-piloto (altímetro, velocímetro e indicador de razão de subida), outro para os instrumentos anemométricos do painel do piloto e também para o controlador de altitude do sistema diretor de vôo. Cada sistema estático possui duas tomadas instaladas uma em cada lado do avião no início do cone de cauda, logo após a caverna de pressão. As tomadas dos dois sistemas ficam juntas, sendo que a superior direita é ligada à inferior esquerda e vice-versa.

As tomadas estáticas possuem resistências elétricas incorporadas para impedir a formação de gelo.

Esses elementos aquecedores são controlados pelos pilotos por meio de interruptores situados no painel superior e são comuns também aos tubos Pitot.

A linha estática esquerda possui três pontos para drenagem, enquanto que a linha direita possui dois pontos, sendo todos idênticos aos existentes nas linhas de Pitot.

As linhas estáticas possuem uma câmara de amortecimento em cada linha, com a finalidade de diminuir o tempo de resposta do sistema, evitando oscilações indesejáveis nas indicações dos instrumentos.

Operação

Os dois tubos de Pitot fornecem ar sob pressão proporcional à velocidade do avião, aos respectivos velocímetros e também ao sensor de velocidade do piloto automático (somente o esquerdo).

Os dois sistemas estáticos fornecem pressão ambiente para os velocímetros, altímetros e indicadores de razão de subida. O esquerdo fornece também pressão ambiente para o controlador de altitude do sistema diretor de vôo.

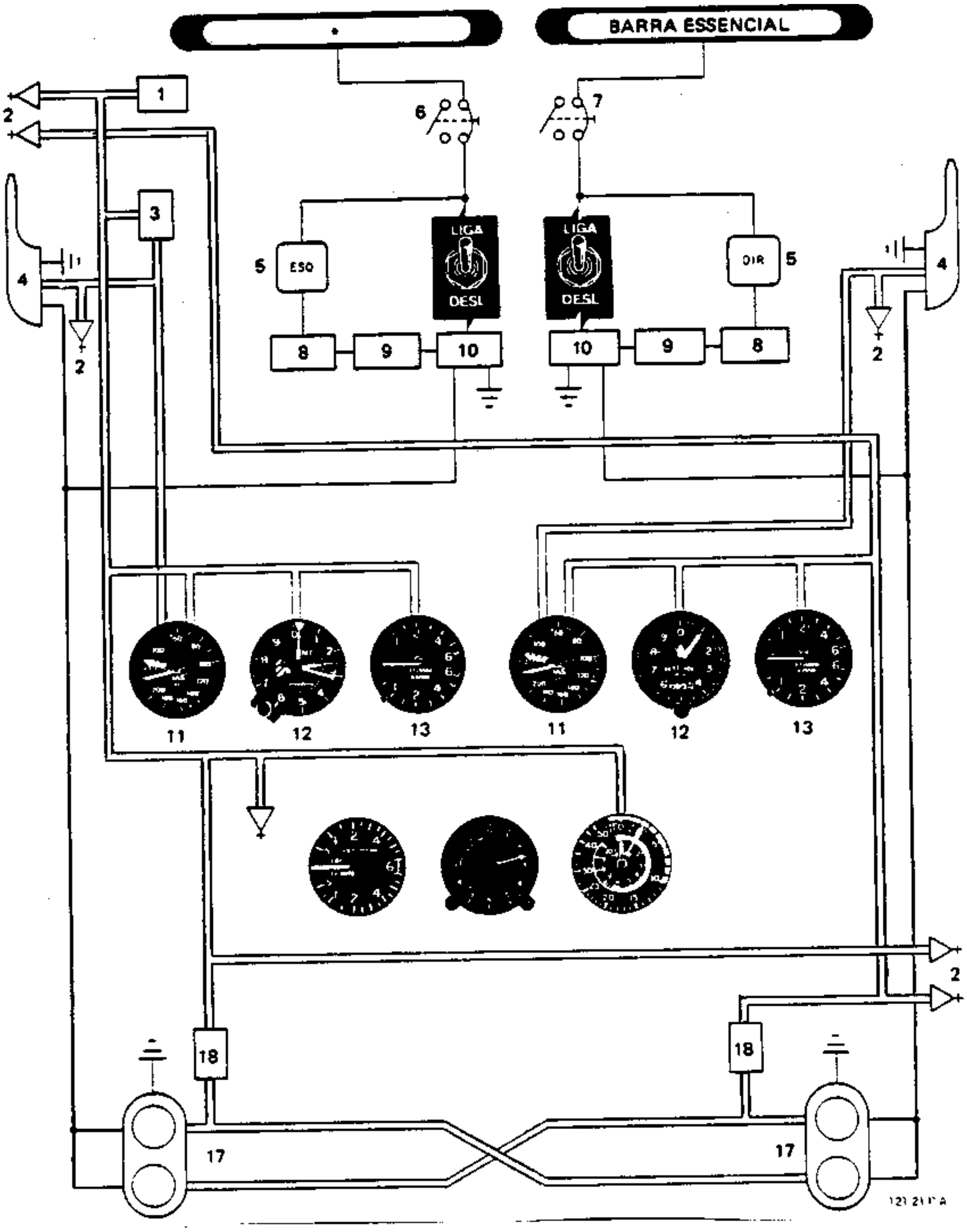


Figura 19-1 Sistemas Pitot e Estático

Sistema Pitot / Estático

O sistema Pitot Estático tem por finalidade sentir e distribuir as pressões estática e dinâmica, do ar para os instrumentos que dependam de dados do ar para uma operação precisa.

Descrição e localização dos componentes - Dois tubos de pitot, instalados um em cada lado do nariz do avião. Quatro tomadas estáticas instaladas duas em cada lado da fuselagem.

Pressão Dinâmica – Com o avião parado a pressão do pitot é igual à pressão estática. Com o deslocamento do avião, para frente, a pressão do pitot é igual à pressão estática mais a pressão de impacto, que é proporcional à velocidade do avião.

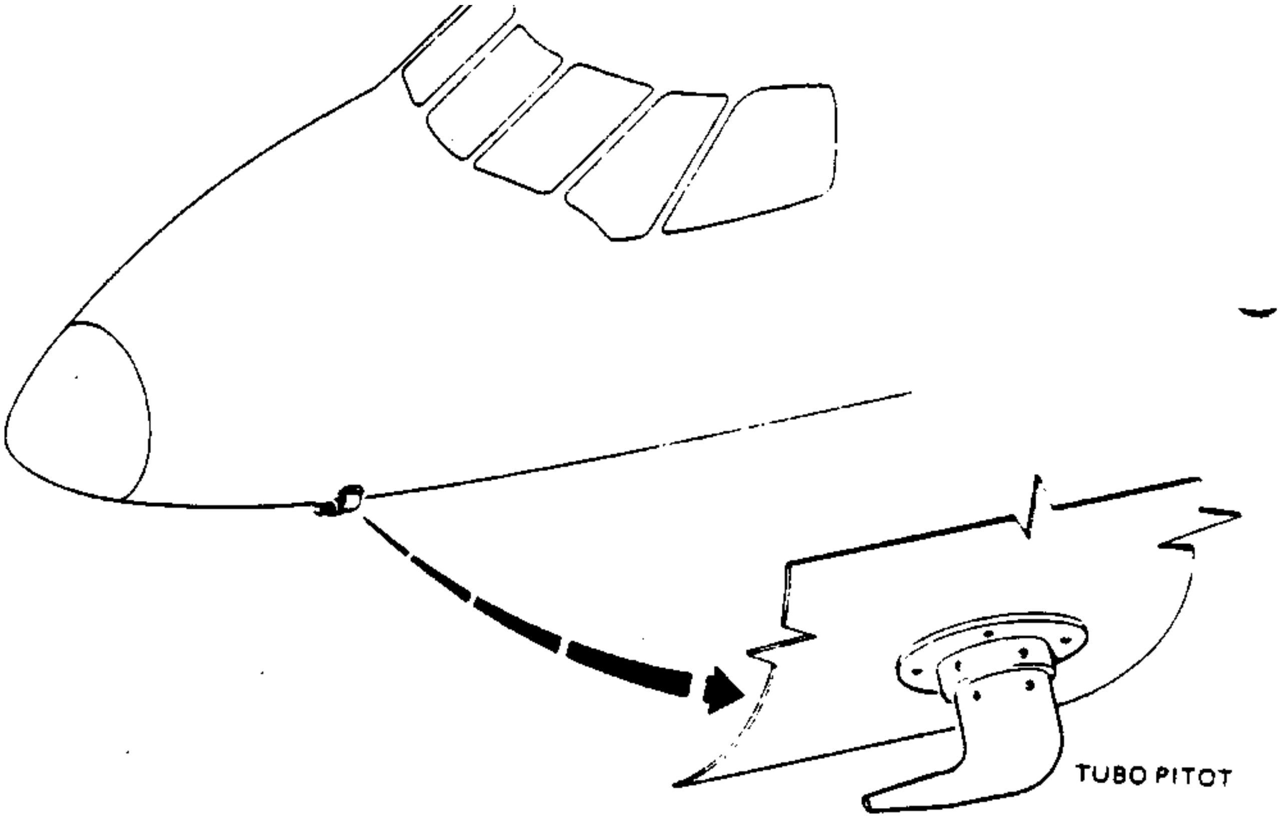


Figura 19-2 Localização do tubo de Pitot

O sistema pitot consta de dois tubos, instalados um em cada lado do nariz do avião. Um dos tubos é ligado ao velocímetro do painel do piloto e o outro ao velocímetro do painel do co-piloto.

Ambas as ligações possuem, derivações para a drenagem da linha.

Cada tubo de pitot possui, internamente, uma resistência elétrica destinada ao aquecimento para evitar a possibilidade de formação de gelo no tubo.

Os tubos de pitot enviam também informações para o sensor de dados do ar.

Pressão Estática – A pressão atmosférica, que circunda o avião, diminui a medida que a altitude aumenta. A fim de medir essa pressão, quatro tomadas, são utilizadas.

As duas tomadas inferiores são ligadas aos instrumentos do painel do piloto e as superiores, ao painel do co-piloto e também ao sensor de dados do ar, instalado no compartimento eletrônico.

As tomadas estáticas são dotadas de resistência elétrica para aquecimento, destinado a impedir a formação de gelo.

Sistema de instrumentação de dados do ar

A instrumentação de dados do ar, tem a finalidade de indicar a velocidade do avião e sua altitude baseando-se em dados atmosféricos.

Descrição e localização dos componentes – O sistema é composto por:

- dois velocímetros:
- dois indicadores de velocidade vertical;
- um altímetro servo codificador;
- um altímetro sensitivo;
- altitude alerta.

Todos os instrumentos estão instalados no painel principal.

Velocímetro – A diferença entre as pressões das linhas estática e dinâmica, fornece a indicação da velocidade do ar.

O indicador possui uma cápsula que transforma essa diferença de pressão em movimento de seu ponteiro, em torno de uma escala.

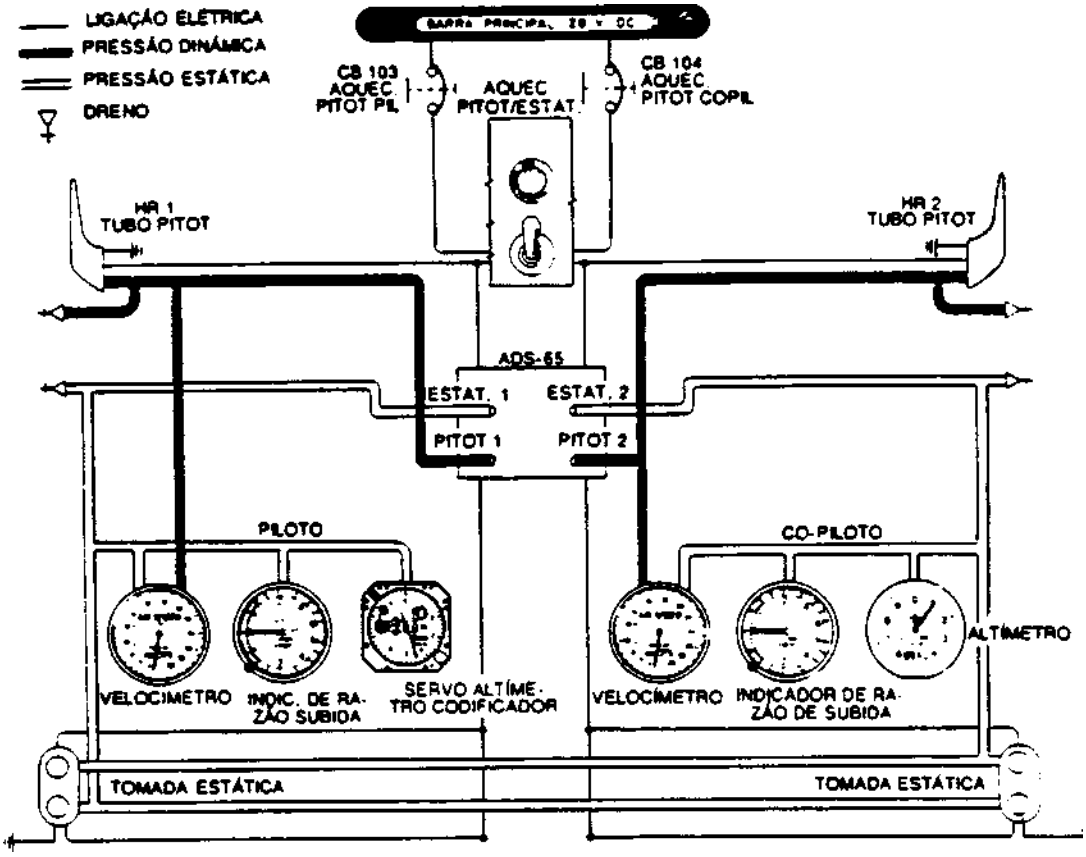

LIGAÇÃO ELÉTRICA
PRESSÃO DINÂMICA
PRESSÃO ESTÁTICA
DRENO
BARRA PRINCIPAL 28 V DC
CB 103 AQUEC PITOT PIL
AQUEC PITOT/ESTAT
CB 104 AQUEC PITOT COPIL
HR 1 TUBO PITOT
HR 2 TUBO PITOT
ADS-65
ESTAT. 1
ESTAT. 2
PITOT 1
PITOT 2
PILOTO
CO-PILOTO
VELOCIMETRO
INDIC. DE RAZÃO SUBIDA
SERVO ALTÍMETRO CODIFICADOR
VELOCÍMETRO
INDICADOR DE RAZÃO DE SUBIDA
ALTÍMETRO
TOMADA ESTÁTICA
TOMADA ESTÁTICA

Figura 19-3 Pressão estática

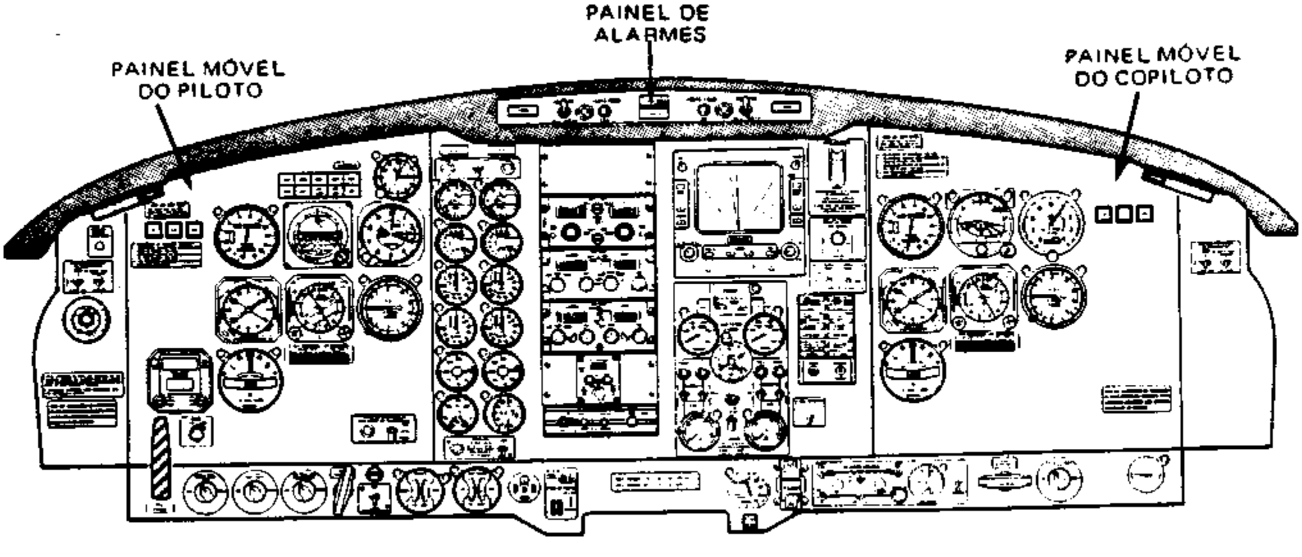

PAINEL DE ALARMES
PAINEL MÓVEL DO PILOTO
PAINEL MÓVEL DO COPILOTO

Figura 19-3A Painel principal

Possui também, um dispositivo elétrico que aciona internamente uma bandeira com a inscrição UC (Undercarriage), quando a velocidade da aeronave atinge um valor abaixo de 120 nós, com o trem de pouso não travado em baixo.

As mascas de operação no velocímetro são as seguintes:

- duas radiais vermelhas, uma para Vmca (Velocidade mínima de controle aerodinâmico) em 84 Kt; e outra para velocidade máxima de operação em 230 Kt;
- uma radial azul em 115 Kt para melhor razão de subida monomotor;
- uma semicircular branca de 72 a 148 Kt para operação com flape;
- uma semicircular verde de 91 a 230 Kt para operação normal.

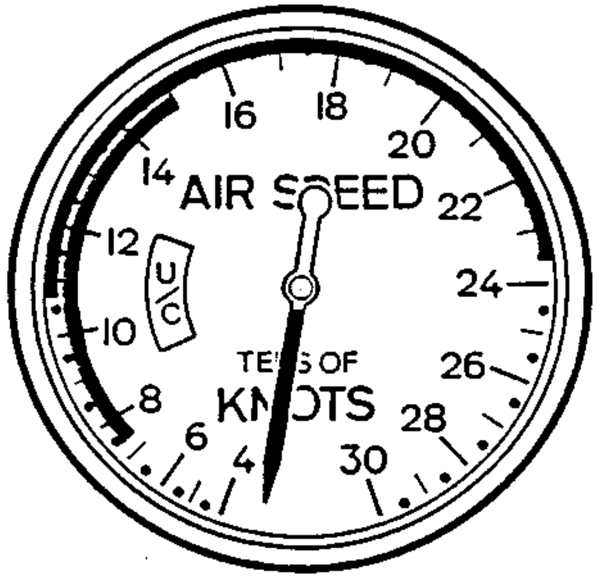


Figura 19-4 Velocímetro

Indicador de velocidade vertical – Dois indicadores de velocidade vertical são instalados no painel de instrumentos e recebem pressão das lindas estáticas.

Estes instrumentos indicam a variação de subida ou descida do avião em pés por minuto. Um só ponteiro indica a razão de subida de 0 (zero) a 6.000 pés por minuto quando gira no sentido horário e indica a razão de descida de 0 (zero) a 6.000 pés por minuto quando gira no sentido anti-horário. Como os outros instrumentos de vôo, estes também, são em número de dois e cada um está ligado a uma das linhas de pressão estática.

O ponteiro deste instrumento deve permanecer em zero quando o avião está parado ou quando em vôo nivelado.

Por razões diversas, sem constituir pane, o ponteiro desloca-se esporadicamente para fora do zero. Para ajustar novamente em zero, há, no canto esquerdo do indicador, um parafuso de ajuste.

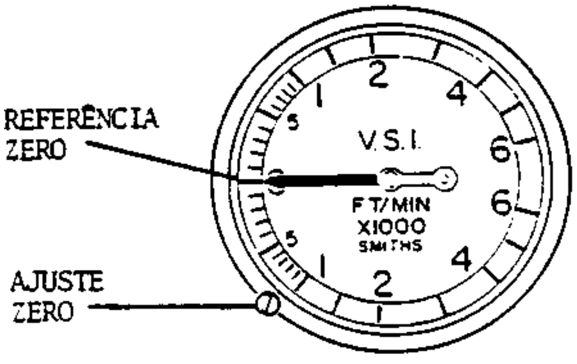


Figura 19-5 Indicador de velocidade vertical

Altímetro – Os altímetros apresentam a altitude barométrica corrigida, indicando as relações entre pressões estáticas e altitudes. Esses altímetros são do tipo indicação por ponteiro. Eles incorporam um botão o qual seleciona a pressão barométrica, indicada em polegadas de mercúrio e em milibares.

Dois altímetros são instalados: servo codificador e sensitivo.

Alerta de altitude – O sistema de alerta de altitude fornece sinais audíveis e visuais a fim de alertar ao piloto quanto à aproximação ou afastamento de uma altitude pré-selecionada.

O sistema constitui-se de um painel alerta de altitude, instalado no painel de alarmes (painel pala).

O sistema de alerta de altitude possui os seguintes controles e fornece as seguintes indicações:

- Botão seletor – Permite a pré-seleção de altitude, na faixa de 0 a 43.000 pés, em incrementos de 100 pés.
- Contador digital – Indica a altitude pré-selecionada de vôo, através de 5 dígitos, sendo que os três primeiros indicam milhares e centenas de pés e os zeros são caracteres fixos.
- Luz de alerta – Traz a inscrição 'ALT" e, quando iluminada, indica que o avião aproxima-se ou afasta-se da altitude de vôo pré-selecionada.
- Bandeira de alarme – Traz a inscrição "OFF" e, quando visível, indica a perda da alimentação elétrica ou informação de altitude sem validade.

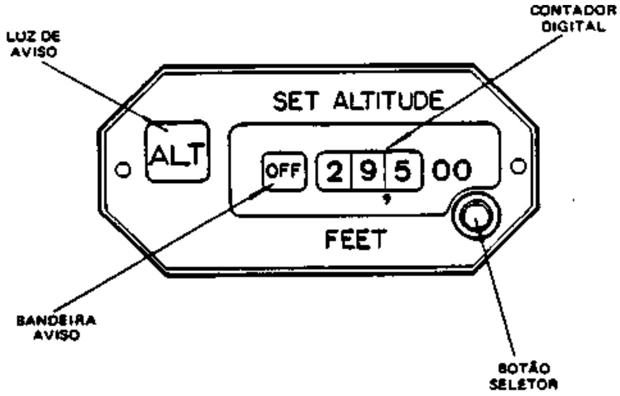


Figura 19-6 Painel de alerta de altitude

Operação

O pré-seletor de altitude e o servo altímetro alertam, ao piloto, quando o avião aproxima-se ou afasta-se de uma altitude de vôo pré-selecionada. Ele é energizado desde que as barras de distribuição da aeronave estejam energizadas e o disjuntor correspondente, pressionado.

O alerta de altitude recebe informação de altitude do servo altímetro e a compara com a altitude pré-selecionada, a fim de ativar a luz de alerta, e uma buzina instalada acima da janela do piloto.

O sistema de alerta de altitude fornece um alarme visual (luz âmbar com a inscrição "ALT", no painel de alerta de altitude e no servo altímetro) e auditivo, quando o avião atinge um limite de 400 pés, antes da altitude pré-selecionada.

As luzes permanecerão acesas até que o limite de 200 pés seja atingido (momento em que se apagam).

Se o avião não mudar de altitude, passará pela altitude pré-selecionada, quando a diferença será zero e continuará aumentando (a diferença) num outro sentido.

Quando atingir 200 pés, afastando-se da altitude pré-selecionada, as luzes acender-se-ão e a buzina será ativada.

As luzes permanecerão acesas até que o avião retorne para o limite de 200 pés ou seja selecionada uma nova altitude.

O alerta de altitude também fornece um sinal de erro de altitude para o computador do piloto automático.

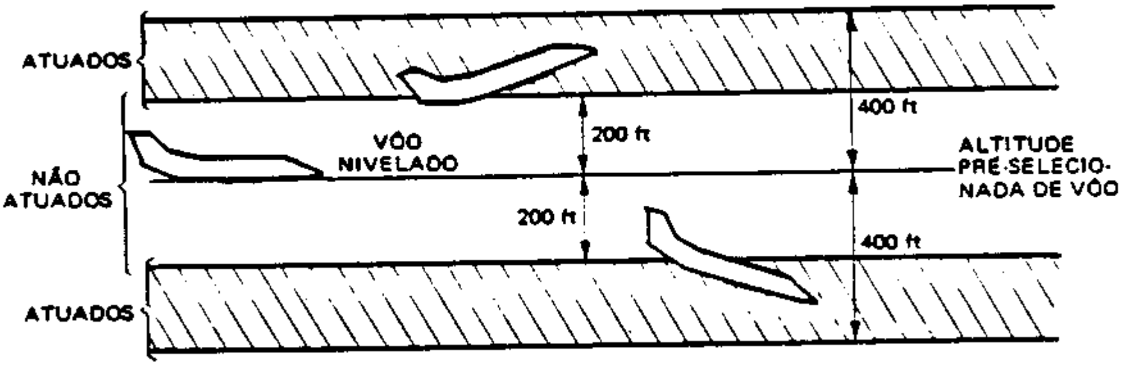


Figura 19-7 Sequência de operação

Altímetro Servo codificador – Esse altímetro fornece uma saída codificada de altitude para o "Transponder" e uma saída síncrono para o sistema alerta de altitude.

O potenciômetro de ajuste é acessível pela frente do instrumento. Um ajuste é necessário quando da instalação inicial ou sempre que a indicação da pressão barométrica não coincidir com a elevação do campo.

O altímetro servo codificador possui uma bandeira de cor laranja e não se pode fazer leitura de altitude quando esta bandeira estiver visível.

A presença da bandeira indica perda de energia elétrica ou que o indicador não alcançou uma leitura correspondente a pressão estática. Enquanto a bandeira estiver visível, a ligação comum do digitador estará interrompida, evitando informações errôneas de altitude.

Esta função é automática e não requer nenhuma ação do piloto. Quando a bandeira desaparecer a unidade estará confiável.

Altímetro sensitivo – É um instrumento que tem dois ponteiros e um arco branco. Os ponteiros se deslocam sobre o mostrador com as escala graduadas em pés.

O ponteiro maior indica centenas de pés por divisão e completa uma volta a cada 1.000 pés.

O ponteiro menor indica milhares de pés por divisão e completa uma volta a cada 10.000 pés.

Um botão na parte inferior do instrumento permite que ele seja ajustado à pressão barométrica, cujo valor aparecerá em uma janela na parte inferior do mostrador do instrumento.

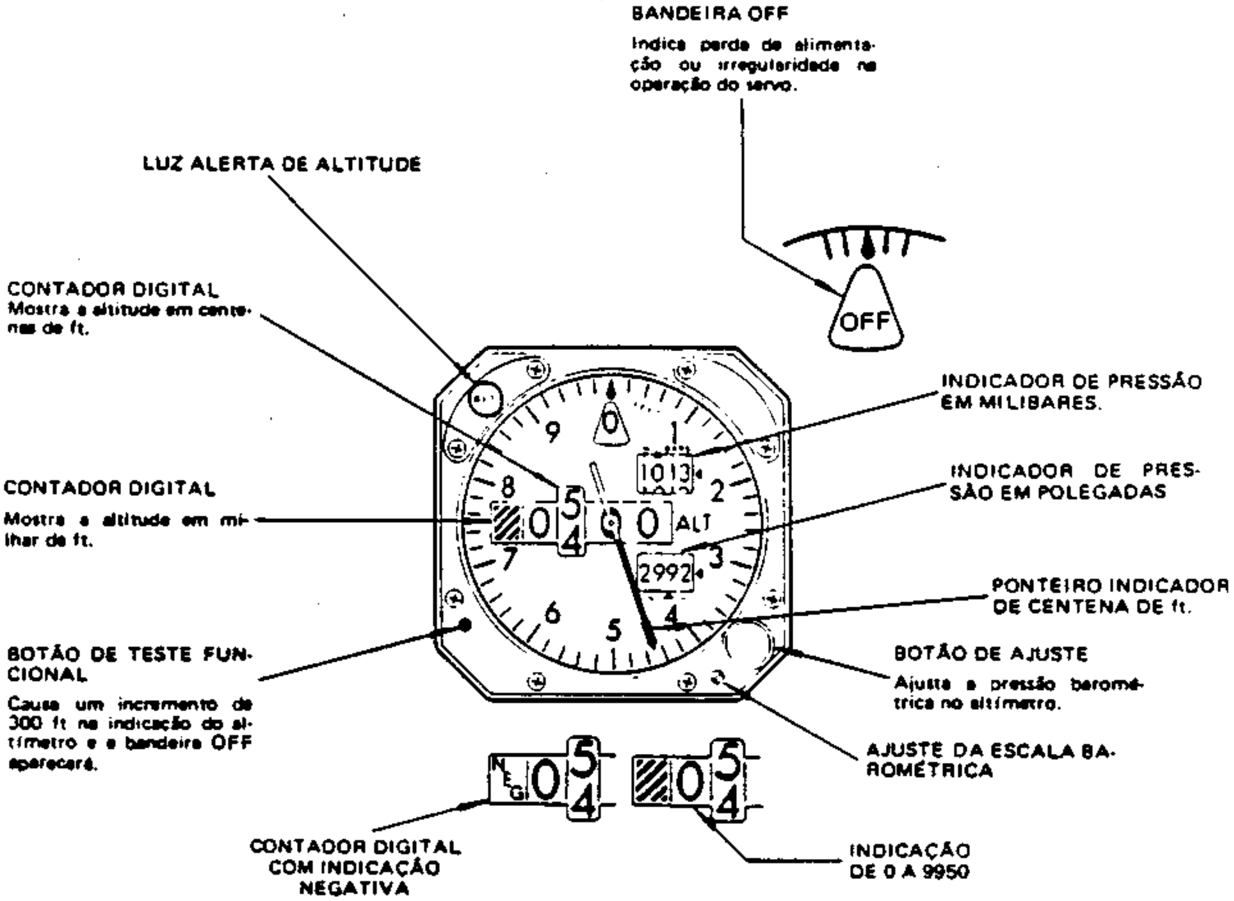

BANDEIRA OFF
Indica perda de alimentação ou irregularidade na operação do servo.
OFF
LUZ ALERTA DE ALTITUDE
CONTADOR DIGITAL
Mostra a altitude em centenas de ft.
INDICADOR DE PRESSÃO EM MILIBARES.
CONTADOR DIGITAL
Mostra a altitude em milhar de ft.
INDICADOR DE PRESSÃO EM POLEGADAS
PONTEIRO INDICADOR DE CENTENA DE ft.
BOTÃO DE TESTE FUNCIONAL
Causa um incremento de 300 ft na indicação do altímetro e a bandeira OFF aparecerá.
BOTÃO DE AJUSTE
Ajusta a pressão barométrica no altímetro.
AJUSTE DA ESCALA BAROMÉTRICA
CONTADOR DIGITAL COM INDICAÇÃO NEGATIVA
INDICAÇÃO DE 0 A 9950
1013
2992
ALT
NEG

Figura 19-8 Servo altímetro

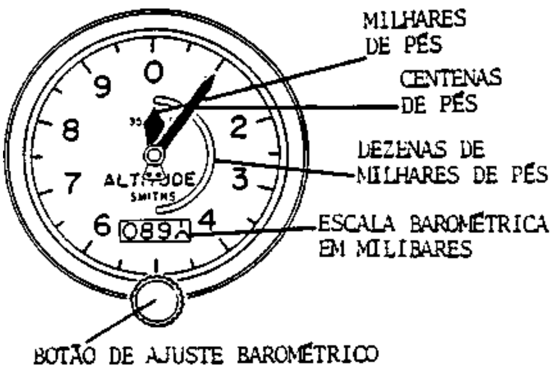

MILHARES DE PÉS
CENTENAS DE PÉS
DEZENAS DE MILHARES DE PÉS
ESCALA BAROMÉTRICA EM MILIBARES
BOTÃO DE AJUSTE BAROMÉTRICO
ALTITUDE
SMITHS
089

Figura 19-9 Altímetro sensitivo

INSTRUMENTOS DE NAVEGAÇÃO

Indicador de atitude, de reserva

Este instrumento fornece uma indicação visual das atitudes de ‘ROLL” e “PITCH” do avião. É um sistema substituto para caso de falha do sistema principal e está instalado no painel principal do avião. Este indicador é um giro atuado eletricamente, cuja atitude vertical é mantida por um dispositivo mecânico de ereção e fornece ao piloto as indicações a seguir.

- Linha do Horizonte – É uma linha branca que indica a relação entre o horizonte e a atitude de “Pitch” do avião.
- Ponteiro de “Roll” – É um ponteiro que indica a atitude de rolamento.
- Índice de rolamento – Através de um ponteiro, fornece a indicação do ângulo de rolamento, do avião. O instrumento permite movimento total de rolamento em 360º, em uma escala graduada tanto para a direita como para a esquerda, em intervalos de 10º, até 30° e, em intervalos de 30º, até 90º.
- Tambor – O tambor possibilita a leitura de “Roll” ou “Pitch”. A área preta indica descida e a azul, subida.
- Avião miniatura – Indica atitude de “Roll” e “Pitch”, com relação ao horizonte.
- Botão “Caging” – Botão para ereção do giro.
- Bandeira de alarme de Energia Elétrica – É uma bandeira vermelha que, quando à vista, indica falta de alimentação e giro abaixo da rotação nominal de operação.

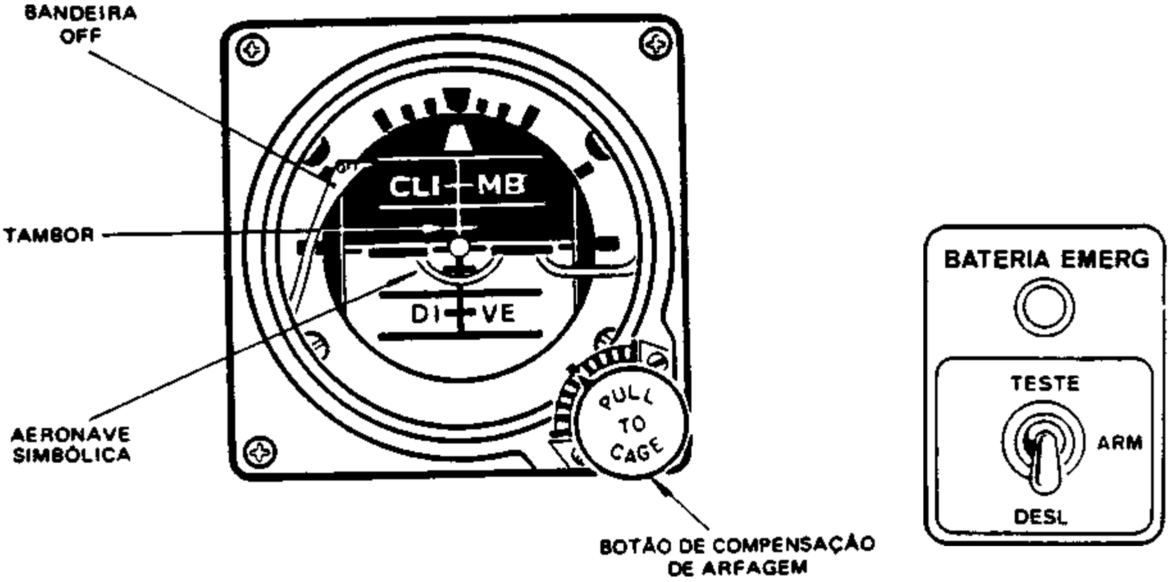

BANDEIRA OFF
TAMBOR
AERONAVE SIMBÓLICA
CLI MB
DI VE
PULL TO CAGE
BOTÃO DE COMPENSAÇÃO DE ARFAGEM
BATERIA EMERG
TESTE
ARM
DESL

Figura 19-10 Indicador de atitude, de reserva

Operação do sistema

O indicador de atitude, de reserva, é alimentado pela barra de emergência, mas é também conectado a uma bateria de emergência, a qual assegura operação confiável, pelo menos, por 30 minutos após falha total do sistema de geração de CC da aeronave.

O sistema de ereção mecânica e a velocidade do rotor capacitam ao indicador fornecer informações confiáveis por, no mínimo, 9 minutos após total interrupção de energia.

Com o indicador de atitude, de reserva, energizado, a bandeira de alarme fica visível e o giro parado numa posição aleatória.

Quando o giro é alimentado, o mecanismo de pressão faz com que o tambor oscile.

O botão de travamento é utilizado para apressar a ereção, estabilizar e travar o giro.

A posição do avião miniatura é ajustada girando-se o botão de travamento em qualquer dos dois sentidos.

A bandeira de alarme estará visível quando o giro estiver travado ou em caso de interrupção de energia.

O sistema é comandado através do painel "BATERIA EMERG", localizado na parte superior do painel de instrumentos.

O painel possui uma luz indicadora, que acende quando a bateria de emergência está alimentando o indicador de atitude, de reserva, e um interruptor com as seguintes posições:

- ARM – O sistema fica armado para alimentar os computadores do AHRS e o indicador de atitude, de reserva, no caso de tensão da barra de emergência cair abaixo dos valores normais.
- .DESL – O sistema da bateria de emergência é desativado. Após o corte dos motores, o interruptor deve ser deixado nesta posição para impedir a descarga da bateria.
- TESTE – A bateria de emergência alimenta os computadores do AHRS e o indicador de atitude, de reserva, com ou sem energia na barra de emergência. Para testar a integridade do sistema, a barra de emergência deve estar desenergizada.

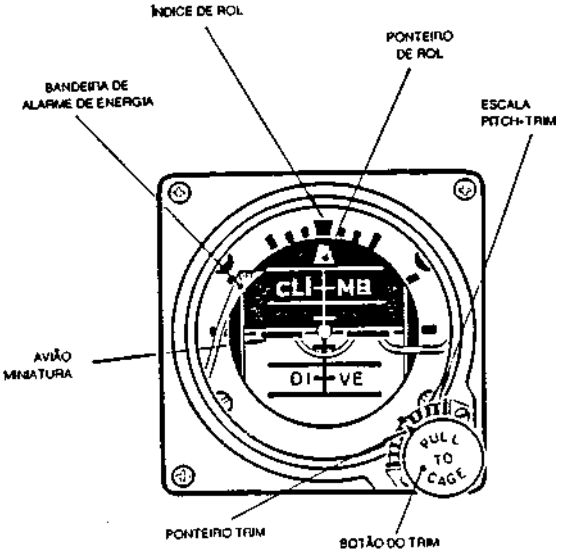

ÍNDICE DE ROL
PONTEIRO DE ROL
BANDEIRA DE ALARME DE ENERGIA
ESCALA PITCH-TRIM
AVIÃO MINIATURA
CLI MB
DI VE
PULL TO CAGE
PONTEIRO TRIM
BOTÃO DO TRIM

Figura 19-11 Funções do indicador de atitude de reserva

Bússola magnética

A bússola magnética indica a proa do avião com respeito ao norte magnético. É utilizada pelos pilotos para uma rápida referência direcional, como auxílio à navegação e está instalada na parte central, superior do pára-brisas.

Sempre que for feita a compensação do sistema AHRS, deverá ser feita a verificação de compensação da bússola magnética, ou vice-versa, e se necessário compensá-la.

O flange de fixação possui duas fendas que permitem a rotação de dez graus para cada lado.

Estas fendas destinam-se a permitir a ajustagem de posição do eixo da linha de fé da bússola com o eixo longitudinal do avião.

Um diafragma interno permite a dilatação do líquido, devida às variações de pressão.

As discrepâncias entre os rumos magnéticos e as indicações obtidas, devem ser marcadas no cartão de correção de 30 em 30°.

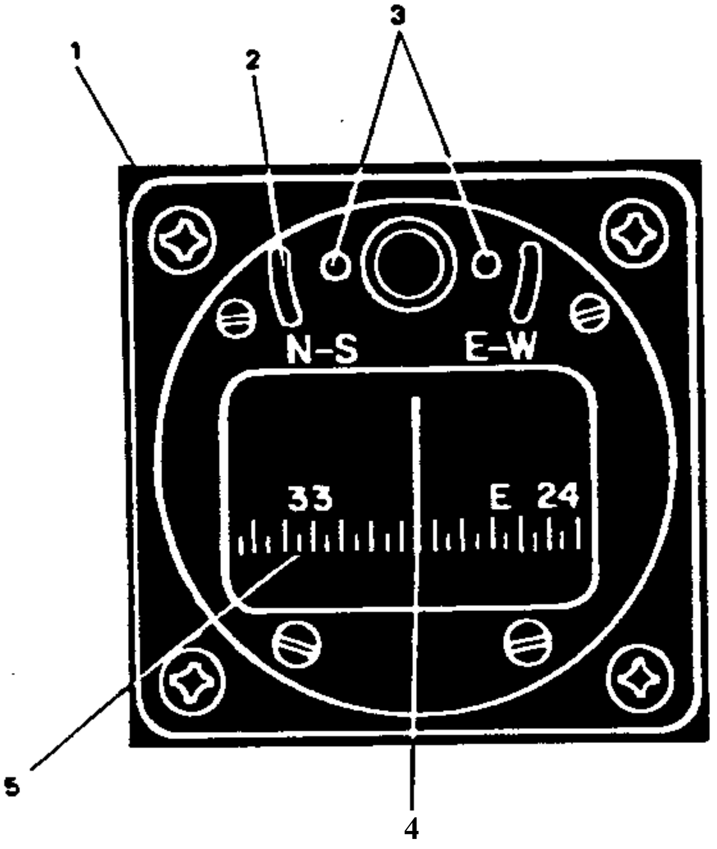


Figura 19-12 Bússola magnética

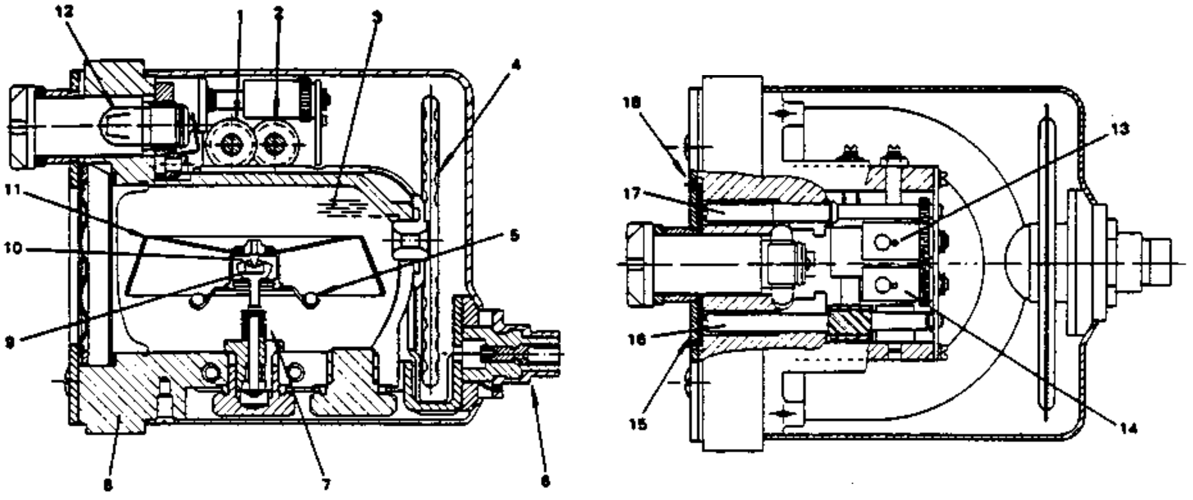


Figura 19-13 Mecanismo da bússola magnética

Indicador Radiomagnético (RMI)

É um instrumento que fornece indicação de proa magnética, num cartão compasso calibrado cuja leitura é efetuada com referência à linha de fé. Ele recebe dados de VOR e ADF, bem como entrada dos AHRS numa configuração cruzada.

Dois indicadores radiomagnéticos estão instalados no painel principal de instrumentos.

O RMI apresenta um cartão compasso, uma linha de fé, uma bandeira de falha de proa magnética, dois ponteiros (um simples e um duplo) e dois botões de controle dos ponteiros.

- Cartão compasso/Linha de fé – O cartão compasso mostra a proa magnética do avião, lida contra uma linha de fé fixa. A informação de proa magnética, de cada RMI, é fornecida cruzada com o computador do AHRS do lado oposto (AHRS 1 com o RMI 2 e AHRS 2 com o RMI 1).
- Bandeira de falha de Proa Magnética – É visível em caso de falha do sincronismo entre o RMI e o computador AHRS, falha de indicação magnética ou falha de energia elétrica no instrumento.
- Ponteiros Simples e Duplo – Ambos podem indicar orientação de ADF ou VOR. Eles indicarão a posição 3 horas nos seguintes casos:
  - Falha de ADF.
  - Falha ou falta de alimentação no sistema VOR.
  - Seleção de uma frequência de ILS.
- Botão do Ponteiro de barra Simples – Seleciona o modo de operação (ADF 1 ou VOR 1), associado ao ponteiro de barra simples.
- Botão do Ponteiro de barra Dupla – Seleciona o modo de operação (ADF 2 ou VOR 2), associado ao ponteiro de barra dupla.

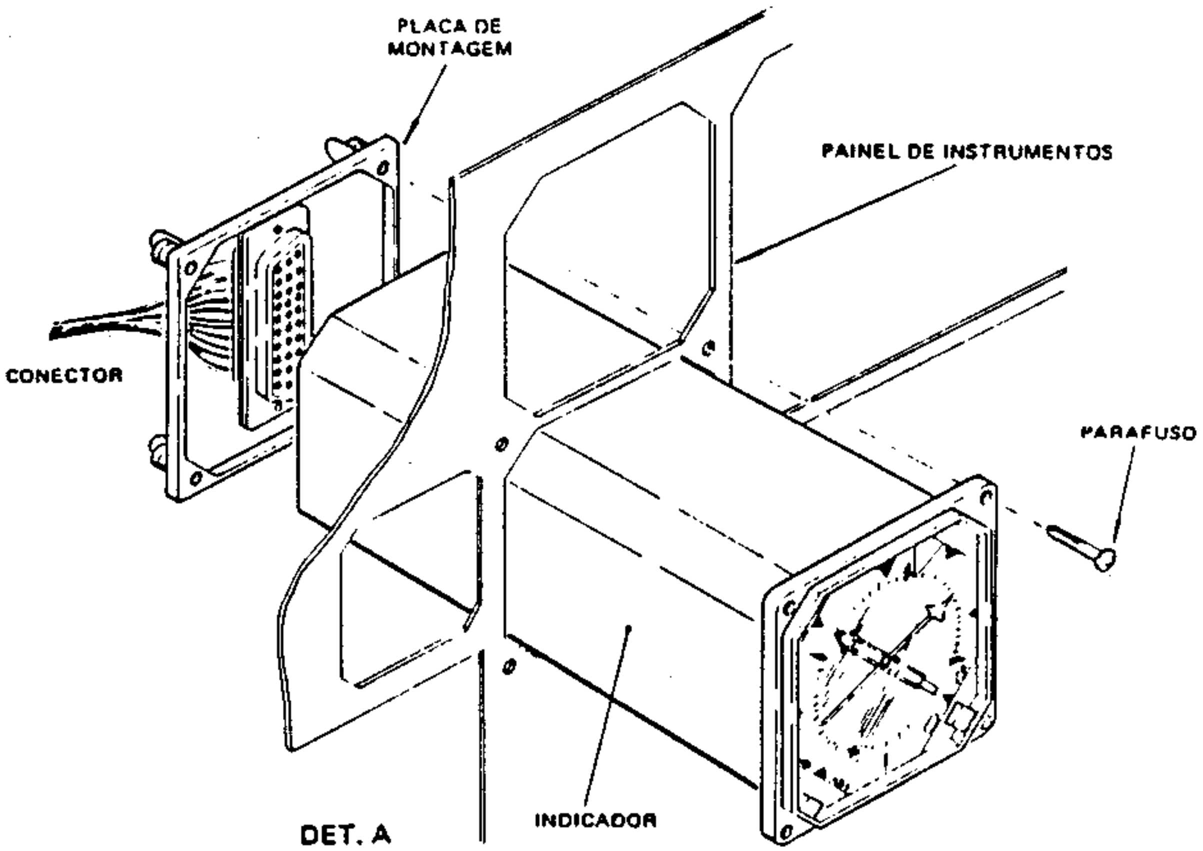


Figura 19-14 Instalação do indicador radio-magnético

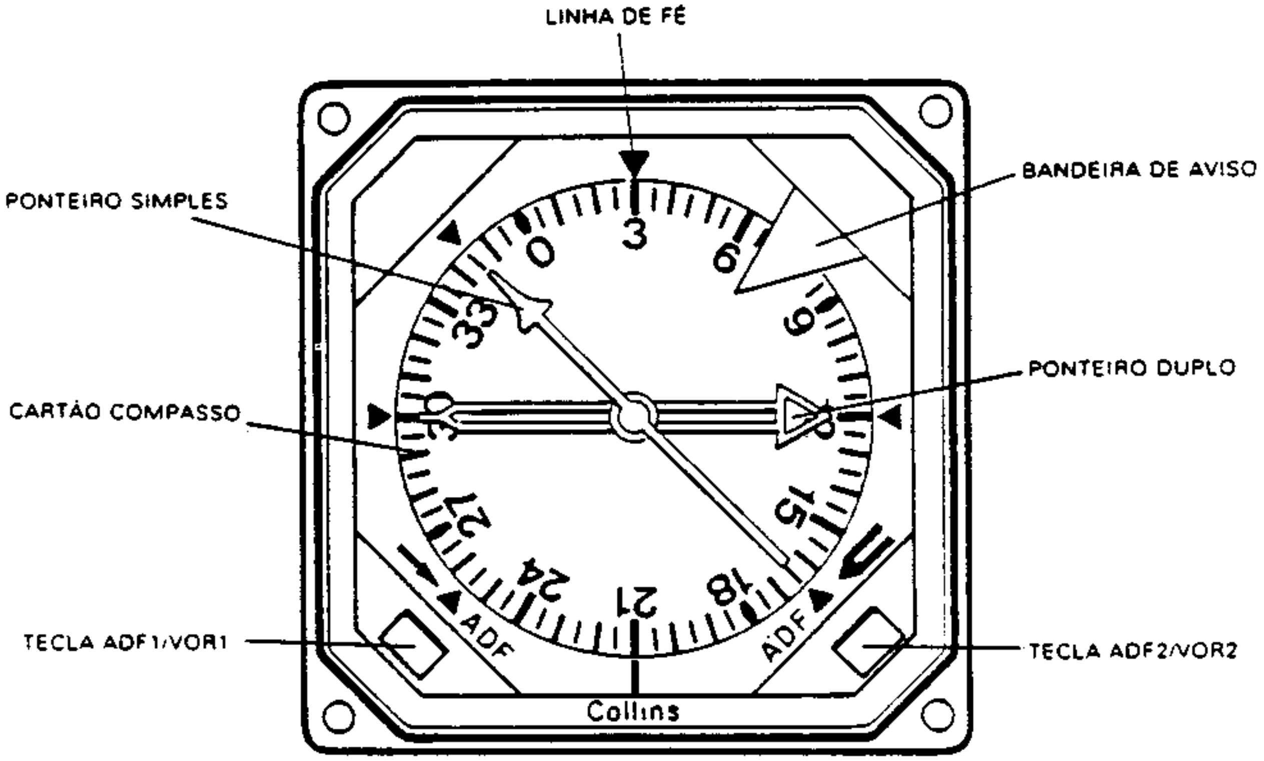

LINHA DE FÉ
BANDEIRA DE AVISO
PONTEIRO SIMPLES
PONTEIRO DUPLO
CARTÃO COMPASSO
TECLA ADF1/VOR1
TECLA ADF2/VOR2
ADF
ADF
Collins
0
3
6
9
12
15
18
21
24
27
30
33

Figura 19-15 Indicador radiomagnético RMI-36

Operação típica como VOR

- Energiza os receptores de navegação.
- Selecione um canal de VOR.
- Pressione o botão VOR/ADF a fim de selecionar VOR, no indicador. O ponteiro selecionado indicará a proa relativa do avião para a estação VOR selecionada.
- Se o sinal do VOR não for satisfatório o ponteiro do RMI indicará a posição de 3 horas.

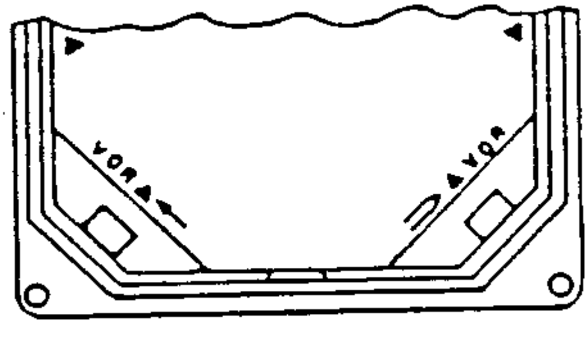


Figura 19-16 Comando de operação VOR

Operação típica como ADF

- Sintonize a unidade de controle do ADF para a frequência desejada.
- Gire o seletor de função, na unidade de controle do ADF, para a posição ADF.
- Pressione o interruptor VOR / ADF, do RMI, a fim de selecionar ADF, no indicador.
- O ponteiro do RMI indicará a proa relativa para a estação de ADF selecionada. Se o sinal recebido pelo ADF não for satisfatório, o ponteiro do RMI indicará a posição 3 horas.

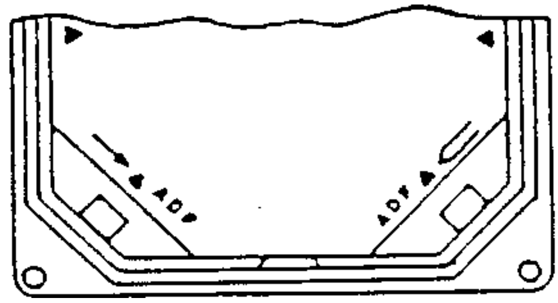


Figura 19-17 Comando de operação ADF

Bússola magnética C-14

Os sistemas de bússola giromagnética destinam-se a fornecer aos pilotos uma indicação de rumo magnético estabilizadas por meio de giroscópio, possuindo também recursos para funcionar com rumo não magnético estabilizado pelo giroscópio e selecionado pelos pilotos.

Possui dois sistemas independentes e idênticos de bússola giromagnética.. Cada sistema envia sinais de rumo magnético para um indicador de curso. Estes sinais são repetidos nos indicadores RMI. O indicador RMI do co-piloto repete os sinais de rumo magnético do indicador de curso do piloto e vice-versa.

Em algumas versões, os sinais, antes de irem para os Indicadores de Curso e RMIs, passam por um sistema de transferência de Bússola Giromagnética que faz o cruzamento dos mesmos.

O sistema que envia sinais para o indicador de curso do piloto é o que faz parte dos componentes do diretor de vôo.

Os componentes exclusivos de cada sistema de bússola giromagnética (Figuras 19-18 e 19) são os seguintes:

- Um detector de fluxo situado na ponta da asa.
- Um conjunto de giroscópio e sincronizadpr situado no compartimento de bagagem do nariz.
- Um compensador remoto DRC-1 comum aos dois sistemas.
- Um painel de controle.

Operação

Cada sistema de bússola giromagnética C-14 possui um painel de controle (figura 19-19) por meio do qual o piloto pode desacoplar o giroscópio do detector de fluxo e selecionar um rumo não magnético.

Com o giroscópio acoplado

- Energizando o sistema, após três minutos o indicador de curso e o RMI correspondente deverão estar indicando o rumo magnético captado pelo detector de fluxo.
- O tempo inicial de sincronização é de 45 segundos no máximo. A sincronização rápida processa-se na razão de 50 graus por minuto, podendo ser verificada desacoplando momentaneamente o giroscópio, mudando o rumo e acoplando novamente.

Com o giroscópio desacoplado

- Com o giroscópio desacoplado, o rumo dado pelo indicador de curso e pelo RMI não será o rumo magnético, podendo ser selecionado por meio do interruptor momentâneo existente no painel de controle.

-

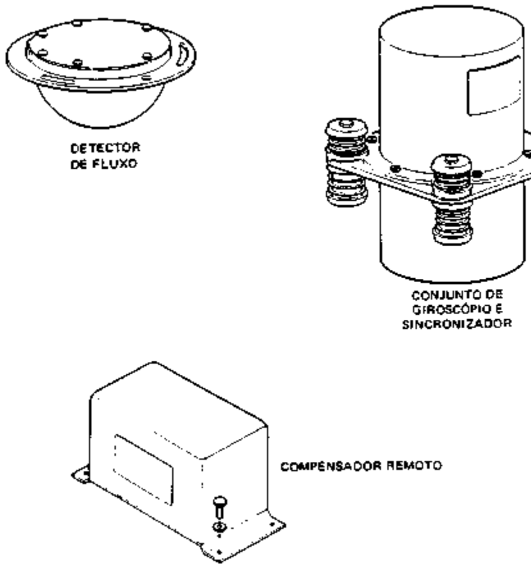


Figura 19-18 Componentes da bússola Giromagnética C-14.

Descrição dos componentes

- Detector de fluxo – Capta o componente horizontal do campo magnético da terra e converte a informação em sinal elétrico de referência para o sistema.
- Conjunto de Giroscópio e Sincronizador – Consiste realmente de dois conjuntos separados; o do giroscópio e o do sincronizador. O conjunto do giroscópio possui um amplificador, cuja função é mantê-lo acoplado ao rumo magnético captado pela válvula de fluxo. Os circuitos normal e rápido de acoplamento, bem como os de monitoramento são contidos no conjunto sincronizador, que serve também de suporte para o conjunto de giroscópio.
- Compensador remoto – Sua função é compensar os desvios causados no campo magnético sentido pelo detector de fluxo, devido às peças ferromagnéticas existentes nas proximidades do detector. Isto é feito, aplicando quantidades controladas de corrente nas bobinas do detector de fluxo. Esta corrente é controlada por potenciômetros de precisão. Cada compensador tem provisões para compensar dois sistemas independentes.

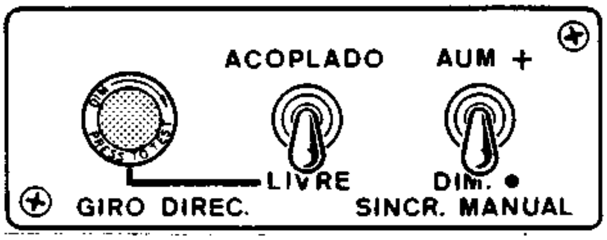
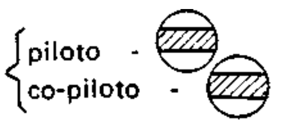


Figura 19-19 Painel de controle da Bússola Giromagnética.

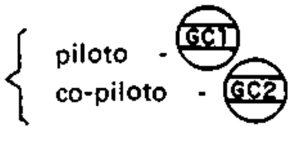
Sistema de Transferência da Bússola Magnética

- Os sinais da bússola giromagnética passam por uma caixa de transferência antes de alimentarem os indicadores de curso, indicadores radiomagnéticos (RMI) e Piloto Automático.
- O sistema é comandado através da chave "Seletor Bússola Giromagnética" de duas posições, localizada no painel do piloto abaixo do Indicador de Curso, conforme descritas a seguir.
  - Posição "Normal" - Nesta posição, o Giro Direcional 1 alimenta o Indicador de Curso do piloto, o RMI do co-piloto e o Piloto Automático; o Giro Direcional 2 alimenta o Indicador de Curso do co-piloto e o RMI do piloto.
  - Posição "Cruzado" – Nesta posição as funções dos Giros são invertidas, passando o Giro 1 a alimentar o Indicador de Curso do co-piloto e o RMI do piloto; e o Giro 2 a alimentar o Indicador de Curso do piloto, o RMI do co-piloto e o Piloto Automático.
- Cada piloto tem em seu painel um indicador magnético (figura 19-20), sendo que o do piloto está junto com a chave "Seletor Bússola Giromagnética". Os indicadores informam aos pilotos, através das inscrições "GC1" ou "GC2", qual sistema de bússola está alimentando seu Indicador de Curso, como é explicado a seguir.

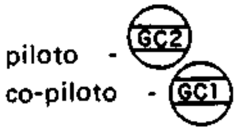
Avião desenergizado:
Chave em qualquer posição



Avião energizado:
Chave na posição NORMAL



Chave na posição CRUZADO



Compensação do Sistema de Bússola Giromagnética C-14

- Depois da remoção, reinstalação ou substituição de um detector de fluxo, ou periodicamente, o sistema deve ser compensado novamente.
- Para uma compensação rigorosa deste sistema, proceda de acordo com os seguintes passos:

  NOTA – Antes de executar os ajustes a seguir, todos os componentes e instrumentos do Sistema Diretor de Vôo devem estar instalados e os potenciômetros de compensação, no compensador remoto, colocados em suas posições centrais (metade do curso).
  - A válvula de fluxo deve ser substituída, caso não funcione satisfatoriamente ao ser verificada quanto a desvio magnético, erro de índice ou compensação adequada.

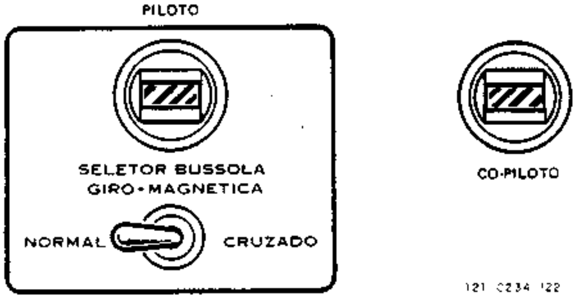


Figura 19-20 Chave de transferência da Bússola Giromagnética e os indicadores magnéticos.

ADVERTÊNCIA – Para fazer o teste de continuidade na válvula de fluxo, use o verificador de continuidade T321188 ou similar, isto evitará possíveis danos nas espiras e magnetização do núcleo.

Não permita que passe uma corrente maior que 1 miliampére através do elemento sensor da válvula de fluxo, pois esta irá permanentemente magnetizar o elemento e torna-lo inútil. Na escala "R x 100" o multímetro conduzirá uma corrente de 1 miliampére. Mesmo que se vá fazer uma leitura de baixa resistência, não use uma escala menor que "R x 100" no medidor.

Verifique a saída de outros multímetros antes de usá-los como miliamperímetros.

NOTA:Os motores não precisam estar ligados durante este ajuste.

Neste caso, a aeronave é alimentada por uma fonte externa. A viragem no solo poderá ser mais rápida e convenientemente executada com o uso do conjunto calibrador de bússolas MC-1 ou MC-2.

- Coloque a aeronave numa Rosa dos Ventos e dirija a proa para cada um dos quatro pontos cardeais.
- Registre as diferenças de leituras entre o mostrador do indicador de curso e a Rosa dos Ventos, tanto positivas quanto negativas, dependendo se as leituras no mostrador são maiores ou menores que as da Rosa dos Ventos. A cada mudança de direção da proa para os pontos cardeais, espere até que o mostrador se estabilize, antes de fazer as novas leituras.
- Adicione os erros algebricamente e divida por quatro. O resultado é o erro de índice.
- Solte os parafusos que fixam o flange da válvula de fluxo à sua superfície de montagem e gire o flange da unidade para cancelar o erro de índice.

  Se o erro for positivo, o flange deve ser girado no sentido anti-horário (dando assim, uma leitura "menos" no flange), como visto por cima da unidade.

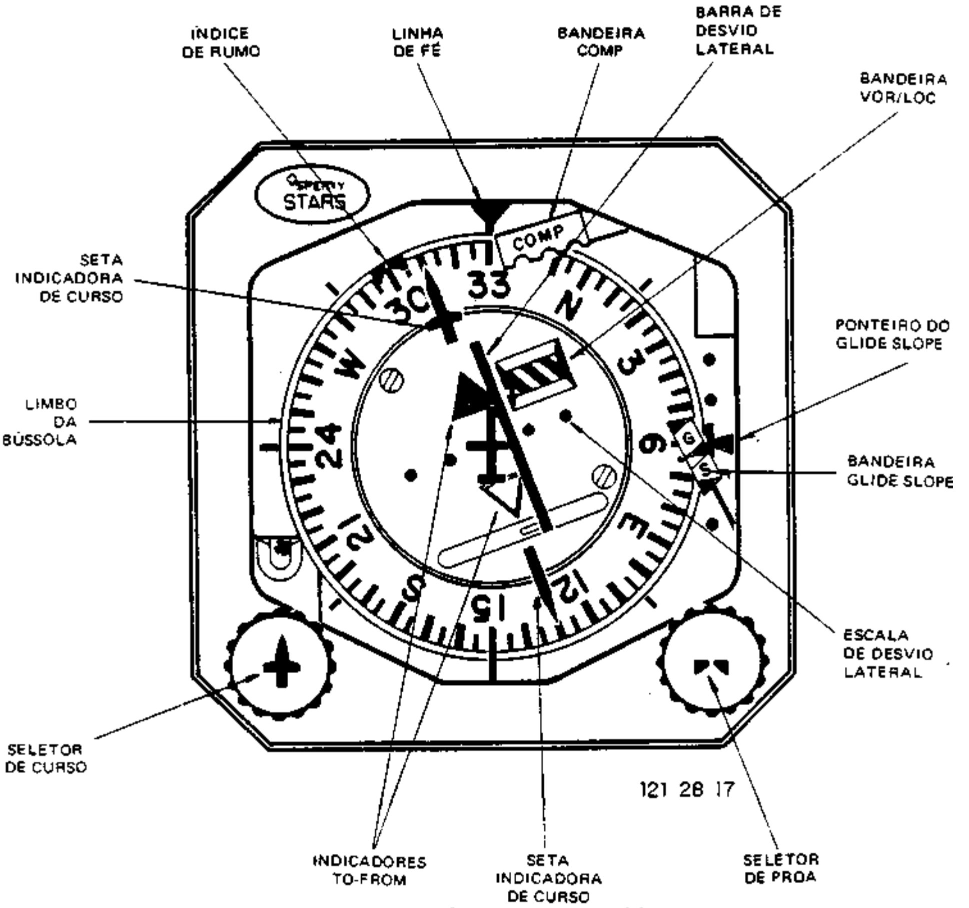
  Se o erro for negativo, gire o flange no sentido horário (dando uma leitura "mais" no flange). O giro da válvula de fluxo deve ser igual ao erro de índice.
- Aperte os parafusos de fixação e verifique novamente as leituras nos quatro pontos cardeais. Recalcule o erro de índice para se certificar de que este é zero. Caso não seja zero, reajuste o flange da válvula de fluxo até que o erro seja cancelado. Quaisquer erros que ainda permaneçam maiores do que ± 1 grau, causados por campos magnéticos externos, devem ser anulados usando-se o Compensador Magnético Remoto.

- Ajustes do Compensador Remoto

NOTA – Antes de iniciar os ajustes a seguir, no compensador remoto, faça a instalação da válvula de fluxo e o ajuste do erro de índice descrito no item anterior.

a Remova a tampa do compensador remoto.
b Certifique-se de que os potenciômetros de compensação estejam em suas posições centrais (metade do curso total).
c Com o avião na Rosa dos Ventos, dirija o nariz do avião para o ponto cardeal NORTE e deixe que o cartão de bússola do Indicador de Curso se estabilize.
d Compense qualquer diferença entre a proa atual e a indicada no Indicador de Curso, soltando a porca-freno e ajustando o potenciômetro N-S no compensador. Aperte a porca-freno.
e Repita o item "c", colocando o nariz do avião para o ponto cardeal LESTE.
f Repita o item "d", ajustando o potenciômetro E-W.
g Repita o item "c", para o ponto cardeal SUL.
h Repita o item "d", ajustando o potenciômetro N-S de modo a compensar apenas a metade do erro.
i Repita o item "c" para o ponto cardeal OESTE.
j Repita o item "h" ajustando o potenciômetro E-W
k Como teste, gire a aeronave em incrementos de 30 graus e anote as leituras do mostrador da bússola. Todas as leituras devem estar, no máximo, a um grau da proa real. Se os erros forem maiores que um grau, repita o ajuste do erro de índice descrito no item anterior, e os ajustes acima, para uma maior precisão.

NOTA – O conjunto Calibrador de Bússola MC-1 ou MC-2 pode ser usado para ajustar o erro de índice e o Compensador Remoto em substituição aos procedimentos descritos acima.


ÍNDICE DE RUMO
LINHA DE FÉ
BANDEIRA COMP
BARRA DE DESVIO LATERAL
BANDEIRA VOR/LOC
SPERRY STARS
COMP
SETA INDICADORA DE CURSO
LIMBO DA BÚSSOLA
PONTEIRO DO GLIDE SLOPE
BANDEIRA GLIDE SLOPE
ESCALA DE DESVIO LATERAL
SELETOR DE CURSO
121 28 17
INDICADORES TO-FROM
SETA INDICADORA DE CURSO
SELETOR DE PROA

Indicador de Curso RD-44
Figura 2

Figura 19-21 Indicador de Curso RD-44.

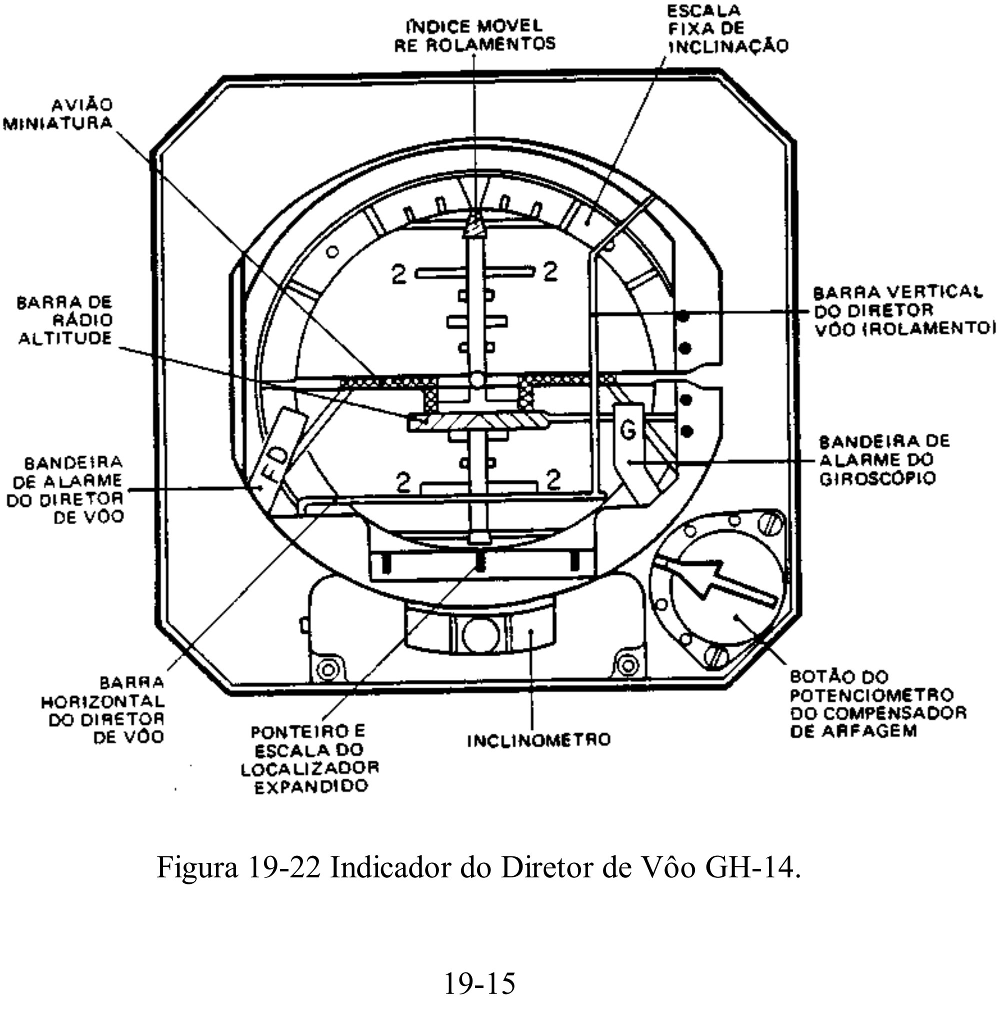

ÍNDICE MOVEL RE ROLAMENTOS
ESCALA FIXA DE INCLINAÇÃO
AVIÃO MINIATURA
BARRA DE RÁDIO ALTITUDE
BARRA VERTICAL DO DIRETOR VÔO (ROLAMENTO)
BANDEIRA DE ALARME DO DIRETOR DE VÔO
BANDEIRA DE ALARME DO GIROSCÓPIO
FD
G
BARRA HORIZONTAL DO DIRETOR DE VÔO
PONTEIRO E ESCALA DO LOCALIZADOR EXPANDIDO
INCLINOMETRO
BOTÃO DO POTENCIOMETRO DO COMPENSADOR DE ARFAGEM

Figura 19-22 Indicador do Diretor de Vôo GH-14.

SISTEMA AUTOMÁTICO DE DIREÇÃO

O sistema ADF é projetado para fornecer informações de proa relativa, ou seja, com relação a uma estação de terra sintonizada e a recepção de áudio, para sinais de AM de baixa e média frequência, na faixa de 190 a 1750 kHz.

A informação de proa relativa (da estação) é apresentada nos indicadores radiomagnéticos (RMI) e nos indicadores de situação horizontal (EHSI).

O conceito de navegação ADF é baseado na habilidade que tem o sistema de bordo, de fornecer indicação de proa, relativa à direção de uma estação de rádio selecionada. Quando o cartão compasso de um RMI indica a proa do avião, a leitura do ponteiro indicador, contra o cartão compasso, fornece a direção magnética para a estação.

A aeronave emprega dois receptores ADF em sistemas independentes, cujas indicações são apresentadas nos indicadores RMI e EHSI.

Os ADFs são usados nas seguintes funções:

- Como radiogoniômetro automático, para fornecer indicações contínuas de marcações magnéticas das estações sintonizadas.
- Como receptores convencionais para permitir a recepção auditiva de sinais modulados em amplitude na faixa de frequência abrangida.

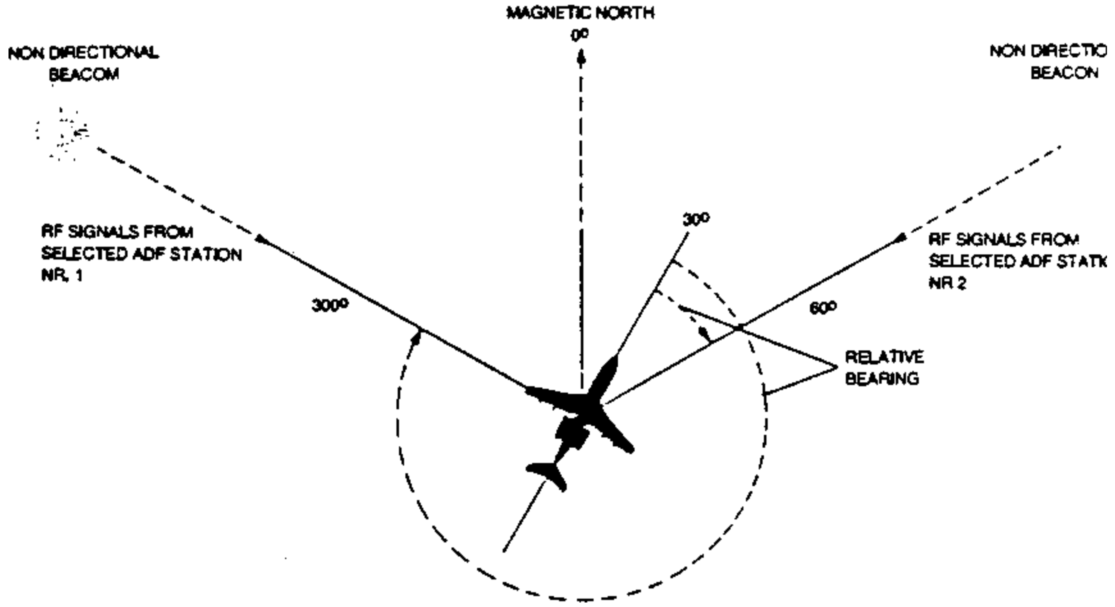


Figura 19-23 Sistema de navegação ADF

Descrição e localização dos componentes

Cada sistema é composto por:

- Um receptor ADF COLLINS 51Y-7, instalado no compartimento eletrônico.
- Um painel de controle COLLINS 614L-13 instalado no painel principal.
- Uma antena LOOP TECNASA ADF-500, instalada na parte inferior da aeronave.
- Uma antena SENSE, instalada na barbatana dorsal da aeronave.
- Dois indicadores radiomagnéticos COLLINS-RMI 36
- Um corretor quadrantal.

Receptor de ADF – O receptor de ADF é do tipo sintonia digital conectado ao painel de controle, através de barras de dados digitais, para seleção de freqüências; e a antena, a fim de receber informações de RF.

As saídas do receptor são conectadas ao EHSI, RMI e sistema de áudio, do avião a fim de fornecer indicação de proa e identificação em áudio, respectivamente.

Painel de controle – Os sistemas ADF1 e ADF2 são comandados por meio de um painel de controle duplo, localizado no painel principal, que possui os seguintes comandos e indicações:

- Seletores de função.
- Controles de ganho(GAIN)
- Seletores de frequência.
- Janelas indicadoras de freqüência.
- Interruptor TONE.

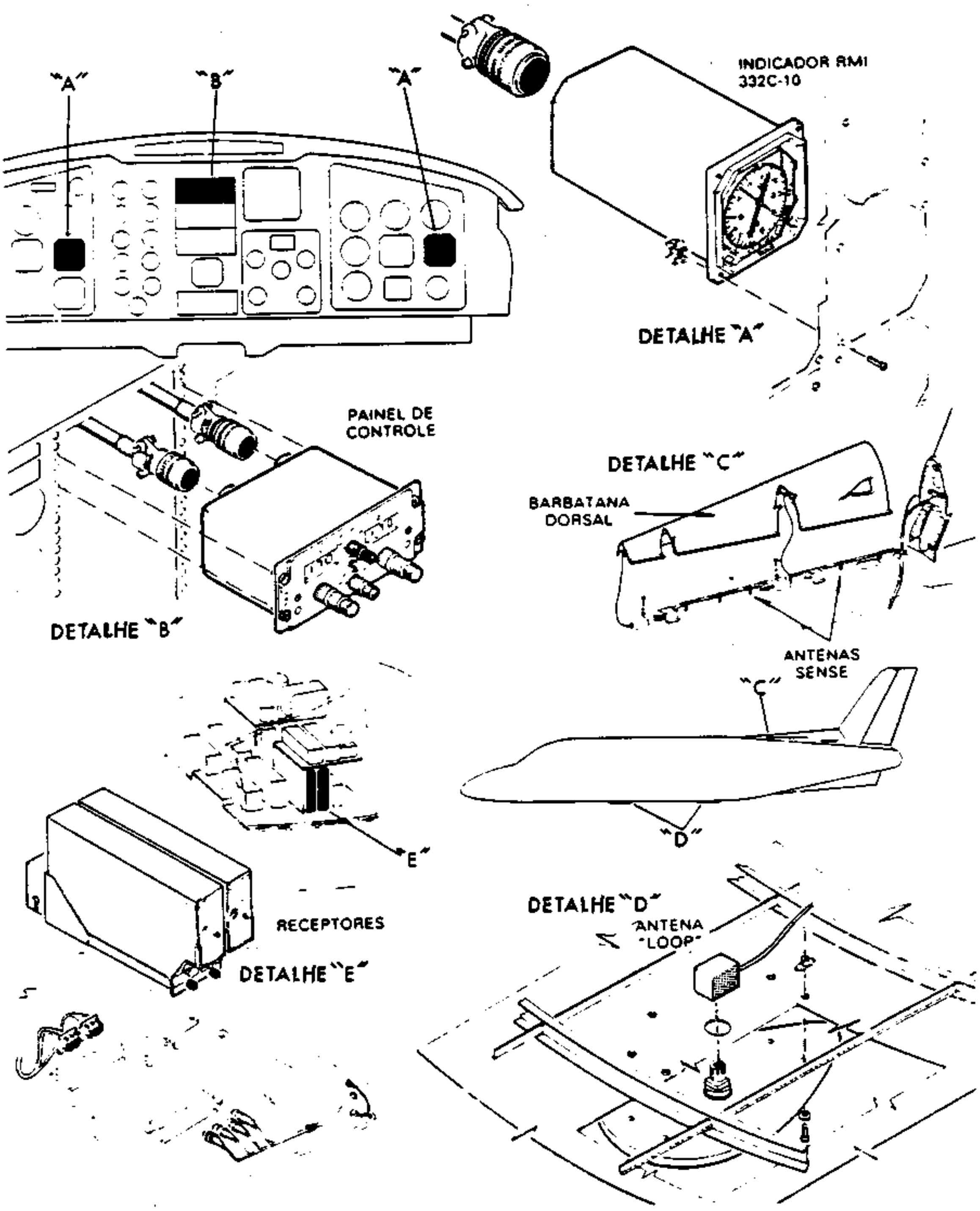

"A"
"B"
"A"
INDICADOR RMI
332C-10
DETALHE "A"
PAINEL DE
CONTROLE
DETALHE "C"
BARBATANA
DORSAL
DETALHE "B"
ANTENAS
SENSE
"C"
"D"
"E"
RECEPTORES
DETALHE "E"
DETALHE "D"
ANTENA
"LOOP"

Figura 19-24 Localização dos componentes do sistema ADF.

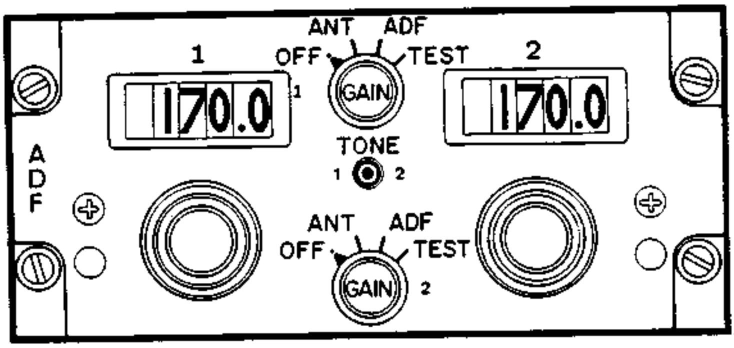

ANT
ADF
1
OFF
TEST
2
170.0
1
GAIN
170.0
TONE
1
2
ADF
ANT
ADF
OFF
TEST
GAIN
2

Figura 19-25 Painel de controle do ADF

Descrição e Localização dos componentes

Seletores de função

Os seletores de função estão localizados exatamente no centro do painel. São dois interruptores rotativos idênticos, cada um com quatro posições. O interruptor superior controla o ADF1 e o inferior controla o ADF2.

As posições com as respectivas funções são:

- OFF – Desliga o sistema.
- ANT – Liga o receptor à antena SENSE (não direcional). Nesta posição, o sistema funciona como radioreceptor convencional e é usado também para recepção de sinais auditivos das estações de radiofaixa.
- ADF – Liga o receptor à antena SENSE e à antena LOOP (direcional). Nesta posição, o sistema funciona como radiogoniômetro automático.
- TEST – Nesta posição é acionado o circuito-teste do receptor, o ponteiro dos indicadores RMI deverá colocar-se em 45º e um tom de 1020 Hz deverá ser ouvido.

Controle de ganho (GAIN)

Estes controles permitem ajustar o nível de saída de áudio. Existem dois controles, um para o ADF1 e o outro para o ADF2. Estes controles são botões concêntricos aos seletores de função. O botão superior é o controle de ganho do ADF1 e o botão inferior é o controle de ganho do ADF2.

Seletores de freqüência

São dois conjuntos, cada um formado por três botões concêntricos e estão localizados na parte inferior do painel. O conjunto da esquerda seleciona a frequência do ADF1 e o conjunto e o conjunto da direita seleciona a frequência do ADF2.

Em cada conjunto, o botão externo seleciona a frequência em intervalos de 100 kHz a qual é indicada pelos dois primeiros algarismos da janela indicadora.

O botão intermediário seleciona a frequência em intervalos de 10 kHz, a qual é indicada pelo terceiro algarismo da janela indicadora; o botão interno seleciona a frequência em intervalos de 0,5 kHz, a qual é indicada pelos dois últimos algarismos da janela indicadora.

Janelas indicadoras de frequência

Existem duas janelas: a da esquerda indica a frequência do ADF1 e a da direita a frequência do ADF2.

Interruptor TONE

Este interruptor é usado para a recepção de sinais de CW (não modulados). Na posição 1 um oscilador de 1020 Hz do ADF1 é ligado para modular os sinais de CW recebidos. Na posição 2, é ligado o oscilador de 1020 Hz do ADF2.

Dessa maneira, a recepção audível de sinais CW, só é possível através de um ADF por vez. Durante a recepção CW, um tom de 1020 Hz será ouvido através dos fones ou auto-falantes.

Antena LOOP

As antenas LOOP (direcionais) são do tipo TECNASA ADF-500 e estão instaladas na parte inferior da fuselagem.

Antenas SENSE

As antenas SENSE (não direcionais) são montadas na barbatana dorsal do avião, formando um único conjunto.

Indicadores Radiomagnéticos

O avião está equipado com dois RMIs (COLLINS RMI-36), localizados no painel de instrumentos do piloto e do co-piloto. Cada RMI possui dois ponteiros. O ponteiro de haste simples indica a estação sintonizada pelo ADF1 ou pelo VOR1 e o ponteiro de haste dupla indica a estação sintonizada pelo ADF2 ou VOR2. Para os indicadores radiomagnéticos que não possuem teclas próprias, a seleção de ADF ou VOR é feita através de duas chaves BRG1 e BRG2, instaladas nos painéis de instrumentos, abaixo de cada RMI.

Corretor Quadrantal

O Corretor Quadrantal QCA 7301 está instalado entre o receptor ADF1 e a antena

LOOP do adf1 para corrigir as informações da antena ao receptor, devido ao comprimento do cabo coaxial.

Operação do sistema

Os sinais da estação de terra são recebidos através das antenas SENSE e LOOP e são enviados ao receptor. O receptor fornece informações de proa relativa à estação sintonizada, nos indicadores.

O sistema envia as seguintes informações:

- Saída de sinal SEM / COS para o RMI.
- Saída de sinal SEM / COS para o sistema EHSI.
- Saída de áudio, para o sistema de áudio do avião.

O painel de controle proporciona a seleção de frequência e de modo de operação e transfere dados para o receptor.

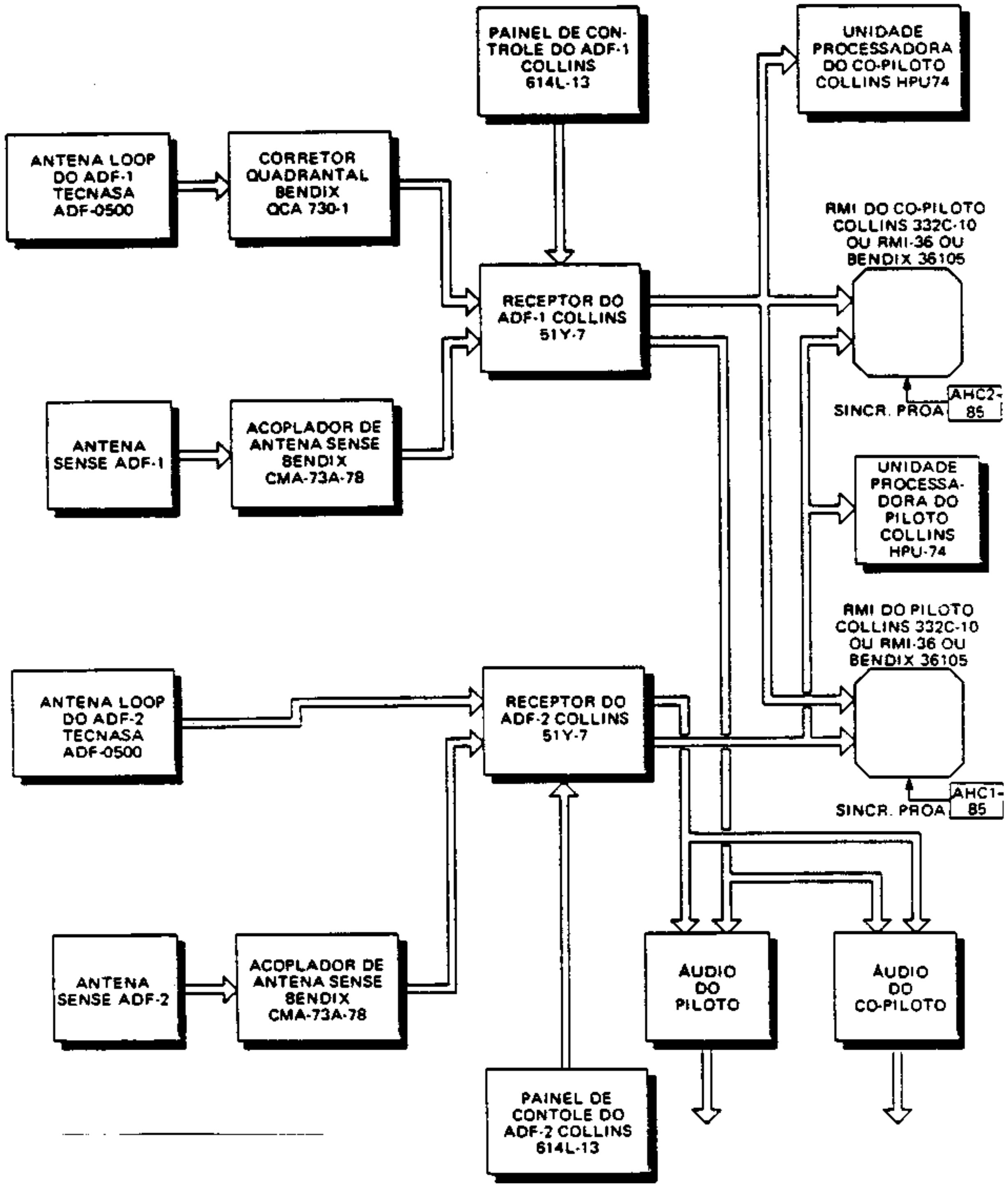

PAINEL DE CON-TROLE DO ADF-1 COLLINS 614L-13
UNIDADE PROCESSADORA DO CO-PILOTO COLLINS HPU74
ANTENA LOOP DO ADF-1 TECNASA ADF-0500
CORRETOR QUADRANTAL BENDIX QCA 730-1
RMI DO CO-PILOTO COLLINS 332C-10 OU RMI-36 OU BENDIX 36105
RECEPTOR DO ADF-1 COLLINS 51Y-7
SINCR. PROA
AHC2-85
ANTENA SENSE ADF-1
ACOPLADOR DE ANTENA SENSE BENDIX CMA-73A-78
UNIDADE PROCESSA-DORA DO PILOTO COLLINS HPU-74
RMI DO PILOTO COLLINS 332C-10 OU RMI-36 OU BENDIX 36105
ANTENA LOOP DO ADF-2 TECNASA ADF-0500
RECEPTOR DO ADF-2 COLLINS 51Y-7
SINCR. PROA
AHC1-85
ANTENA SENSE ADF-2
ACOPLADOR DE ANTENA SENSE BENDIX CMA-73A-78
AUDIO DO PILOTO
AUDIO DO CO-PILOTO
PAINEL DE CONTOLE DO ADF-2 COLLINS 614L-13

Figura 19-26 Diagrama bloco do sistema ADF.

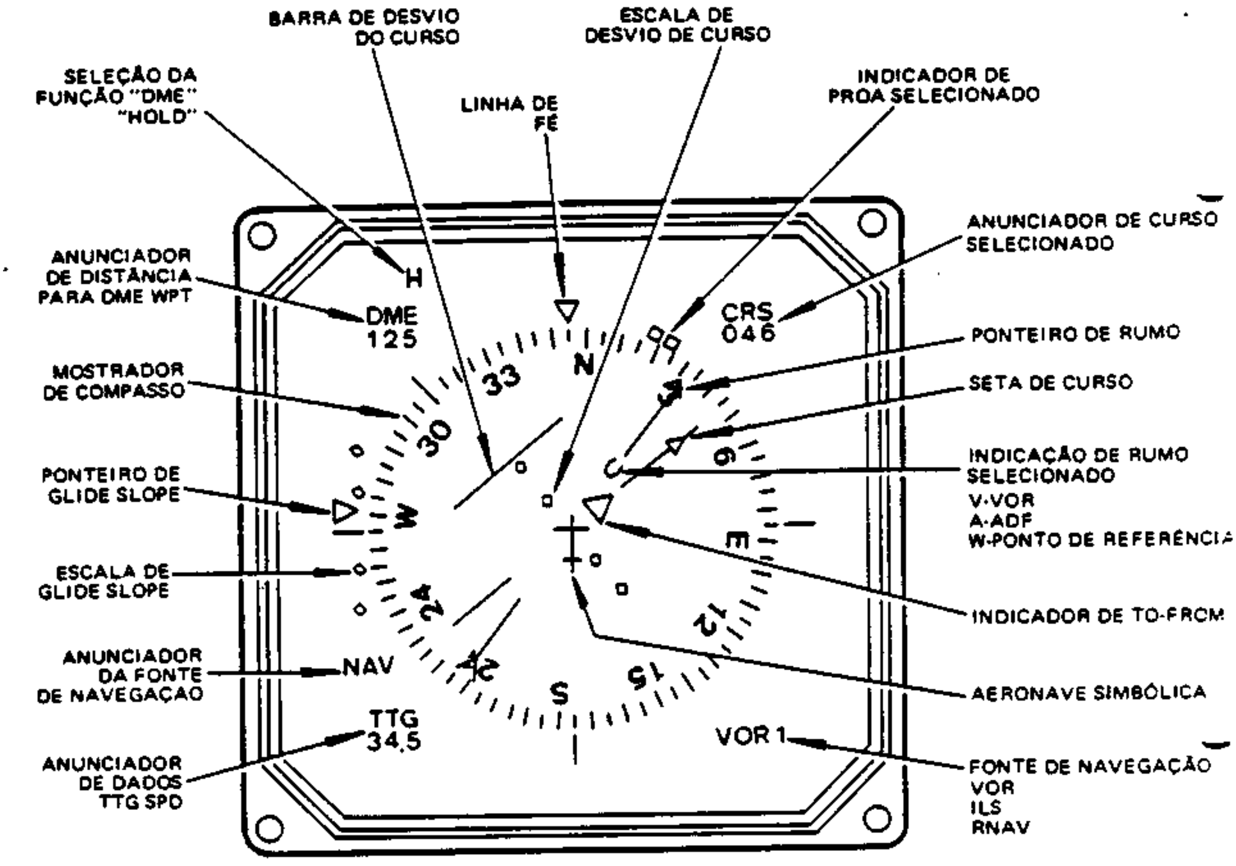

BARRA DE DESVIO DO CURSO
ESCALA DE DESVIO DE CURSO
SELEÇÃO DA FUNÇÃO "DME" "HOLD"
LINHA DE FÉ
INDICADOR DE PROA SELECIONADO
ANUNCIADOR DE CURSO SELECIONADO
ANUNCIADOR DE DISTÂNCIA PARA DME WPT
H
DME
125
CRS
046
PONTEIRO DE RUMO
MOSTRADOR DE COMPASSO
SETA DE CURSO
N
33
30
3
6
W
E
24
21
S
15
12
PONTEIRO DE GLIDE SLOPE
INDICAÇÃO DE RUMO SELECIONADO
V-VOR
A-ADF
W-PONTO DE REFERÊNCIA
ESCALA DE GLIDE SLOPE
INDICADOR DE TO-FROM
ANUNCIADOR DA FONTE DE NAVEGAÇÃO
NAV
AERONAVE SIMBÓLICA
ANUNCIADOR DE DADOS TTG SPD
TTG
34.5
VOR 1
FONTE DE NAVEGAÇÃO
VOR
ILS
RNAV

Figura 19-27 Indicador EHSI

SISTEMA VOR / LOC – GS – MB

VOR / LOC a função básica do VOR (VHF – OMNIDIRECTIONAL RANGE) é fornecer meios para que seja determinada a posição do avião, com referência a uma estação de terra e, também seguir uma rota em direção à estação ou no afastamento da mesma. Isto é efetuado pela indicação do posicionamento do avião, na radial da estação de VOR selecionada ou determinando-se a radial na qual a aeronave se encontra.

A diferença de fase entre os dois sinais que são gerados pelo VOR (estação de terra) é avaliada de acordo com a direção do avião em relação à estação (de terra), de modo que uma determinada radial é representada por uma diferença de fase.

É gerado um sinal de referência, não direcional, cuja fase é a mesma a qualquer momento e em todas as direções.

O outro sinal apresenta variações de fase a cada instante e em cada direção. Os dois sinais terão a mesma fase somente a zero graus, ou radial norte.

Os sinais de referência são variáveis. São voltagens derivadas da variação (modulação) de 30 Hz, sobre uma RF portadora.

A diferença de fase é indicada no EHSI ou RMI.

ILS – Este sistema proporciona, durante a fase de pouso, de um vôo, informações para que o avião seja dirigido diretamente para a pista e como descer em um ângulo correto. Para tanto foram projetados um sistema de VHF (orientação horizontal) e um de UHF (orientação vertical).

O LOCALIZER é uma estação que transmite a orientação horizontal para a pista e opera em VHF, na faixa de frequência de 108 a 111.95 MHz, sempre que o decimal for ímpar.

Uma portadora modulada em 90 Hz e 150 Hz é transmitida, pela antena, de modo que toda a energia é concentrada em uma faixa estreita, perpendicular à pista.

Um avião voando à direita dessa faixa vertical recebe um sinal predominante de 150 Hz e, à esquerda, recebe o sinal de 90 Hz. Quando o avião estiver perfeitamente alinhado em direção à pista, os sinais serão nulos.

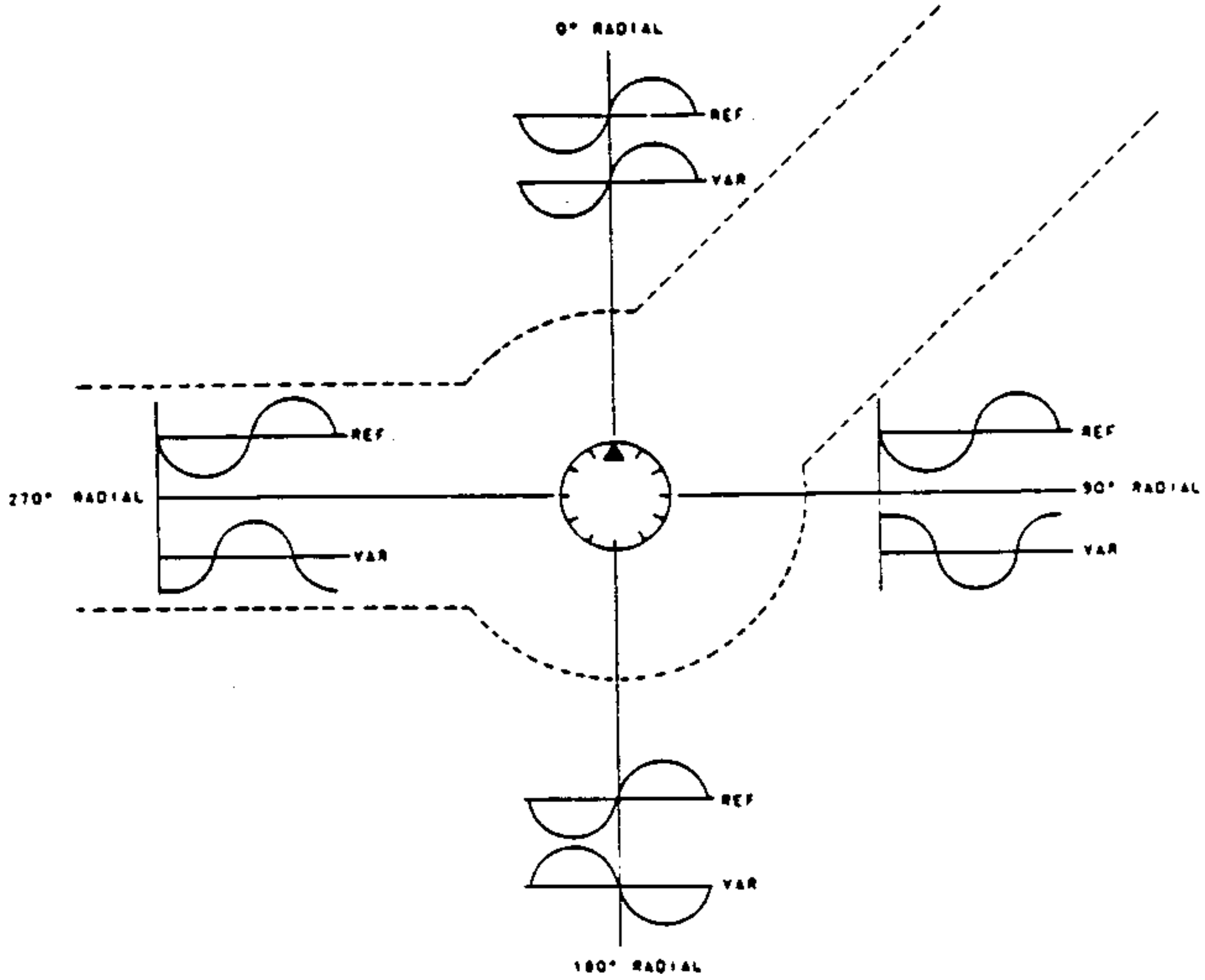

0° RADIAL
REF
VAR
270° RADIAL
REF
VAR
90° RADIAL
REF
VAR
REF
VAR
180° RADIAL

Figura 19-28 Determinação de uma radial.

Esta posição relativa, depois de recebida e decodificada, é mostrada na instrumentação de vôo com as informações de desvio.

O GLIDESLOPE transmite uma orientação vertical da pista e opera na faixa de frequência de 329.15 a 335.00 MHz irradiando dois sinais modulados; um em 90 Hz e o outro em 150 Hz. Neste caso a energia transmitida é concentrada numa faixa estreita, que determina a rampa de descida para o avião. Se o avião estiver acima da rampa, recebe a modulação de 90 Hz e, estando abaixo, a de 150 Hz.

Se o avião estiver na rampa correta, os sinais se anulam. Esta posição relativa, após recebida, é mostrada na instrumentação de vôo com as informações de desvio.

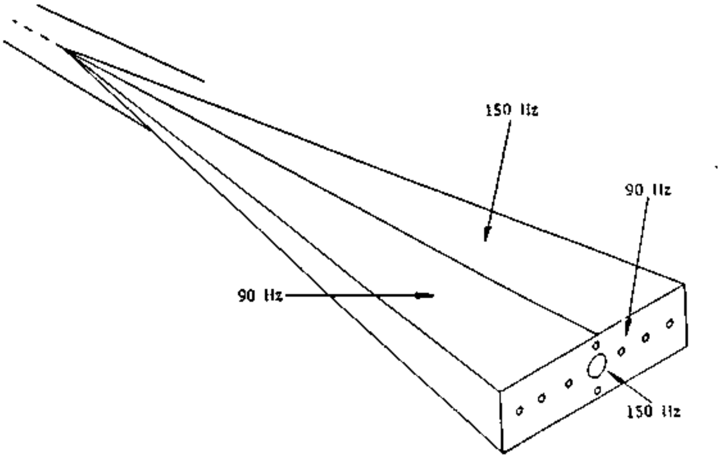

150 Hz
90 Hz
90 Hz
150 Hz

Figura 19-29 Rampa de descida do ILS.

MARKER BEACON – É um sistema constituído de três transmissores alinhados com o eixo da pista. Os três marcadores conhecidos como externo, intermediário e interno, operam numa frequência de 75 MHz, sendo cada portadora modulada por um tom diferente de áudio: 3.000 Hz para o interno; 1300 Hz para o intermediário; e 400 Hz para o externo.

A energia é concentrada segundo um feixe cônico de pequena abertura e, por este motivo, o receptor de bordo só acusa a presença de sinal quando a aeronave estiver bloqueando o respectivo marcador.

Como as distâncias entre os marcadores e a cabeceira de aproximação são padronizadas intencionalmente, os marcadores indicam, ao piloto, o progresso da aeronave ao longo da perna final. O equipamento de bordo propicia indicações visuais através de lâmpadas indicadoras de cores distintas, e auditivas, por meio de um tom específico, para cada modulação.

A correspondência de cores e tons é apresentada a seguir, para cada marcador.

- EXTERNO – Cor azul e tom de 400 Hz, audível em baixo tom e identificado em código Morse, pela emissão contínua de dois traços por segundo.
- INTERMEDIÁRIO – Cor âmbar e tom de 1.300 Hz, audível em tom médio e emite um código Morse, alternando pontos e traços, na razão de 95 unidades (pontos e traços) por minuto.
- INTERNO – Cor branca e tom de 3.000 Hz, audível em tom bem agudo e pontos contínuos em código Morse, na razão de 6 pontos por segundo.

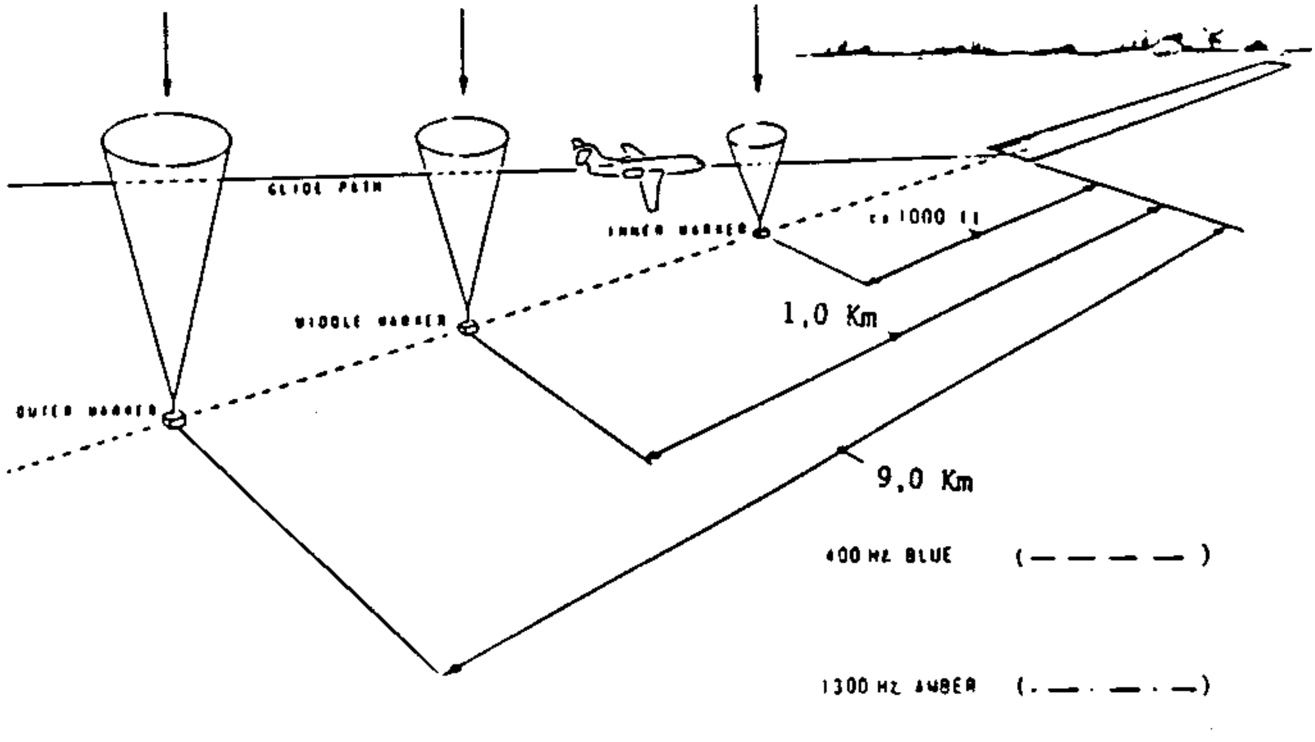


Figura 19-30 Marcadores do sistema Marker Beacon

Localização dos componentes

Cada sistema compõe-se de:

- Um painel de controle de VHF / NAV, instalado no painel principal (L)
- Um receptor VOR / ILS / MB, instalado no compartimento eletrônico (C)
- Antena GS instalada sob o radome (D)
- Antena de MB, instalada na parte inferior da fuselagem (A)
- Antena VOR / LOC (B)
- Um indicador ADI-84 (H)
- Um indicador EFD-74 (G)
- Um indicador RMI (J)
- Um anunciador de MB (K)

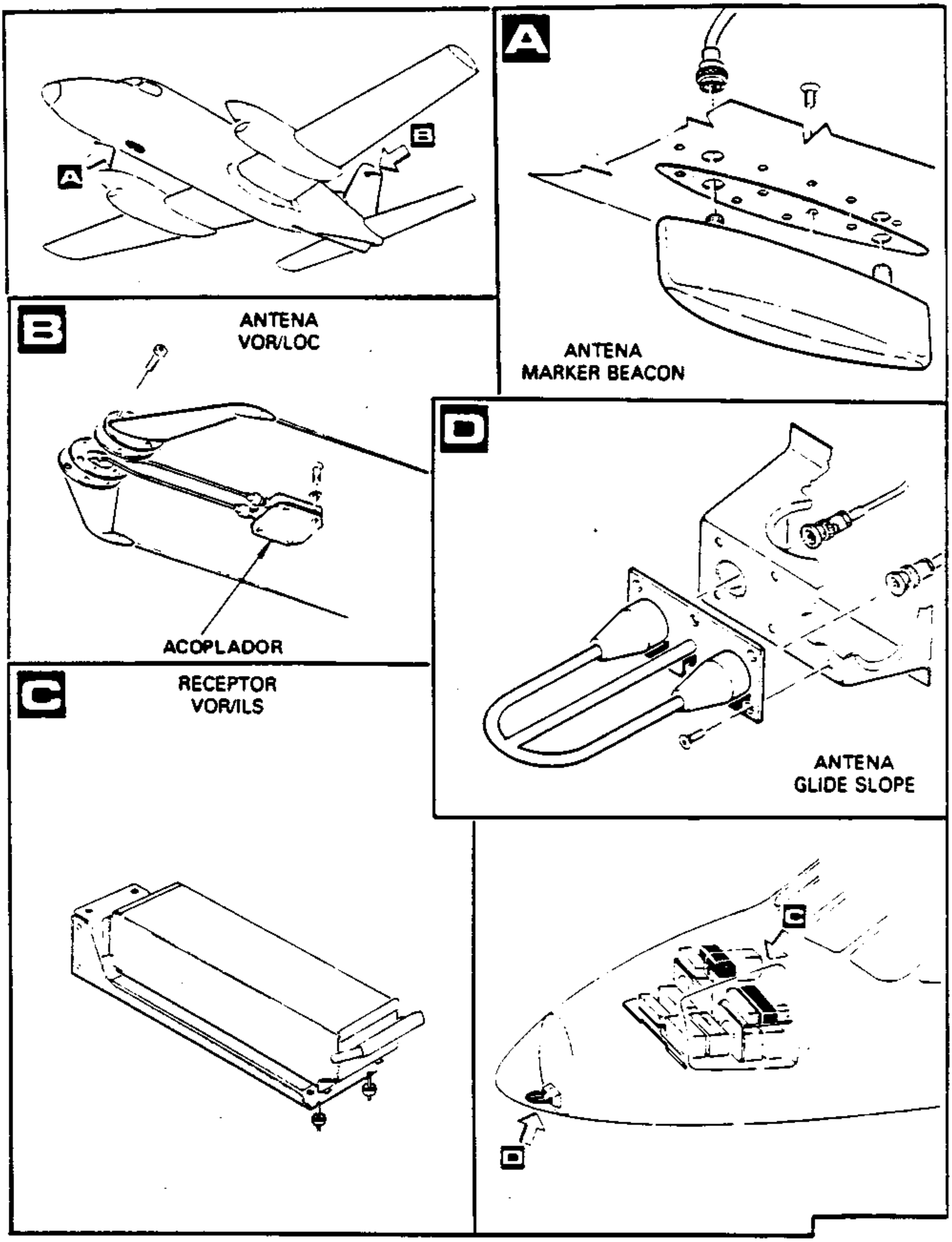

A
B
A
ANTENA
MARKER BEACON
B
ANTENA
VOR/LOC
ACOPLADOR
D
ANTENA
GLIDE SLOPE
C
RECEPTOR
VOR/ILS
C
D

Figura 19-31 Localização dos componentes do sistema VOR / ILS / MB

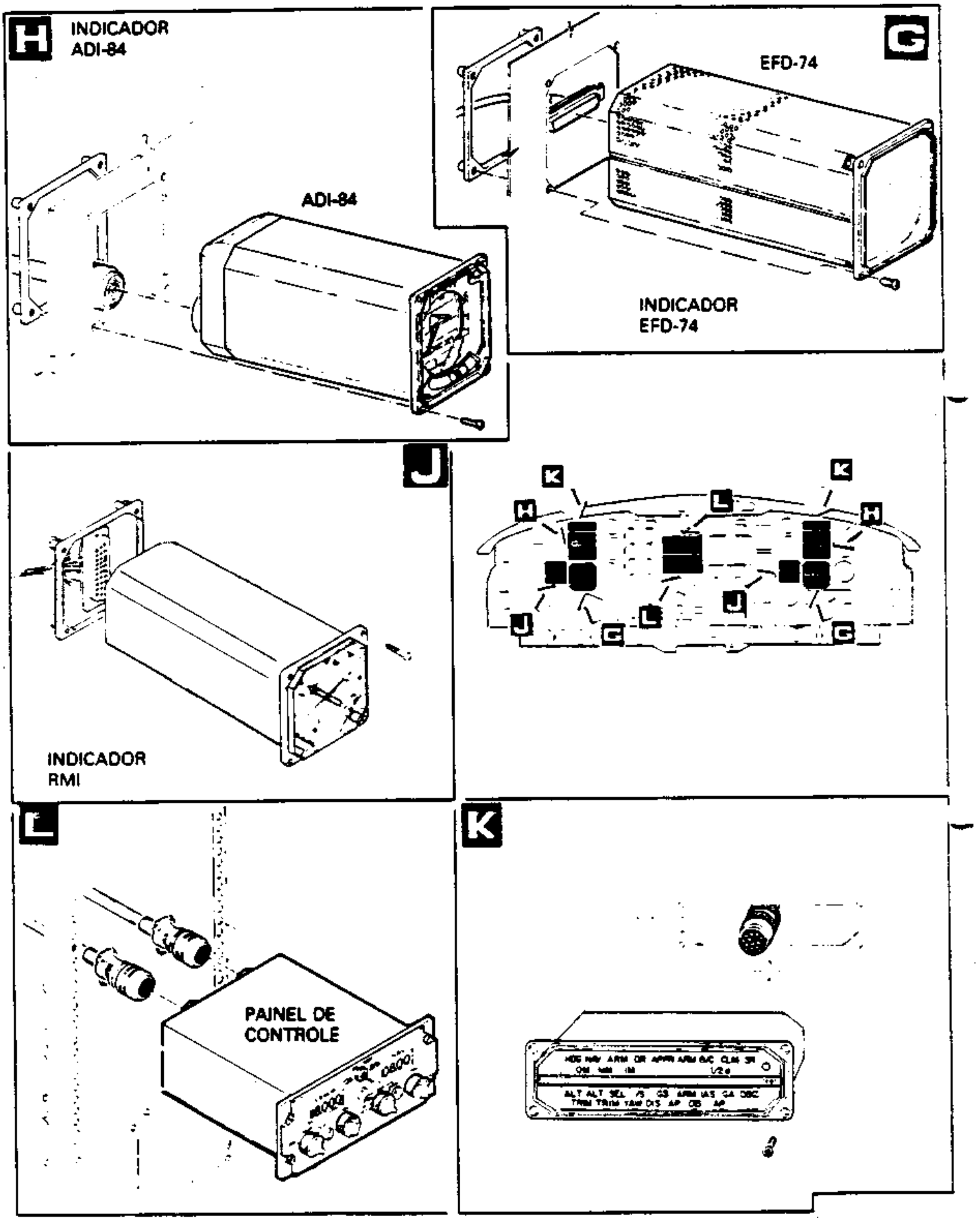

H
INDICADOR
ADI-84
ADI-84
G
EFD-74
INDICADOR
EFD-74
J
INDICADOR
RMI
K
H
L
J
G
L
PAINEL DE
CONTROLE
K

Figura 19-32 Localização dos componentes do sistema VOR / ILS / MB

Painel de controle

– Cada sistema é controlado por um painel Collins Modelo 313N-2D.

Somente a parte “NAV” do referido painel é usada para o controle do sistema de navegação.

O setor “NAV” do painel de controle possui os seguintes controles e indicações:

- Chave Seletora de Função – Essa chave possui cinco posições:
  - OFF – Os sistema VOR/ILS/MB e MDE permanecem desligados
  - NAV – Energiza o receptor VOR/LOC
  - STBY – O sistema de navegação continua em operação e o sistema DME entra em STBY (aquecimento)

  - DME – Permite operação normal do receptor DME
  - OVRD – INOPERANTE

- Chaves Seletoras de Frequência – São usadas duas chaves, uma à esquerda, concêntrica com a chave seletora de função, que ajusta a frequência em intervalos de 1 MHz. A outra chave, à direita, concêntrica com o comando de volume, ajusta a frequência em intervalos de 0,05 MHz. A frequência selecionada aparece na janela indicadora.

- Comando de volume (VOL) – Controla o volume de áudio do sistema. Está localizado na extremidade inferior direita do painel de controle e é concêntrica com a chave seletora de frequência de 0,05 MHz.

- Chave NAV / TEST – Permite testar os sistemas VOR / ILS, DME e MB.

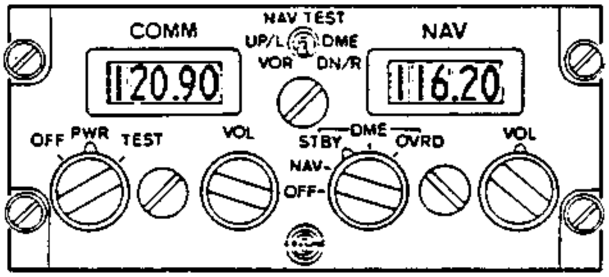


Figura 19-33 Painel de controle do sistema VOR/ILS/MB

Receptor VOR / ILS / MB – O receptor NAV, é uma unidade integrada que contém separadamente, três receptores de navegação para receber e processar sinais de VOR/LOC, GLIDESLOPE e MARKER BEACON.

Antena VOR/LOC – É uma antena instalada no estabilizador vertical e consiste de duas partes interligadas através de um acoplador de fase.

Antena GLIDESLOPE – É uma antena dupla, instalada no nariz do avião e opera com cada receptor de GS independentemente.

Antena de MARKER BEACON – É uma antena instalada na parte inferior da fuselagem, a fim de receber sinais modulados, transmitidos pelo MB.

Indicador ADI-84 – Consultar a seção referente ao sistema de instrumentos de vôo.

Indicador EFD-74 - Consultar a seção referente ao sistema de instrumentos de vôo.Ver a Figura 19-22, deste Capítulo.

Indicador Radiomagnético – Ver a Figura 19-15, deste Capítulo.

Anunciador de MARKER BEACON

A indicação de Marker Beacon é apresentada no Anunciador de modos do piloto automático MAP-65.

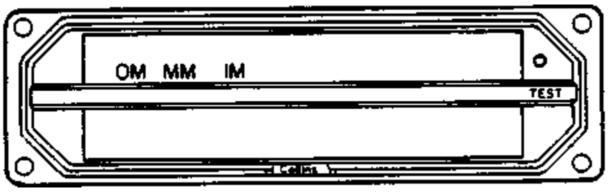


Figura 19-34 Luzes do MB (Painel anunciador de modos MAP-65)

Operação e teste de VOR / ILS

- Adicione o seletor NAV, no painel de áudio.
- Posicione o seletor de função em NAV, para energizar o sistema.
- Coloque em VOR as teclas seletoras VOR-ADF do RMI correspondente.
- Botão VOL na metade do seu curso.
- Sintonize a frequência desejada, observando os algarismos correspondentes, na medida em que eles aparecem na janela do mostrador.
- Identifique a estação sintonizada através do código Morse.
- Proceda o teste do sistema do seguinte modo:
  - Posicione manualmente a seta indicadora de rumo em 5º e coloque o seletor NAV/TEST em VOR.
  - A bandeira NAV deverá desaparecer.
  - A barra de desvio lateral deverá ficar aproximadamente centrada.
  - Os ponteiros do RMI e do EFD-74 deverão indicar aproximadamente 5º.

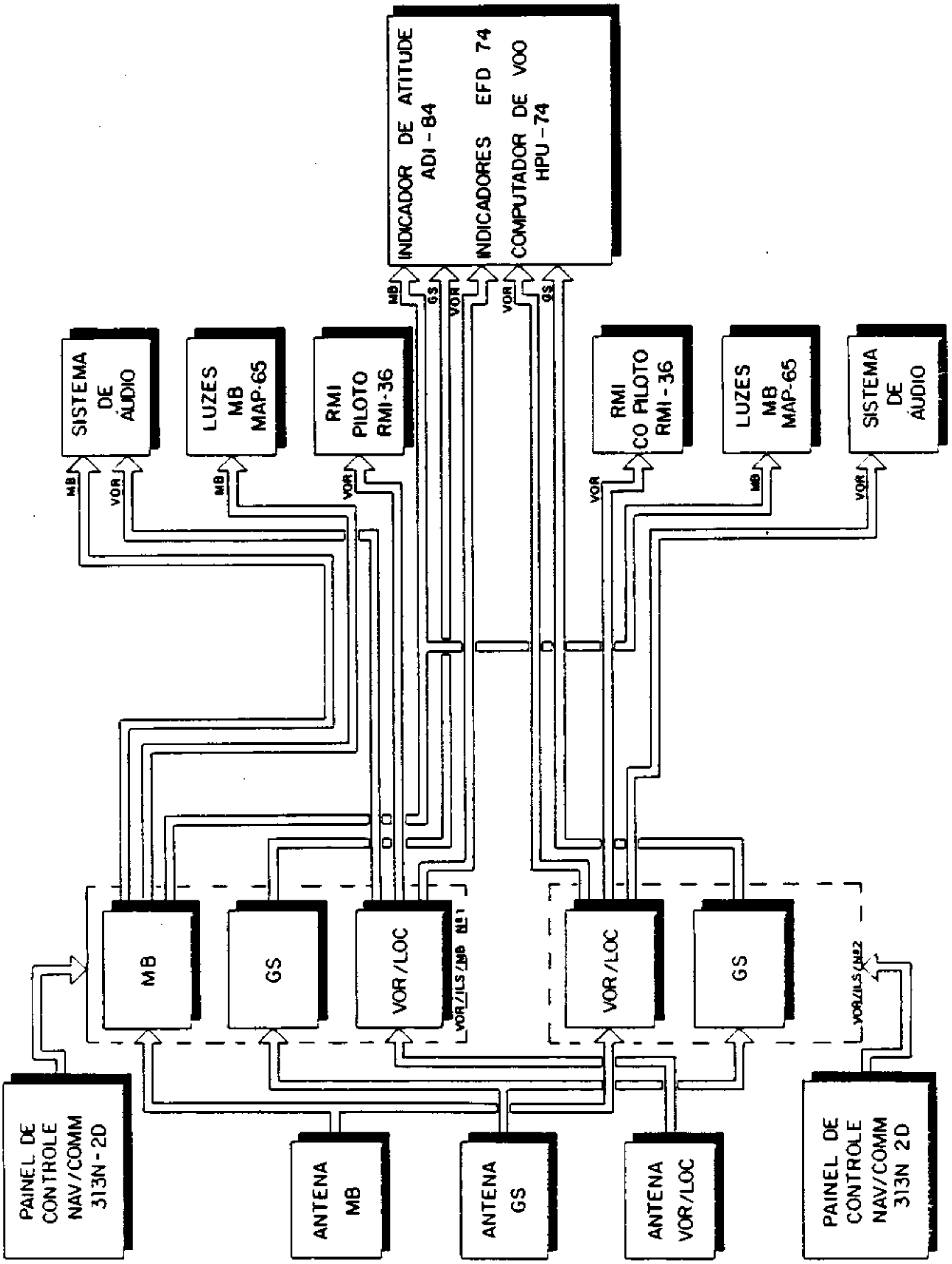

INDICADOR DE ATITUDE ADI-84
INDICADORES EFD 74
COMPUTADOR DE VOO HPU-74
MB
GS
VOR
VOR
GS
SISTEMA DE ÁUDIO
LUZES MB MAP-65
RMI PILOTO RMI-36
RMI CO PILOTO RMI-36
LUZES MB MAP-65
SISTEMA DE ÁUDIO
MB
VOR
MB
VOR
VOR
MB
VOR
MB
GS
VOR/LOC
VOR/ILS/MB Nº1
VOR/LOC
GS
VOR/ILS/Nº2
PAINEL DE CONTROLE NAV/COMM 313N-2D
ANTENA MB
ANTENA GS
ANTENA VOR/LOC
PAINEL DE CONTROLE NAV/COMM 313N 2D

Figura 19-35 Diagrama de bloco do sistema VOR/ILS/MB VIR-31A

- As luzes de Marker Beacon deverão ficar acesas e cintilando, no MAP-65.
- Um tom de 3.000 Hz deverá ser ouvido.
- Sintonize uma estação de Localizer e coloque o seletor NAV/TEST em VOR.
- A barra de desvio lateral deverá se deslocar para a direita e a bandeira NAV e GS deverão desaparecer.
- O ponteiro de Glideslope deverá se deslocar aproximadamente um ponto para baixo (Há 5 pontos no indicador).
- As luzes de Marker Beacon deverão piscar no MAM-65.
- Um tom de 3.000 Hz deverá ser ouvido. A bandeira NAV deverá aparecer 1 segundo após terminado cada um dos testes (VOR e LOC). Ao ser sintonizada qualquer estação de VOR ou LOC, a bandeira deverá desaparecer. A bandeira do Glideslope deverá aparecer 0,5 segundo após terminado o teste de Localizer. Ao ser sintonizada qualquer estação, a mesma deverá desaparecer.

Especificações do equipamento

Alimentação: 27 VCC 800ma / 26 VCA 400Hz 2,5 ma
Faixa de Frequência (VOR/LOC): 108 a 117.95 MHz com espaçamento de 50 kHz.
Controle de frequência: 2 em 5 – ARINC.
Canais: VOR – 160 e LOC – 40
Sensibilidade da bandeira –3.0 µV
Sensibilidade do VOR (desvio) – 150 mV para 10º.
Sensibilidade do LOC (desvio) – 90 mV.
Saída de áudio – 100mW, 600 Ohm
Faixa de frequência (GS) – 329.15 a 335.00 MHz com espaçamento de 150 kHz.
Canais - GS – 40.
Controle de frequência – 2 em 5 – ARINC.
Sensibilidade da bandeira – 5.0 µV.
Sensibilidade GS (desvio) – 78 mV.
Frequência – MB – 78 mV – 75MHz.
Sensibilidade – MB – Alta: 200 µV.
Baixa: 1500µV.
Capacidade de Carga – Duplo conjunto de 3 lâmpadas (6.3 V, bulbo 200 mA)
Saída de áudio – 100 mW, 600 Ohm.

Todas as indicações do sistema são apresentadas no sistema de instrumentos de vôo e RMI..

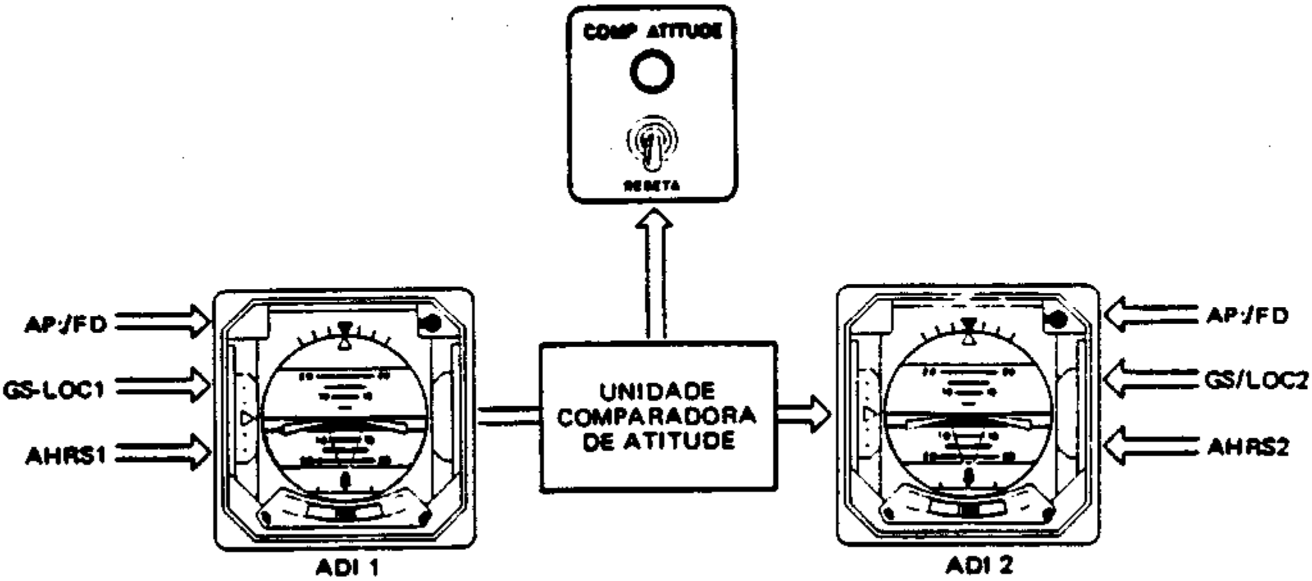


Figura 19-36 Indicadores de Atitude

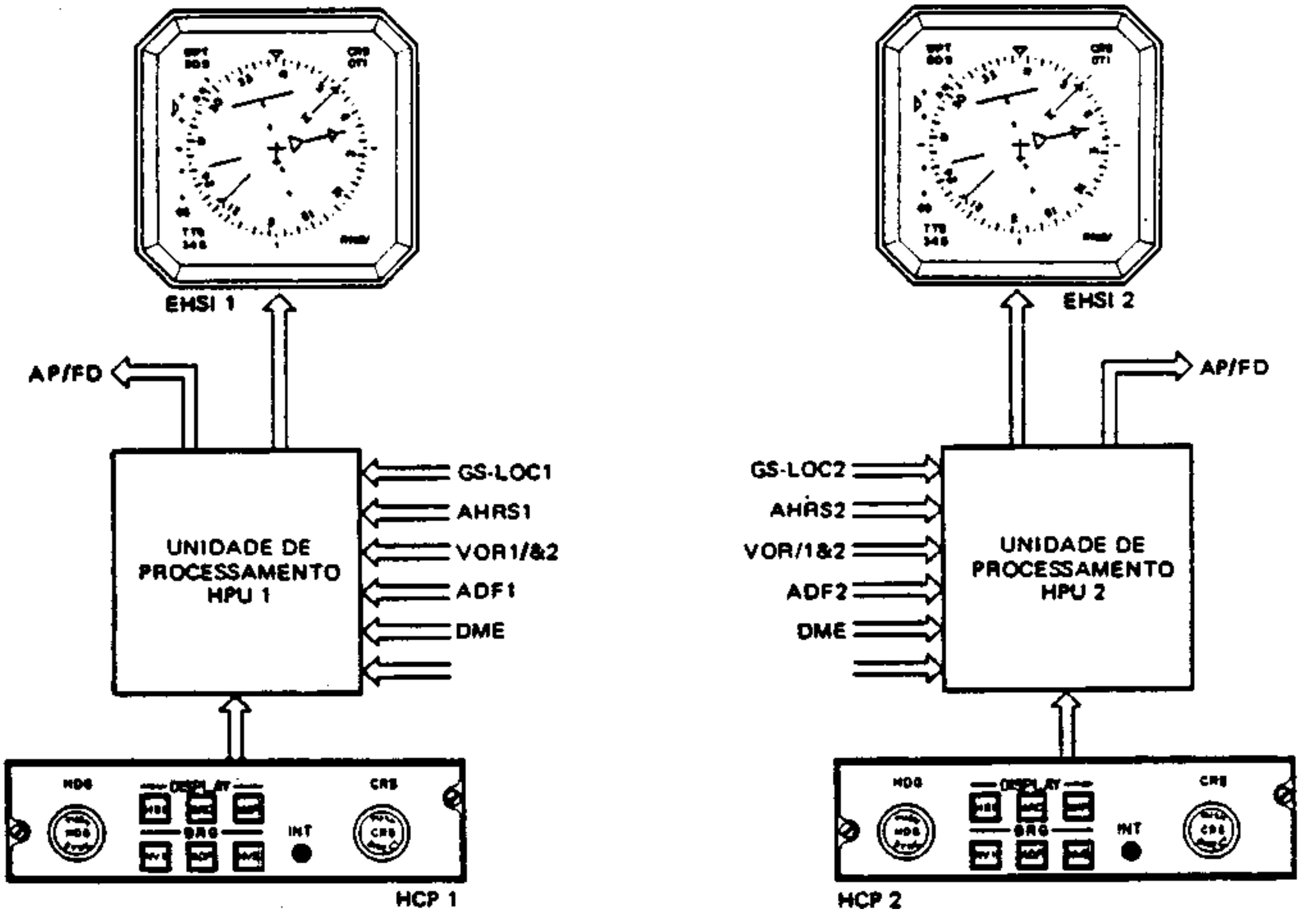

EHSI 1
EHSI 2
AP/FD
AP/FD
UNIDADE DE PROCESSAMENTO HPU 1
GS-LOC1
AHRS1
VOR1/&2
ADF1
DME
GS-LOC2
AHRS2
VOR/1&2
ADF2
DME
UNIDADE DE PROCESSAMENTO HPU 2
HDG
DISPLAY
BRG
INT
CRS
HCP 1
HDG
DISPLAY
BRG
INT
CRS
HCP 2

Figura 19-37 Unidades principais do sistema VOR/ILS/MB

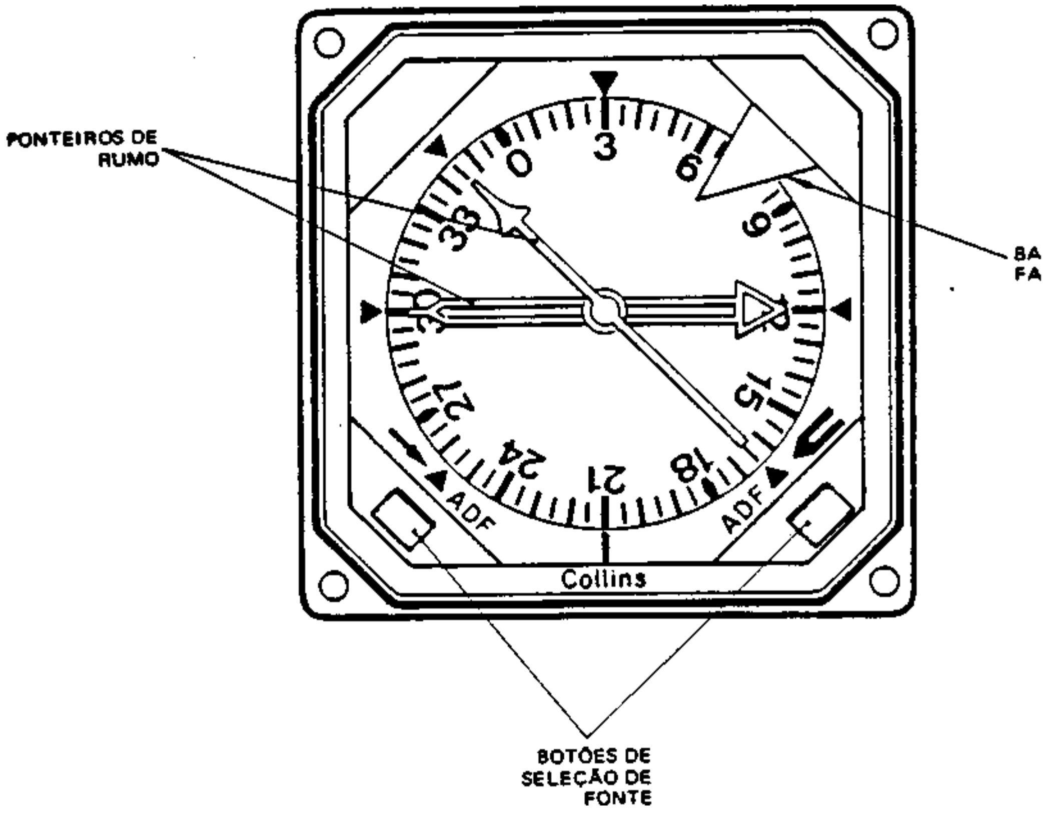

PONTEIROS DE RUMO
BANDEIRA DE FALHA DO RMI
0
3
6
9
12
15
18
21
24
27
30
33
ADF
ADF
Collins
BOTÕES DE SELEÇÃO DE FONTE

Figura 19-38 Indicador RMI

EQUIPAMENTO MEDIDOR DE DISTÂNCIA – DME

O princípio de fundamento do DME está baseado na transmissão de um sinal de RF para uma estação repetidora no solo. O tempo gasto pelo sinal, para atingir a repetidora e retornar, é proporcional à distância entre o transmissor e a repetidora. O sinal a ser transmitido sofre um processo de caracterização que o torna inconfundível entre todos os sinais transmitidos para a estação no solo.

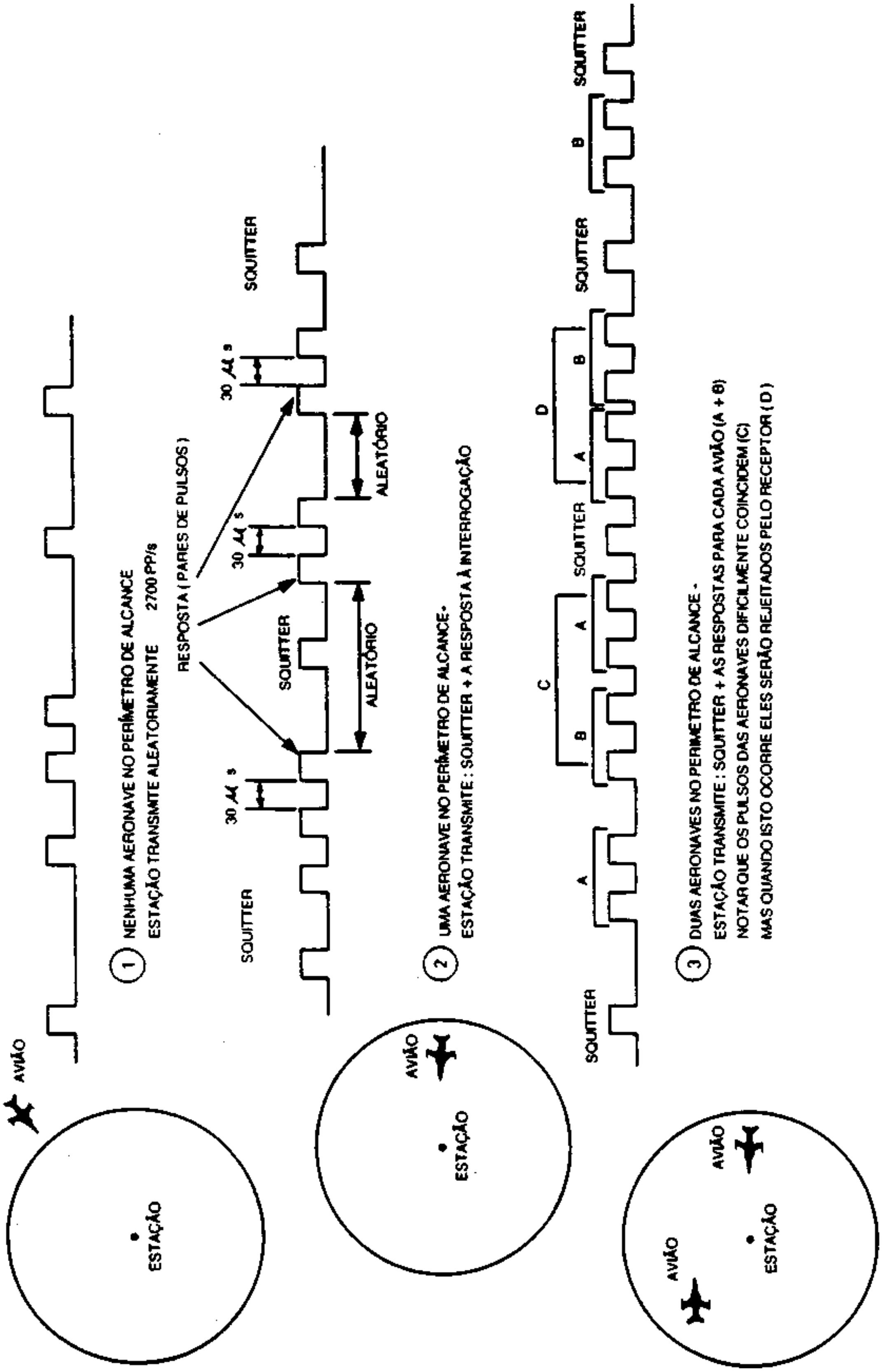

① NENHUMA AERONAVE NO PERÍMETRO DE ALCANCE
ESTAÇÃO TRANSMITE ALEATORIAMENTE 2700 PP/s
AVIÃO
ESTAÇÃO
② UMA AERONAVE NO PERÍMETRO DE ALCANCE-
ESTAÇÃO TRANSMITE : SQUITTER + A RESPOSTA À INTERROGAÇÃO
SQUITTER
30 μs
RESPOSTA (PARES DE PULSOS)
ALEATÓRIO
30 μs
SQUITTER
ALEATÓRIO
30 μs
SQUITTER
AVIÃO
ESTAÇÃO
③ DUAS AERONAVES NO PERÍMETRO DE ALCANCE -
ESTAÇÃO TRANSMITE : SQUITTER + AS RESPOSTAS PARA CADA AVIÃO (A + B)
NOTAR QUE OS PULSOS DAS AERONAVES DIFICILMENTE COINCIDEM (C)
MAS QUANDO ISTO OCORRE ELES SERÃO REJEITADOS PELO RECEPTOR (D)
SQUITTER
A
B
C
A
SQUITTER
A
D
B
SQUITTER
B
SQUITTER
AVIÃO
AVIÃO
ESTAÇÃO

Figura 19-39 Teoria de operação do sistema DME.

Este processo consiste em transmitir os sinais em intervalos irregulares por um método aleatório.

A figura 19-39 exemplifica três situações de funcionamento do sistema DME.

No primeiro exemplo, não há nenhuma aeronave no perímetro de alcance da estação do solo e o transceptor a bordo do avião não consegue receber uma quantidade mínima de pulsos, desta maneira não efetuando nenhuma transmissão.

No segundo exemplo existe uma aeronave no perímetro de alcance e seu receptor consegue captar a quantidade mínima de pulsos e passa a transmitir sinais de interrogação.

A estação do solo ao receber os sinais, acrescenta-os aos seus próprios sinais na transmissão deste modo permitindo estabelecer a distância.

O terceiro exemplo mostra como é possível trabalhar com diversas aeronaves dentro do perímetro de alcance da estação

Descrição

A operação do sistema DME é baseada na transmissão de pares de pulsos em intervalos específicos emitidos pela aeronave, que são recebidos e retransmitidos por uma estação de terra.

A retransmissão pela estação de terra consiste de pares de pulsos sendo que a frequência da retransmissão é diferente da recepção.

O tempo decorrido entre a ida e a volta desse sinal é medido pelo equipamento da aeronave e transformado em distância, em milhas náuticas, a partir da aeronave até a estação de terra.

O ciclo de operação do sistema inicia-se quando o transceptor de bordo transmite pares de pulsos na frequência de recepção da estação de terra em um dos 252 canais na gama de 1025 a 1159 MHz.

Após a recepção da interrogação, a estação de terra, decodifica o sinal recebido e responde a interrogação após um tempo de 50µs. Este tempo de 50µs é pré-estabelecido para eliminar a possibilidade de operação descoordenada quando a aeronave e a estação de terra estiverem muito próximas.

Após decorrido o tempo de 50µs a estação de terra transmite pares de pulsos de volta para a aeronave numa frequência desviada em 63 MHz do sinal de interrogação.

A gama de frequência do receptor de DME, cobre a faixa de 962 a 1213 MHz.. Da informação recebida o DME computa a distância segundo a fórmula apresentada a seguir:

$$D = \frac{T - 50\mu s}{12359}$$

Onde:

D = Distância em milhas náuticas entre a aeronave e a estação DME

T = Tempo em microssegundos entre a transmissão dos pares de pulsos e a recepção dos pares de pulsos de retorno.

50µs = Tempo que a estação DME de terra retarda entre a recepção da interrogação e a transmissão da resposta.

12359 = Tempo que a energia de RF demora para se propagar num espaço de 1 milha náutica (ida e volta).

Em adição às respostas das interrogações a estação DME de terra gera o “Squitter” e o código de identificação da estação para uso no sistema do equipamento da aeronave.

Quando operado nos canais “X” tanto o equipamento de bordo quanto a estação de terra, usam pares de pulsos transmitidos e recebidos em 12 µs.

Nos canais “Y” os pares de pulsos transmitidos pela aeronave são espaçados de 36 µs e a estação de terra retransmite estes mesmos pares em espaçamentos de 30µs.

Existem 200 canais (DME/VHF–NAV) na faixa de 108 a 117.90 MHz, e mais 52 canais entre as freqüências de 133.30 a 135.95 MHz que são usadas normalmente pelo sistema TACAN.

A frequência matriz (frequência do painel de controle VHF-NAV) é usada para determinar o canal DME.

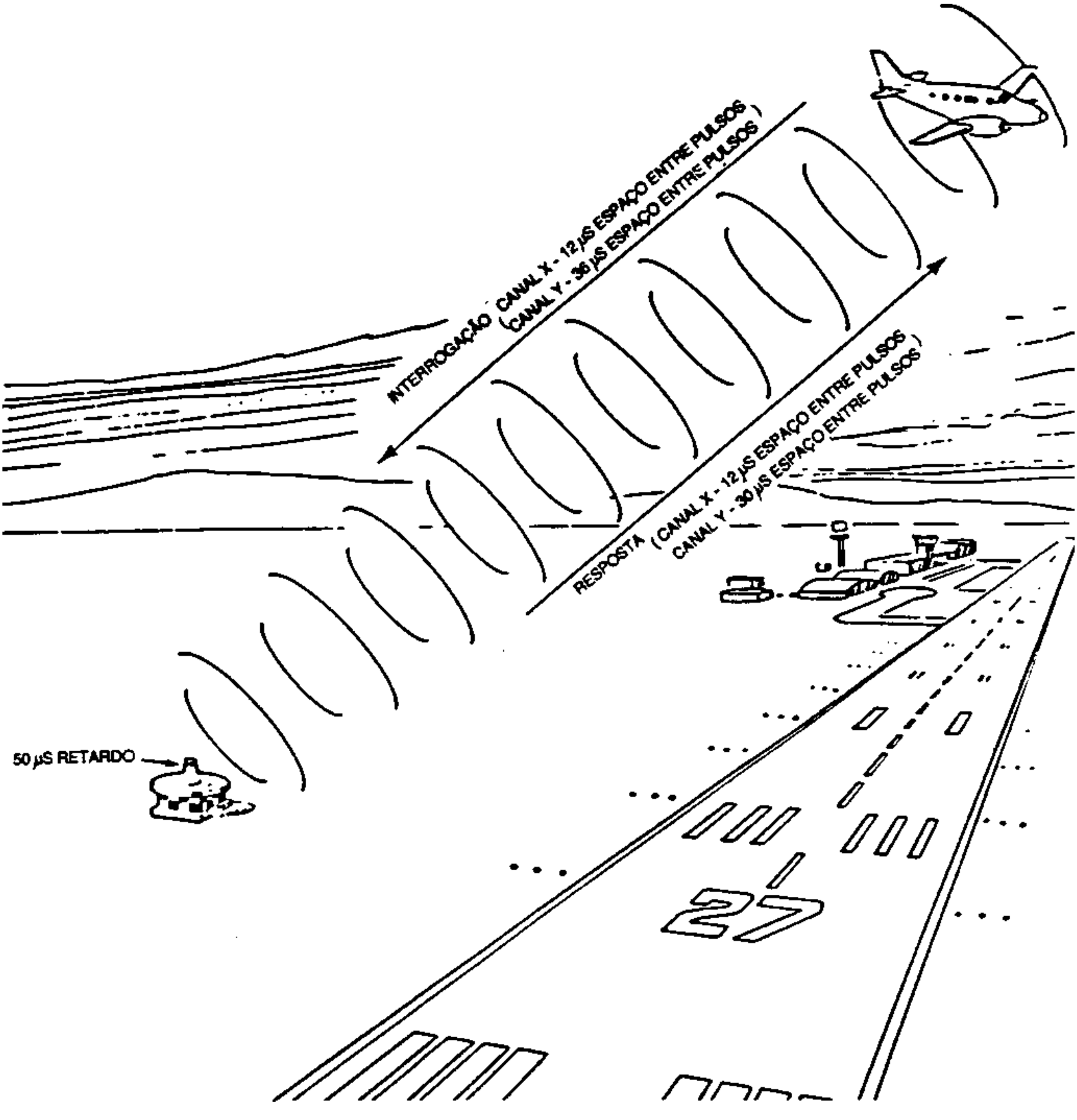

INTERROGAÇÃO (CANAL X - 12 µS ESPAÇO ENTRE PULSOS
CANAL Y - 36 µS ESPAÇO ENTRE PULSOS)
RESPOSTA (CANAL X - 12 µS ESPAÇO ENTRE PULSOS
CANAL Y - 30 µS ESPAÇO ENTRE PULSOS)
50 µS RETARDO
27

Figura 19-40 Operação do DME.

Descrição e localização dos componentes

– O sistema é composto por:

- Um transceptor Collins DME-42
- Um indicador Collins IND-41A, instalado no painel principal.
- Dois indicadores Collins EFD-74 instala- dos em cada um dos painéis de instrumentação de vôo.
- Uma antena Collins 2372-1, instalada sob a fuselagem.
- Um controle de volume instalado no painel principal.

A tabela a seguir mostra o inter-relacionamento entre as freqüências de VOR/ILS e DME.

TACAN CHANNEL NUMBER	DME G to A (MHz)	DME A to G (MHz)	VHF	TACAN CHANNEL NUMBER	DME G to A (MHz)	DME A to G (MHz)	VHF
1X	962	1025	134.40	13X	974	1037	135.60
1Y	1088	1025	134.45	13Y	1100	1037	135.65
2X	963	1026	134.50	14X	975	1038	135.70
2Y	1089	1026	134.55	14Y	1101	1038	135.75
3X	954	1027	134.60	15X	976	1039	135.80
3Y	1090	1027	134.65	15Y	1102	1039	135.85
4X	965	1028	134.70	16X	977	1040	135.90
4Y	1091	1028	134.75	16Y	1103	1040	135.95
5X	966	1029	134.80	*17X	978	1041	108.00
5Y	1092	1029	134.85	*17Y	1104	1041	108.05
6X	967	1030	134.90	**18X	979	1042	108.10
6Y	1093	1030	134.95	*18Y	1105	1042	108.15
7X	968	1031	135.00	*19X	980	1043	108.20
7Y	1094	1031	135.05	*19Y	1106	1043	108.25
8X	969	1032	135.10	**20X	981	1044	108.30
8Y	1095	1032	135.15	*20Y	1107	1044	108.35
9X	970	1033	135.20	*21X	982	1045	108.40
9Y	1096	1033	135.25	*21Y	1108	1045	108.45
10X	971	1034	135.30	**22X	983	1046	108.50
10Y	1097	1034	135.35	*22Y	1109	1046	108.55
11X	972	1035	135.40	*23X	984	1047	108.60
11Y	1098	1035	135.45	*23Y	1110	1047	108.65
12X	973	1036	135.50	**24X	985	1048	108.70
12Y	1099	1036	135.55	*24Y	1111	1048	108.75

* TVOR channels
** ILS channels

Figura 19-41 Tabela de inter-relacionamento de freqüências.

Transceptor

O transceptor DME possui uma potência de saída de 300W operando na faixa de frequência de 960 a 1215 MHz, perfazendo um total de 252 canais DME.

O transceptor fornece uma saída, no formato ARINC 568 para indicação no sistema de RFIS.

Indicador IND-41A

A unidade indicadora IND-41A é do tipo leitura digital e indica a distância entre o avião e a estação de terra em milhas náuticas, a velocidade verdadeira de aproximação em nós ou o tempo para atingir a estação (TTG), em minutos, dependendo da seleção das teclas no indicador. O indicador possui na sua parte frontal os seguintes controles e indicação:

- Interruptor TEST – Permite o teste inicial do receptor-transmissor DME-42 para calibração adequada da distância. Está localizado no lado esquerdo do painel do indicador.
- Botão DIM – Permite variar a intensidade luminosa do mostrador.
- Teclas seletoras NM-MIN-KTS-TIMER – Selecionam a informação que aparece no mostrador. Quando a tecla NM é pressionada, aparecem no mostrador as informações da distância para a estação (distância oblíqua), em milhas náuticas.

A informação é mostrada em cada EFD-74, na forma de três dígitos, situados no canto superior esquerdo, abaixo das letras DME.

A faixa de operação é de 0 a 300 milhas náuticas (556 km).

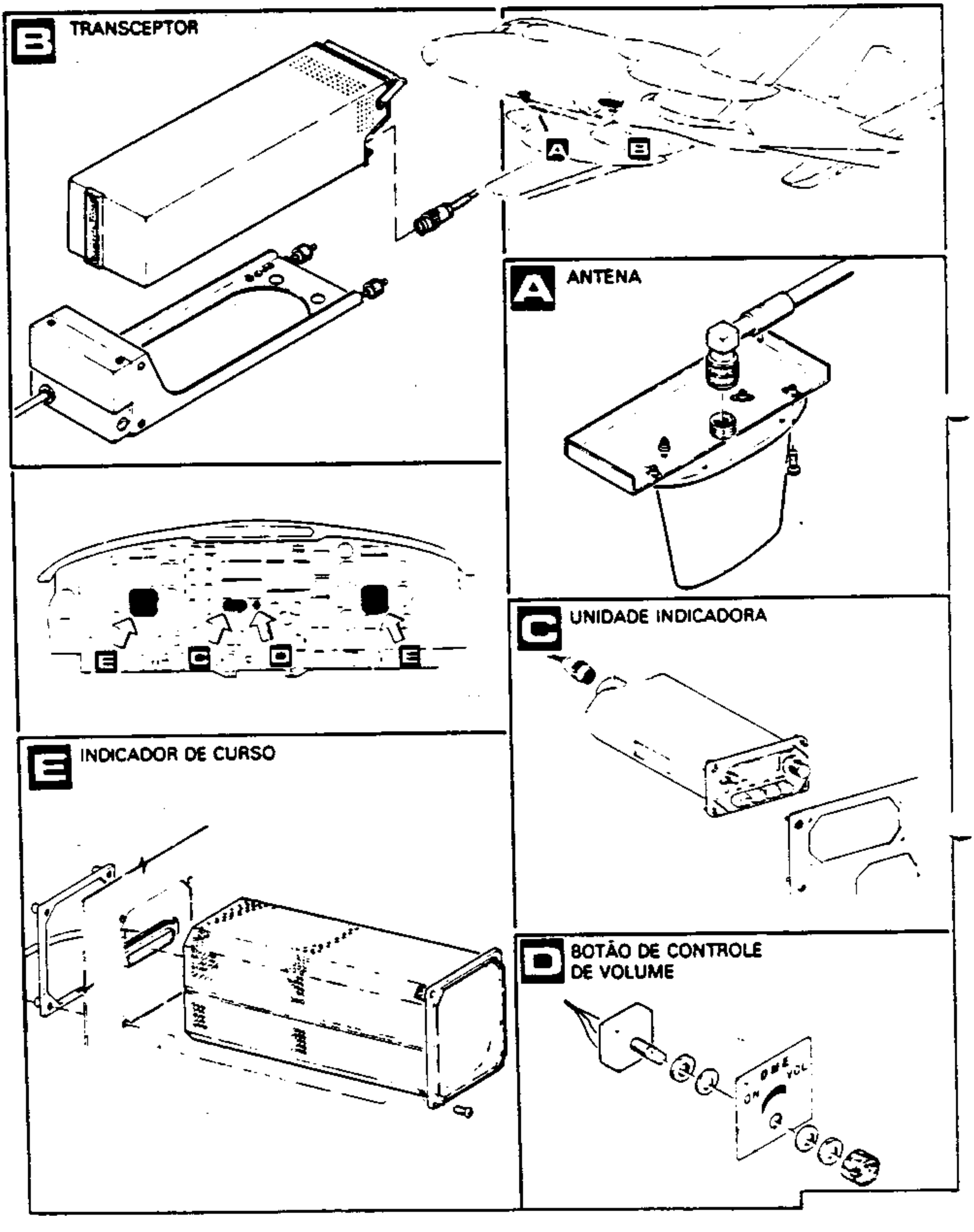

B
TRANSCEPTOR
A
B
A
ANTENA
E
C
D
E
C
UNIDADE INDICADORA
E
INDICADOR DE CURSO
D
BOTÃO DE CONTROLE DE VOLUME
ON
DME
VOL

Figura 19-42 Localização dos componentes do sistema DME-42.

Quando a tecla MIN é pressionada, aparece no mostrador a informação do tempo para atingir a estação em minutos. A informação é mostrada em cada EFD-74, na forma de três dígitos, situados no canto inferior esquerdo, abaixo das letras TTG. A faixa de operação é de 0 a 120 minutos.

Quando a tecla KTS é pressionada, aparece no mostrador a informação da velocidade verdadeira de aproximação em nós.

A informação é mostrada em cada EFD-74, na forma de três dígitos, situados no canto inferior esquerdo, abaixo das letras SPD. A faixa de operação é de 0 a 999 nós.

Quando a tecla TIMER é pressionada, aparece no mostrador do IND-41A a informação do tempo decorrido em minutos e segundos.

A indicação de que a função TIMER selecionada são DOIS PONTOS que aparecem no mostrador.

Cada vez que a tecla TIMER for pressionada, um dos três modos de operação seguintes é selecionado:

- Modo zero – O indicador é fixado em 00:00.
- Modo movimento – Inicia a contagem até 59-59. Se a tecla TIMER não for pressionada novamente, a contagem prossegue incrementando os dígitos dos segundos.
- Modo parada – A contagem é interrompida e o valor aparece fixo no mostrador. A seleção das teclas NM, MIN ou KTS não altera o modo estabelecido para a tecla TIMER.

Botão seletor de modo (NAV1-HOLD-NAV2)-

Permite selecionar as informações enviadas pelos painéis de controle NAV 313-2D, assim como a função HOLD.

As informações enviadas pelo painel NAV 1, selecionadas através da posição "1", aparecem nos dois mostradores EFD-74 na cor verde e, para a posição "2", informações do painel NAV 2, na cor âmbar.

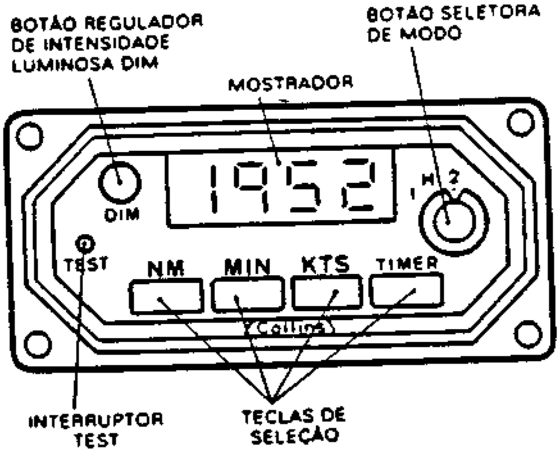


Figura 19-43 Unidade Indicadora IND 41A.

Antena

É do tipo banda "L", conectada diretamente ao transceptor, através de um cabo coaxial. A antena está instalada na parte inferior da fuselagem e é intercambiável com a antena do Transponder.

Controle de Volume

O sinal de áudio, identificando a estação de DME, é controlado pelo botão de controle de volume localizado no painel principal do lado direito da unidade indicadora IND-41A.

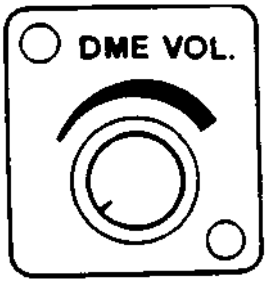


Figura 19-44 Botão de controle do volume dos sinais de DME.

Indicador COLLINS EFD-74

Os indicadores Collins EFD-74 estão localizados em cada um dos painéis móveis dos pilotos e cada um deles recebe as mesmas informações enviadas à unidade indicadora IND-41A, exceto a função TIMER.

Operação do sistema

O sinal de DME pode ser distinguido pela tonalidade diferente. O mesmo é modulado por 1350 Hz, enquanto que os sinais de VOR são modulados por 1020 Hz.

Quando um canal de DME é sintonizado, o sistema envia pares de pulsos codificados, na frequência da estação de terra, que os recebe e os envia de volta ao sistema de bordo. Baseado no tempo transcorrido entre a transmissão e o retorno dos pulsos, o sistema fornece a distância entre o avião e a estação de terra.

Imediatamente após o sistema ter sintonizado uma estação de DME, há um período de busca de, aproximadamente, 1 segundo, durante o qual o indicador digital e o indicador EFD-74 apresentam traços em suas telas, até que seja encontrada a distância correta.

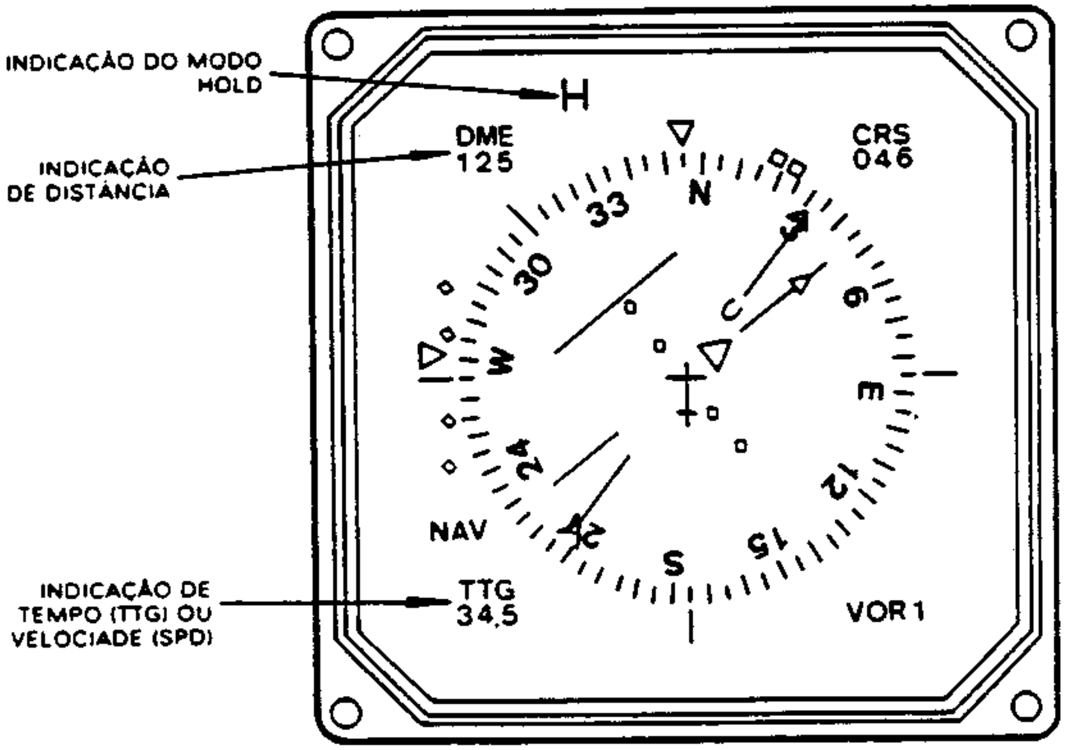


Figura 19-45 Indicador Collins EFD-74.

Assim que isso acontecer, os traços desaparecerão e uma indicação contínua de distância será obtida.

O DME entra, então, no modo de operação chamado "Rastreio". Os traços aparecerão, também, durante o tempo de aquecimento do sistema, que é de aproximadamente 60 segundos.

A função "Hold" do DME é selecionada pelo botão seletor de modo, localizado no painel IND-41A, na posição "H". Esta função é mostrada nos indicadores EFD-74, através da letra "H", no lado esquerdo dos mostradores.

A função "Hold" permite operar o sistema na estação previamente sintonizada e operar de modo independente do sistema VOR (ou ILS).

Teste do Sistema

- Ligar ao avião uma fonte externa de energia de 28 VCC.
- Posicionar o interruptor "Seletor Bateria" do painel superior, em "Fonte externa". Observar se o indicador magnético se alinha com as marcas do painel.
- Posicionar o interruptor "Conversor 1" no painel superior, na posição "Liga". Observar se o indicador magnético se alinha com as marcas do painel.
- Pressionar o interruptor "Test" na unidade indicadora e observar:
  - A programação interna deste acende a luz "NM" (Nautical Mile).
  - "O.O" deverá aparecer na tela do EFD-74 e "AOK" é ouvido em código Morse nos fones.
  - "O.O" deverá aparecer na tela do EFD-74 quando apenas a tecla "NM" for selecionada.
  - Soltando o interruptor "TEST", a legenda e o ponto decimal previamente selecionado iluminar-se-ão no IND-41A e os números "8888" deverão aparecer por um período de 8 a 12 segundos.
  - Traços aparecerão no indicador até que o DME-42 receba um sinal válido de uma estação de terra.
  - Posicionar o interruptor "Conversor 1" no painel superior, em "DESL. Observar se o indicador magnético desalinha.
  - Posicionar o interruptor "Seletor Bateria", no painel superior, em "DESL". Observar se o indicador magnético desalinha.
  - Retirar do avião a fonte externa de energia elétrica de 28 VCC.

SISTEMA TRANSPONDER

O sistema Transponder responde as interrogações válidas do sistema radar ATC com um sinal resposta codificado.

O Transponder transmite na frequência de 1090 MHz e recebe na frequência de 1030 MHz.

O radar primário é usado para localizar e determinar o curso das aeronaves na área de controle.

O radar secundário, sincronizado com o primário, é utilizado para identificar as aeronaves equipadas com Transponder, pela transmissão de sinais de interrogação e de respostas codificadas.

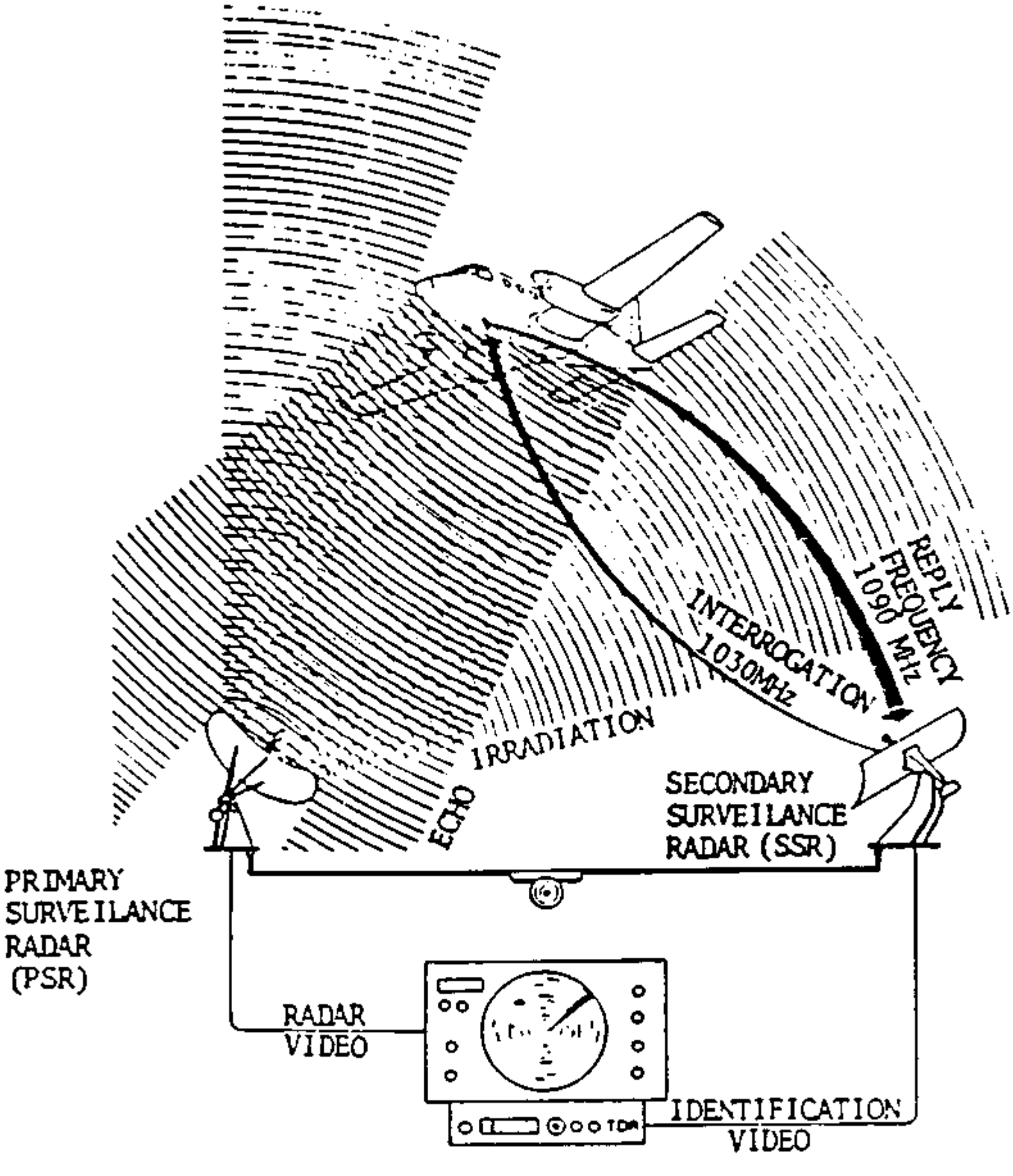

REPLY FREQUENCY 1090 MHz
INTERROGATION 1030MHz
IRRADIATION
ECHO
SECONDARY SURVEILANCE RADAR (SSR)
PRIMARY SURVEILANCE RADAR (PSR)
RADAR VIDEO
IDENTIFICATION VIDEO
TDR

Figura 19-46 Esquema de operação do Transponder

O TDR-90 é interrogado através de um método de três pulsos.

O espaço de tempo entre o primeiro e o terceiro pulso determina o modo de operação.

Existem quatro modos de operação, denominados A, B, C e D. No modo "A", o sistema transmite somente sua identificação. O modo "B", em alguns paises, ocasionalmente substitui o modo "A". O modo "C" é usado quando a aeronave possui altímetro codificador. Neste caso, a resposta do Transponder inclui a informação de altitude da aeronave. O modo "D", atualmente não está em uso.

O sinal de interrogação recebido é analisado pelo TDR-90 para determinar sua validade e o modo de operação. Para este sinal ser válido, ele deve ser do lóbulo principal do SSR e ser do modo "A" ou do modo "C". Quando um sinal de interrogação é válido, o sinal resposta é transmitido.

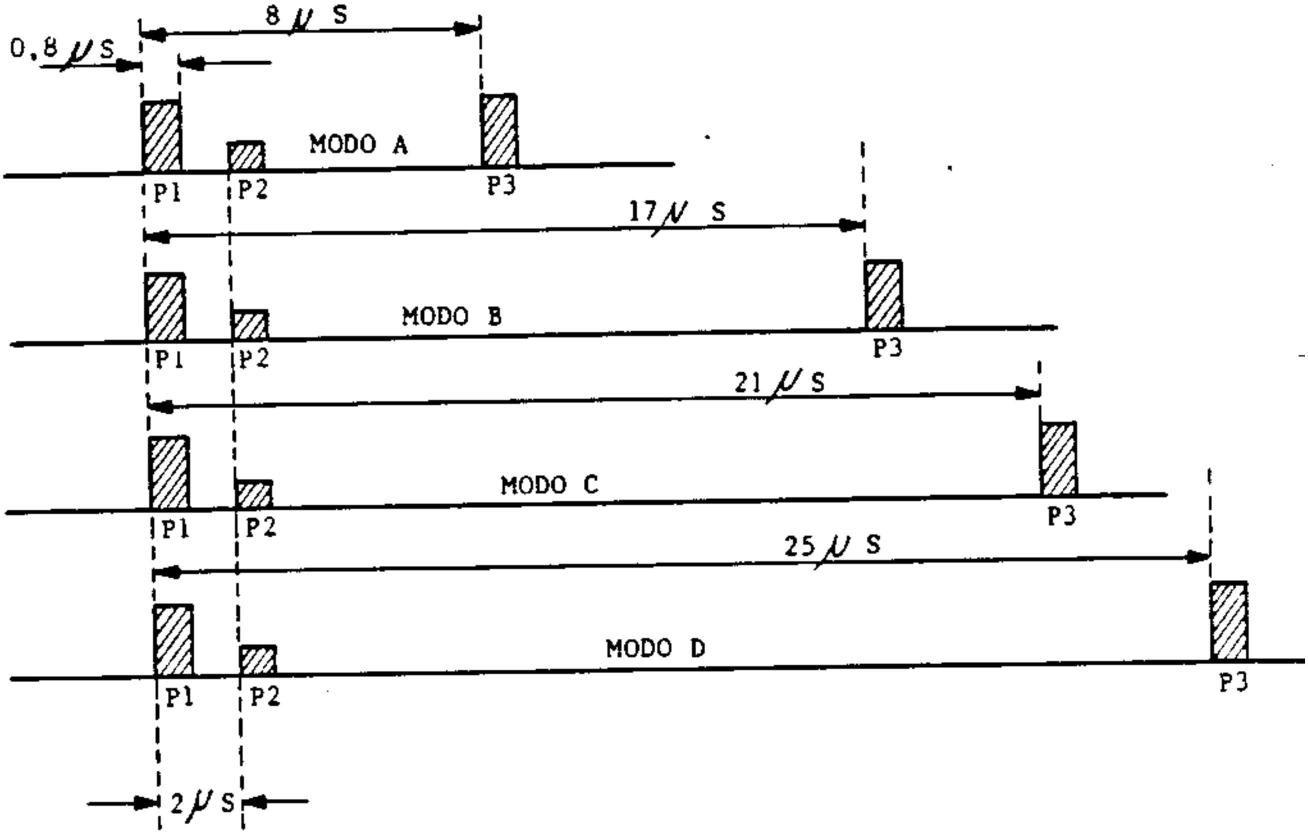

8 μS
0,8 μS
MODO A
P1
P2
P3
17 μS
MODO B
P1
P2
P3
21 μS
MODO C
P1
P2
P3
25 μS
MODO D
P1
P2
P3
2 μS

Figura 19-47 Pulsos de interrogação do sistema Transponder

O sinal resposta codificado é composto de um trem de pulsos.

O TDR-90 é capaz de produzir de 2 a 16 pulsos de resposta codificada. O número de pulsos gerados num sinal resposta é determinado pelo código selecionado na caixa de controle 613L-3 ou gerado pelo altímetro codificador.

Um pulso de identificação é também transmitido 4,35 microssegundos após o último pulso de enquadramento.

O pulso de identificação está presente somente quando o interruptor "IDENT" da caixa de controle 613L-3 for liberado e por aproximadamente 20 segundos após sua liberação.

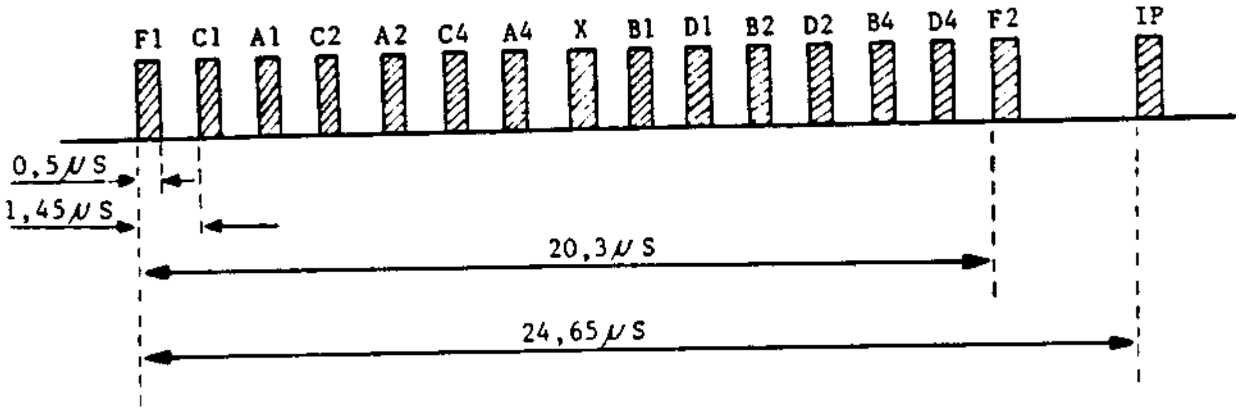

F1
C1
A1
C2
A2
C4
A4
X
B1
D1
B2
D2
B4
D4
F2
IP
0,5 μS
1,45 μS
20,3 μS
24,65 μS

Figura 19-48 Posição dos pulsos do sinal resposta

Descrição e localização dos componentes

O sistema é composto por:

- Um painel de controle instalado, no painel principal.
- Um transceptor instalado sob o piso.
- Uma antena, instalada na parte superior da fuselagem.

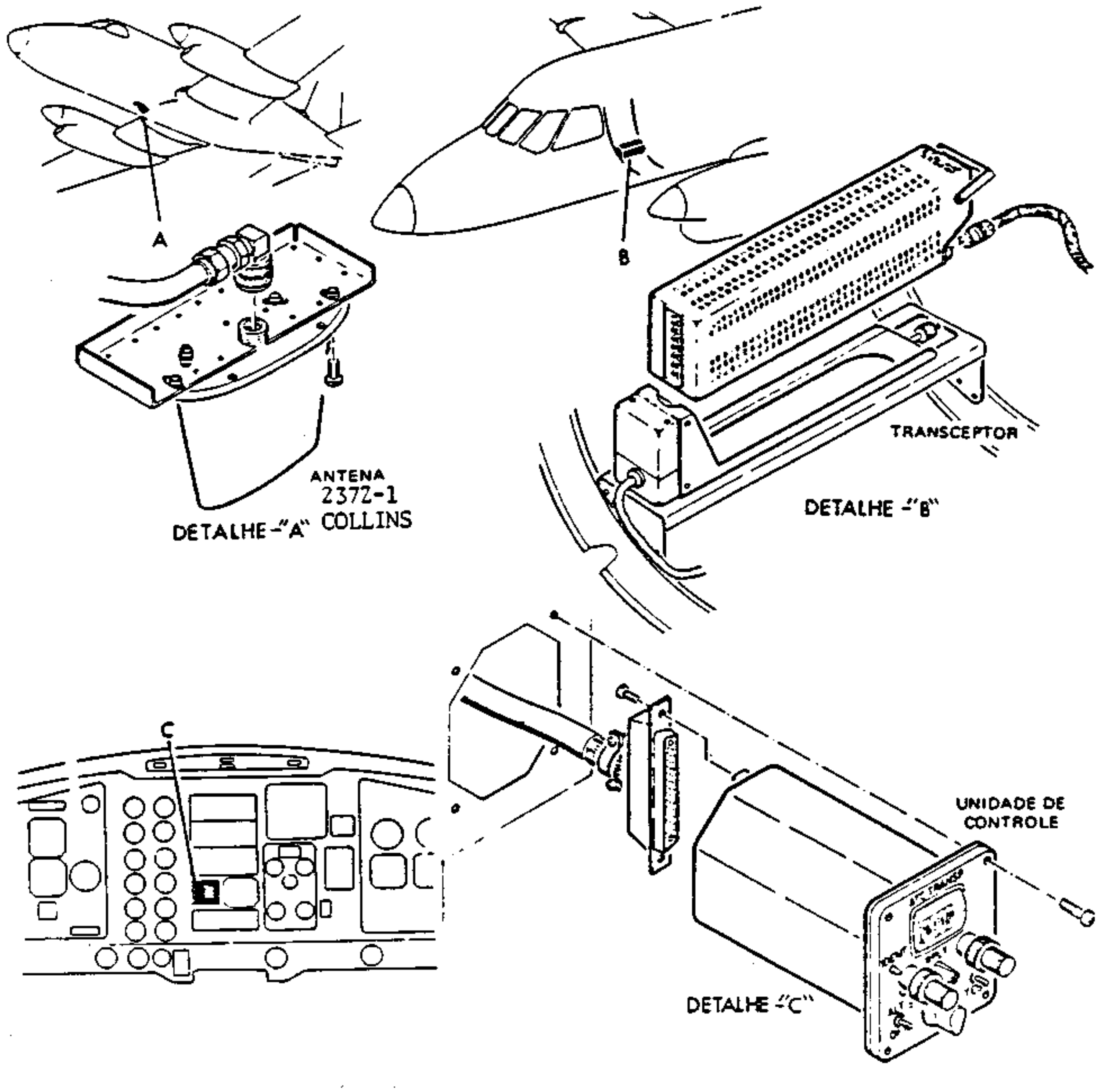

A
B
ANTENA
2372-1
COLLINS
DETALHE-"A"
TRANSCEPTOR
DETALHE-"B"
C
UNIDADE DE
CONTROLE
DETALHE-"C"

Figura 19-49 Componentes do sistema Transponder.

Painel de controle

O painel de controle, instalado na parte inferior do painel rádio, possui na sua parte frontal os seguintes controles e indicações:

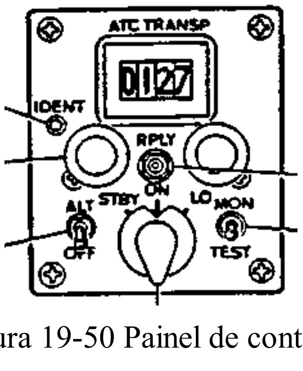

ATC TRANSP
0127
IDENT
RPLY
STBY
ON
LO
MON
ALT
OFF
TEST

Figura 19-50 Painel de controle

Chave seletora de função – É uma chave rotativa de três posições: STBY, ON e LO.

Quando o interruptor "Seletor Bateria", no painel superior, é posicionado para "BAT" ou "FONTE EXTERNA", a alimentação é automaticamente aplicada ao Transponder. A chave seletora de função deve permanecer na posição "STBY" durante 5 minutos para aquecimento do equipamento.

Quando a chave seletora de função é posicionada para "ON", o sistema passa a operar normalmente.

Na posição "LO", a intensidade do sinal transmitido pelo Transponder diminui. Este tipo de operação é usado quando a intensidade do sinal de vídeo na tela do radar é muito forte.

Durante o Vôo a chave seletora de função só deverá ser colocada nas posições "STBY" e "LO", quando os pilotos recebem instruções neste sentido pela estação de terra. Em caso contrário, deverá permanecer sempre na posição "ON".

Chaves Seletoras de Código - São usadas para selecionar o código de operação. As duas chaves concêntricas da esquerda selecionam os algarismos dos milhares e das centenas. As duas chaves concêntricas da direita selecionam os algarismos das dezenas e das unidades.

Janela Indicadora de Código - Apresenta o código selecionado através de seus quatro dígitos.

Controle ALT / OFF – É um interruptor de duas posições. Na posição ALT o Transponder inclui informação de altitude da aeronave, quando interrogado no modo"C".

Quando a aeronave não possuir altímetro codificador o interruptor deverá permanecer na posição "OFF" (desligado). Neste caso, o Transponder responderá somente as interrogações do modo "A".

Lâmpada RPLY – A lâmpada RPLY opera normalmente, com a chave MON/TEST na posição "MON". Cada vez que o TDR-90 transmite uma resposta, a lâmpada RPLY acende e permanece acesa por 1 segundo.

Chave MON / TEST – A posição TEST desta chave possibilita a operação do TDR-90, e fornece uma indicação confiável das condições de operação do sistema.

Quando a chave MON / TEST é colocada na posição TEST, uma interrogação simulada, do módulo "A", é gerado no TDR-90. O teste pode ser feito para o modo"C", desde que a chave ALT / OFF esteja na posição "ALT". A resposta gerada no TDR-90 e, se o mesmo estiver operando normalmente, a lâmpada RPLY acende.

Controle IDENT – Quando o controle IDENT é pressionado, um pulso adicional é incluído nos pulsos de resposta. O controle IDENT, normalmente, só é acionado quando solicitado pela estação de terra.

Operação do sistema

Quando a aeronave atinge a área de controle de determinada estação de terra, o piloto é instruído para selecionar no equipamento o código informado pela respectiva estação.

A mudança de código é feita através de controles próprios existentes na unidade de controle.

O sistema Transponder TDR-90 opera nos modos "A" e "C" e é alimentado pela barra de emergência de 28 VCC..

O sistema Transponder transmite um sinal codificado, em resposta aos sinais de interrogação do radar de terra. A estação de terra usa o sinal de resposta, para localizar e identificar a aeronave equipada com o sistema Transponder.

O sistema de radar de terra inicialmente detecta a presença da aeronave, como um radar comum. Em seguida envia um sinal de interrogação que é captado pela antena do Transponder. O próprio sinal de interrogação dispara o transmissor do TDR-90 que por sua vez emite um sinal de resposta.

RÁDIO ALTÍMETRO

Introdução

O sistema de rádio altímetro fornece indicações acuradas e confiáveis, da altura do avião com relação ao solo, durante as fases críticas de aproximação. O sistema proporciona continuamente sinais de saída para o sistema de piloto automático e ao diretor de vôo.

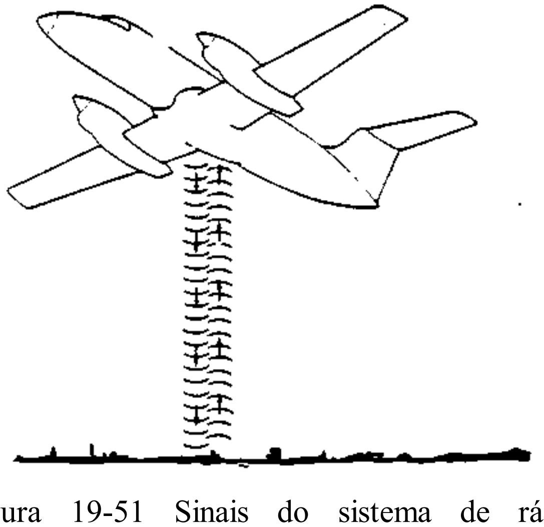


Figura 19-51 Sinais do sistema de rádio altímetro

Descrição e localização dos componentes

O sistema Collins ALT-50 é composto por:

- Um transceptor Collins, instalado sob o piso.
- Um indicador, instalado no painel principal.
- Duas antenas, uma para transmissão e outra para recepção, localizadas na parte inferior da fuselagem.

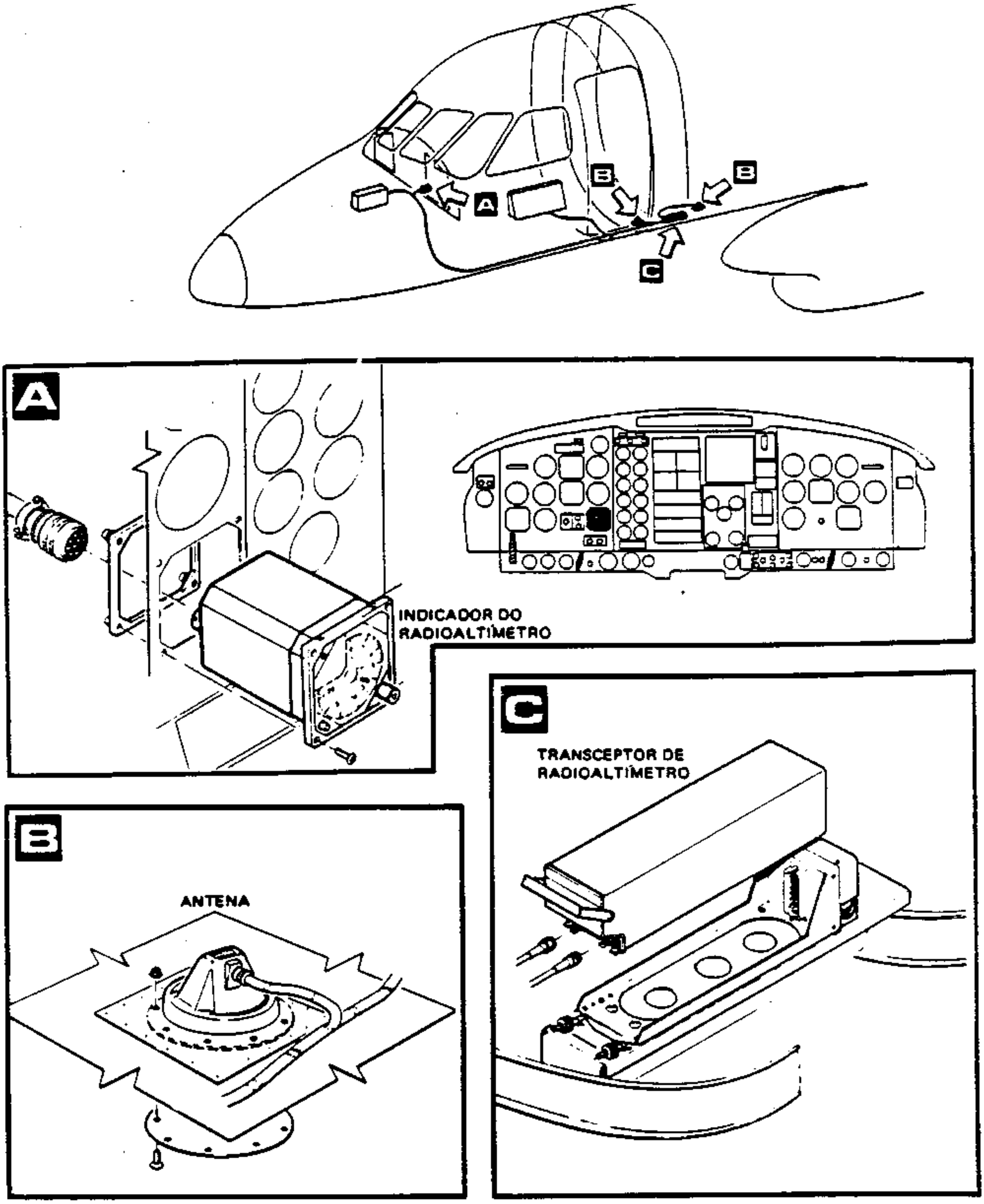

A
B
B
C
A
INDICADOR DO RADIOALTÍMETRO
B
ANTENA
C
TRANSCEPTOR DE RADIOALTÍMETRO

Figura 19-52 Localização dos componentes do sistema de rádio altímetro.

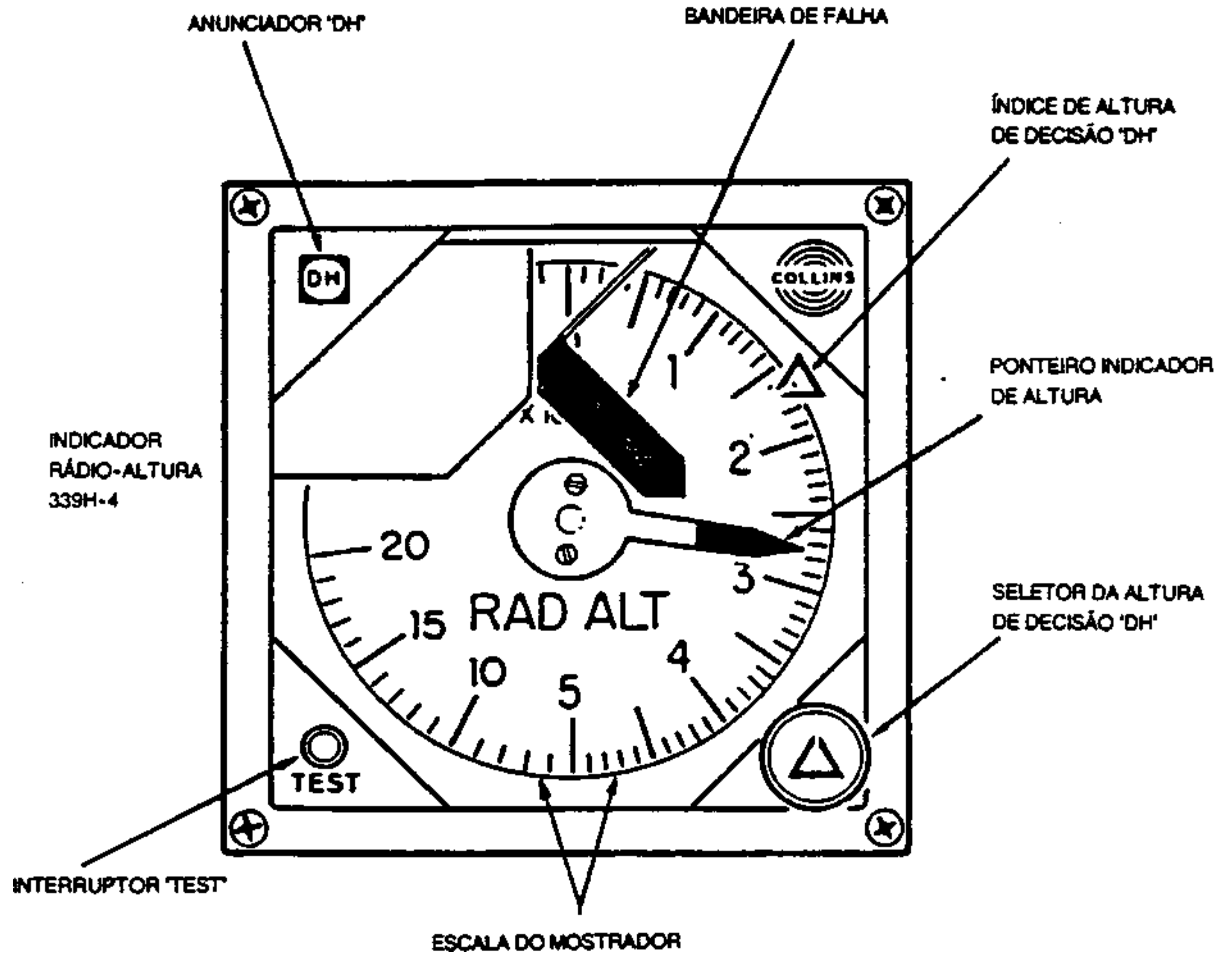

ANUNCIADOR 'DH'
BANDEIRA DE FALHA
ÍNDICE DE ALTURA DE DECISÃO 'DH'
PONTEIRO INDICADOR DE ALTURA
INDICADOR RÁDIO-ALTURA 339H-4
SELETOR DA ALTURA DE DECISÃO 'DH'
INTERRUPTOR 'TEST'
ESCALA DO MOSTRADOR
DH
COLLINS
RAD ALT
TEST
1
2
3
4
5
10
15
20

Figura 19-53 Indicador do sistema rádio altímetro

Transceptor – O transceptor de rádio altímetro, recebe e processa sinais de ondas curtas moduladas em freqüência, para produzir um sinal de modulação em freqüência, cuja razão é proporcional a altitude do avião, em relação ao solo.

O transceptor proporciona continuamente saída para o piloto automático e diretor de vôo.

Indicador – O indicador de rádio altímetro, fornece a indicação em pés da altitude do avião em relação ao solo, dentro da faixa de 0 a 2.000 pés. O indicador possui em seu canto inferior direito, um seletor de altura de decisão (DH). Este seletor permite ao piloto a seleção manual de uma altura mínima que, ao ser atingida, acionará um sistema de aviso. Este sistema pode ser usado durante os vôos de patrulha para alertar o piloto quando for atingido um limite inferior que não deve ser ultrapassado, ou durante uma aproximação de precisão, de acordo com a altura de decisão do procedimento de descida.

O ajuste da altura de decisão é feito posicionando-se, através do seletor, o índice triangular "DH" sobre o valor desejado no mostrador do instrumento; durante a descida da aeronave, ao ser atingido o valor em questão, o piloto tem uma indicação visual através da luz "DH" localizada na extremidade superior esquerda do instrumento.

Um botão de teste localizado na extremidade inferior esquerda do instrumento possibilita, quando pressionado, o teste funcional do sistema. Uma bandeira de alarme, quando visível sobre o dial do instrumento indica o mau funcionamento do sistema ou perda de alimentação elétrica.

Operação

O sistema de rádio altímetro Collins ALT-50 provê ao piloto indicações precisas da altitude do avião em relação ao solo na faixa de 0 a 2.000 pés, durante as fases de aproximação.

O transceptor que é alimentado por 28 VCC, produz um sinal de saída de frequência variável entre 4250 MHz e 4350 MHz, que é enviado ao solo através da antena de transmissão.

O tempo transcorrido entre a transmissão e a recepção do sinal, é convertido, no transceptor, em uma tensão CC proporcional a altitude do avião em relação ao solo. Esta tensão CC é enviada ao indicador que, por sua vez, a converte em uma indicação visual de altura, em pés.

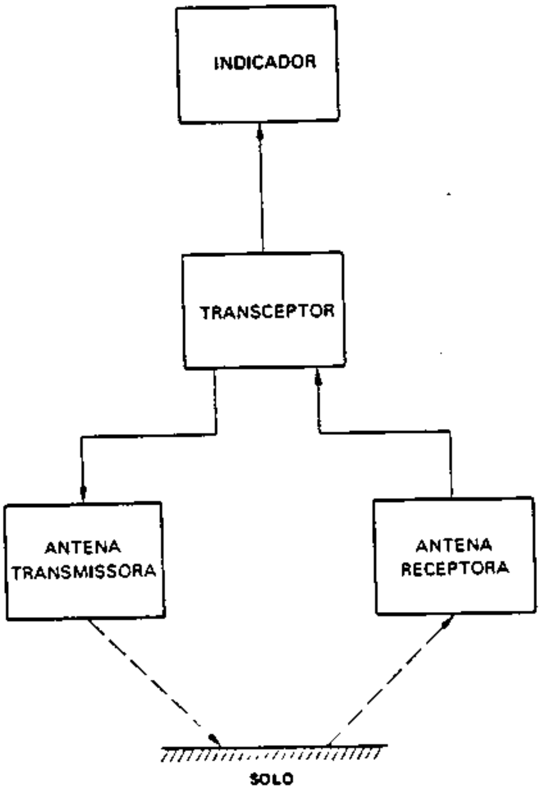


Figura 19-54 Diagrama bloco do sistema rádio altímetro.

RADAR METEOROLÓGICO

Introdução

O sistema de radar meteorológico é projetado para detectar e mostrar as condições meteorológicas na rota do avião.

Energia de radiofreqüência ou ondas de rádio eletromagnéticas são comumente chamadas de energia de radar. Ao atingirem uma superfície refletora essas ondas (ou energia) produzem um eco, ou seja, parte da energia é refletida.

A energia de radar é transmitida em pulsos de curta duração.

O intervalo entre os pulsos é destinado à recepção do eco. Essa energia percorre o espaço em linha reta e a uma velocidade aproximada de 186.000 milhas por segundo (300.000 Km / seg); durante um microssegundo um pulso percorre 984 pés.

De posse desses dados a distância, de um objeto ou de um avião, pode ser determinada com precisão.

Na terminologia do radar uma milha náutica de radar – 12,34 microssegundos- é o tempo que um pulso gasta para percorrer uma milha até o objeto e retornar.

O sistema radar meteorológico Bendix RDS-82 tem como propósito detectar e apresentar em quatro cores, de rápida interpretação as condições meteorológicas.

O sistema pode ser usado como auxílio à navegação no modo mapeamento de solo ou mesmo como radar meteorológico.

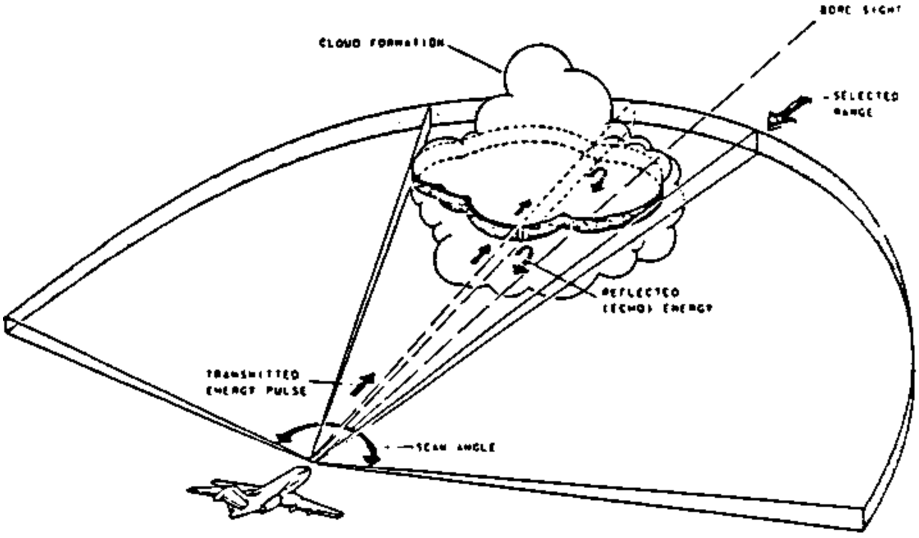


Figura 19-55 Apresentação de uma precipitação pelo radar meteorológico.

Descrição e localização dos componentes

O sistema RDS-82 é constituído por:

- Um sensor de radar Bendix RS-181A, instalado sob o radome.
- Uma unidade indicadora Bendix IN-182A, instalada no painel principal.

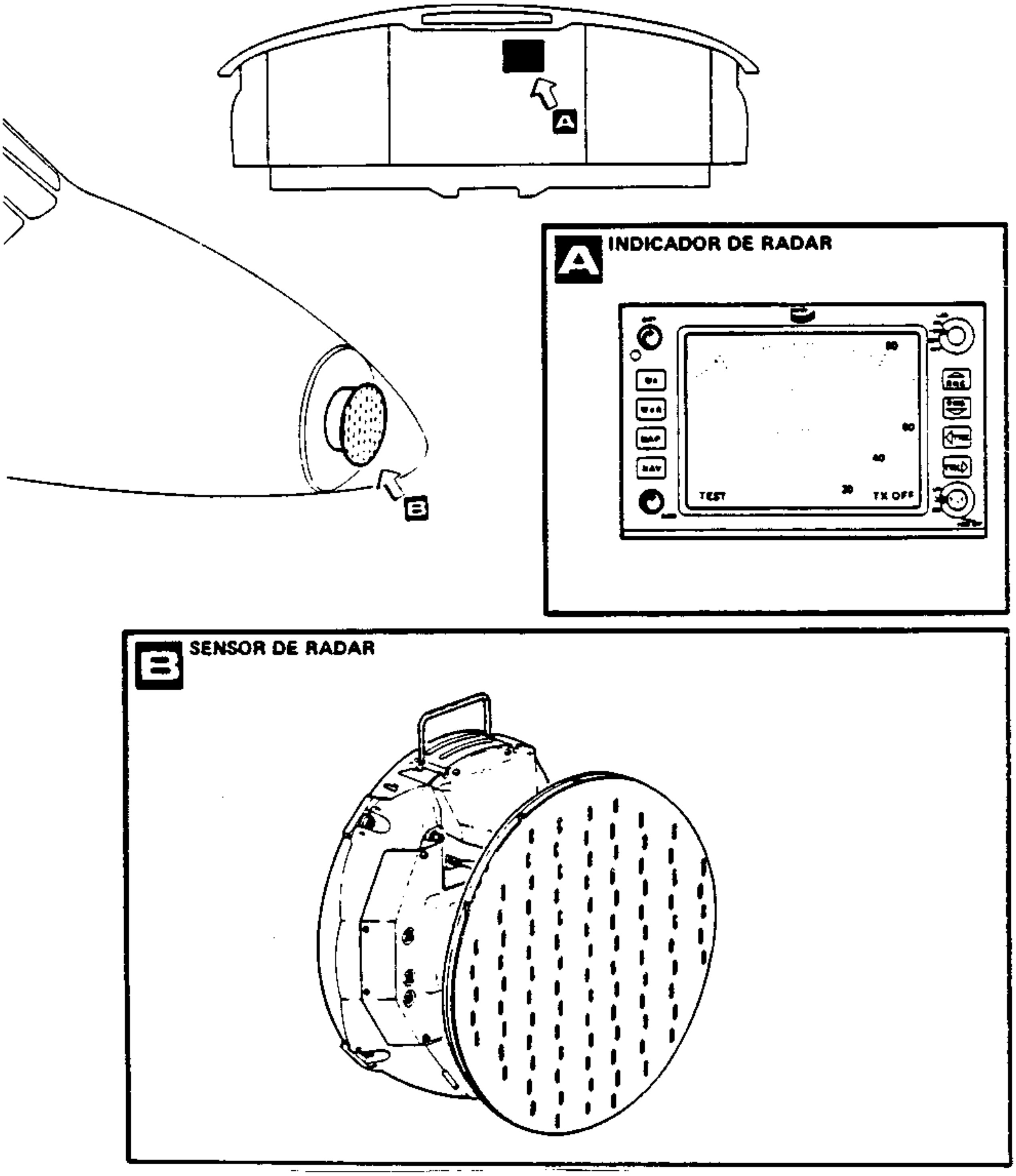


Figura 19-56 Localização dos componentes do sistema de radar RDS-82

Sensor de Radar RS-181A

O sensor de radar RS-181A, compõe-se de um receptor de radar, um transmissor de radar e uma antena, formando uma única unidade.

O transmissor de radar emite pulsos de RF na frequência de 9345 ± 25 MHz (banda X), com uma potência de pico de saída de 1 KW.

A frequência de repetição do pulso depende do alcance selecionado. Pulsos refletidos pelos alvos são recebidos pelo sensor de radar, através da antena, para serem mostrados na tela do indicador.

A antena dirigida é fixada em um conjunto de microonda do sensor de radar e os dois se movem juntos na varredura do radar.

A antena possui um ângulo de inclinação de 15º acima e abaixo do eixo horizontal, comandável através do botão de controle de TILT no painel do indicador.

O indicador de atitude do piloto envia ao sistema informações de rolamento e arfagem da aeronave. Essas informações são processadas e usadas para estabilizar a antena. O máximo ângulo possível de correção é de ±25º.

Unidade indicadora IN-182A

O indicador de radar abriga internamente os dispositivos eletrônicos de controle e sua face dianteira incorpora todos os controles, indicadores e a tela de imagens.

O painel indicador inclui os controles necessários para alimentação do sistema, seleção de alcance e do TILT da antena, controle do ganho do receptor (no modo de mapeamento do solo), funções de varredura e teste. As marcas de alcance geradas internamente aparecem como círculos concêntricos espaçados regularmente na tela, para auxiliar na determinação do alcance dos alvos.

O indicador mostra as condições meteorológicas em quatro cores: verde, amarelo, vermelho e magenta e os alvos no modo de mapeamento de solo em três cores: verde amarelo e vermelho.

O indicador de radar possui os seguintes controles:

- **Chave de funções** – É uma chave rotatória com cinco posições, cada uma com as funções a seguir.
  - OFF – Desliga o sistema.
  - STBY – Coloca o sistema na condição de STANDBY, durante o período de aquecimento e quando o sistema não está em uso. A palavra STBY é mostrada no canto inferior esquerdo da tela.
  - TST – Seleciona a função de teste para verificar a operacionalidade do sistema. Nesta condição não há transmissão.
  - ON – Seleciona a condição para operação normal. Na posição “ON”, o radar está transmitindo. O modo de operação “Wx” e o alcance de 80 milhas são automaticamente selecionados quando na posição “ON”.
  - LOG – Esta função é inoperante, quando não há equipamento “NAV” conectado ao sistema. Quando esta função é selecionada a palavra “NO LOG” aparecerá na tela.

- **Botão “Wx”** – Quando pressionado seleciona o modo de mapeamento meteorológico. “Wx” é mostrado no canto inferior esquerdo da tela.

- **Botão “WxA”** – Quando pressionado seleciona o modo de alerta meteorológico. A área na cor magenta cintila e “WxA” é mostrado no canto inferior esquerdo da tela.

- **Botão “MAP”** – Quando pressionado, seleciona o modo de mapeamento de solo. ”MAP” é mostrado no canto inferior esquerdo da tela.

- **Botão “NAV”** – É inoperante quando um equipamento opcional “NAV” não é conectado ao sistema radar. As palavras “NO NAV” serão mostradas no canto inferior esquerdo da tela.

- **Botões de rastreamento – TRACK”** – Quando um dos dois botões é mantido pressionado, uma linha amarela do cursor de rastreamento aparece e se movimenta para a esquerda ou para a direita(passos de um grau), de acordo com o botão selecionado. Ao se liberar o botão, o cursor de rastreamento pára e permanece cerca de 10 a 15 segundos, desaparecendo em seguida, a não ser que o botão seja pressionado novamente. A proa diferencial será indicada em algarismos amarelos no canto superior esquerdo do vídeo e desaparecer

- **Botão de aumento de alcance-RANGE –** Apaga a imagem e avança o indicador até o alcance imediatamente superior, cada vez que o botão for pressionado até o máximo de 240 milhas. O alcance selecionado é mostrado no canto superior direito da tela, na última marca de alcance. A distância para cada um dos demais círculos de marca de alcance é apresentada ao longo da margem direita dos círculos (arcos).

- **Botão de decréscimo de alcance-RANGE** – Apaga a imagem e avança o indicador até o alcance imediatamente inferior, cada vez que o botão for pressionado, até que seja obtido o alcance mínimo.

- **Botão de controle de "TILT"** – Quando este botão é puxado, desestabiliza a antena e as palavras "STAB OFF" piscarão no canto superior esquerdo da tela. Quando o botão é empurrado a estabilização da antena é rearmazenada. Quando o botão é girado, ajusta eletricamente a antena para mover o feixe de radar até um máximo de 15º para cima ou para baixo do eixo horizontal. A posição horizontal é indicada como zero grau, no controle. O ângulo de "TILT" selecionado é mostrado no canto direito da tela. Se o sistema está em uma instalação não estabilizada, as palavras "NO STB" aparecerão no canto superior esquerdo da tela.

- **Controle de ganho – "GAIN"** – Varia o ganho do receptor do radar, quando no modo "MAP". As posições "GAIN" e "STC" são pré-ajustadas na função "TST" e nos modos "Wx" e "WxA".

- **Controle de brilho – "BRT"** – Controla o brilho da tela de acordo com as diversas condições da iluminação da cabine.

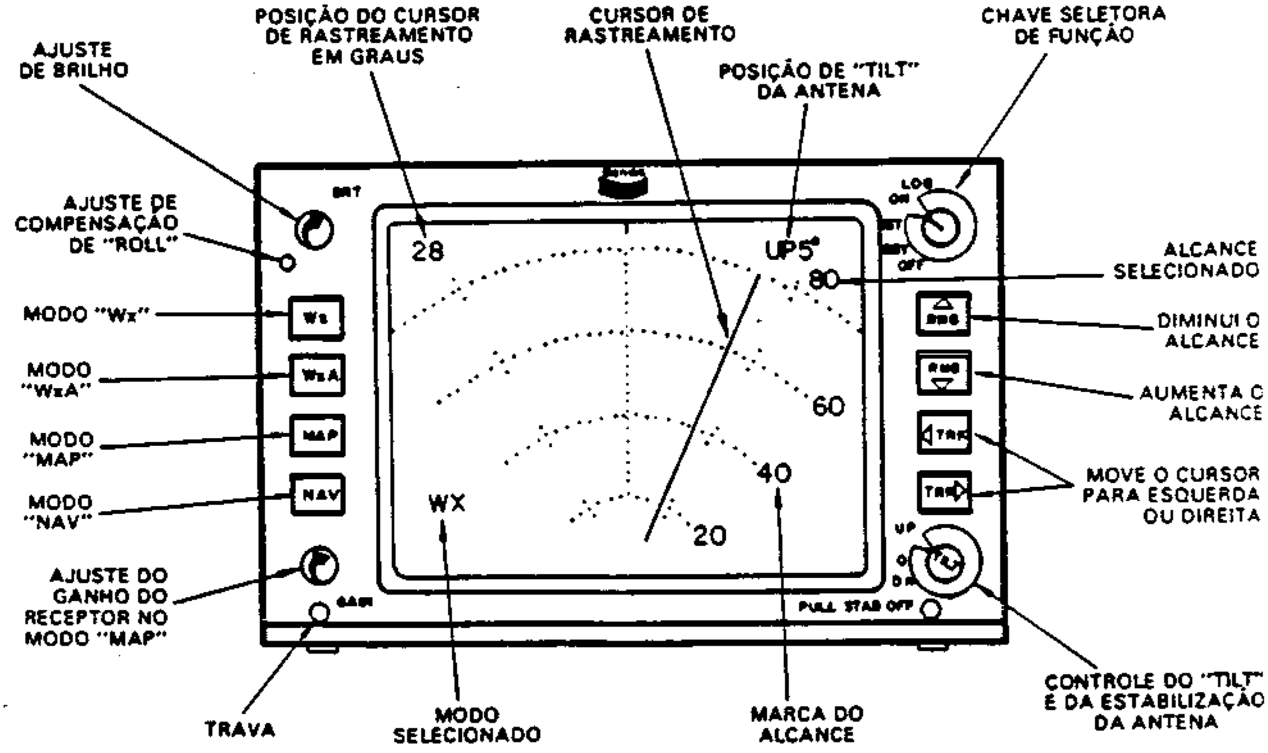

AJUSTE DE BRILHO
POSIÇÃO DO CURSOR DE RASTREAMENTO EM GRAUS
CURSOR DE RASTREAMENTO
POSIÇÃO DE "TILT" DA ANTENA
CHAVE SELETORA DE FUNÇÃO
AJUSTE DE COMPENSAÇÃO DE "ROLL"
BRT
28
UP5°
80
60
40
20
WX
LOG
ON
TST
OFF
ALCANCE SELECIONADO
MODO "Wx"
Wx
DIMINUI O ALCANCE
MODO "WxA"
WxA
AUMENTA O ALCANCE
MODO "MAP"
MAP
MODO "NAV"
NAV
TRK
MOVE O CURSOR PARA ESQUERDA OU DIREITA
UP
DN
AJUSTE DO GANHO DO RECEPTOR NO MODO "MAP"
GAIN
PULL STAB OFF
TRAVA
MODO SELECIONADO
MARCA DO ALCANCE
CONTROLE DO "TILT" E DA ESTABILIZAÇÃO DA ANTENA

Figura 19-57 Indicador de radar IN-182^A

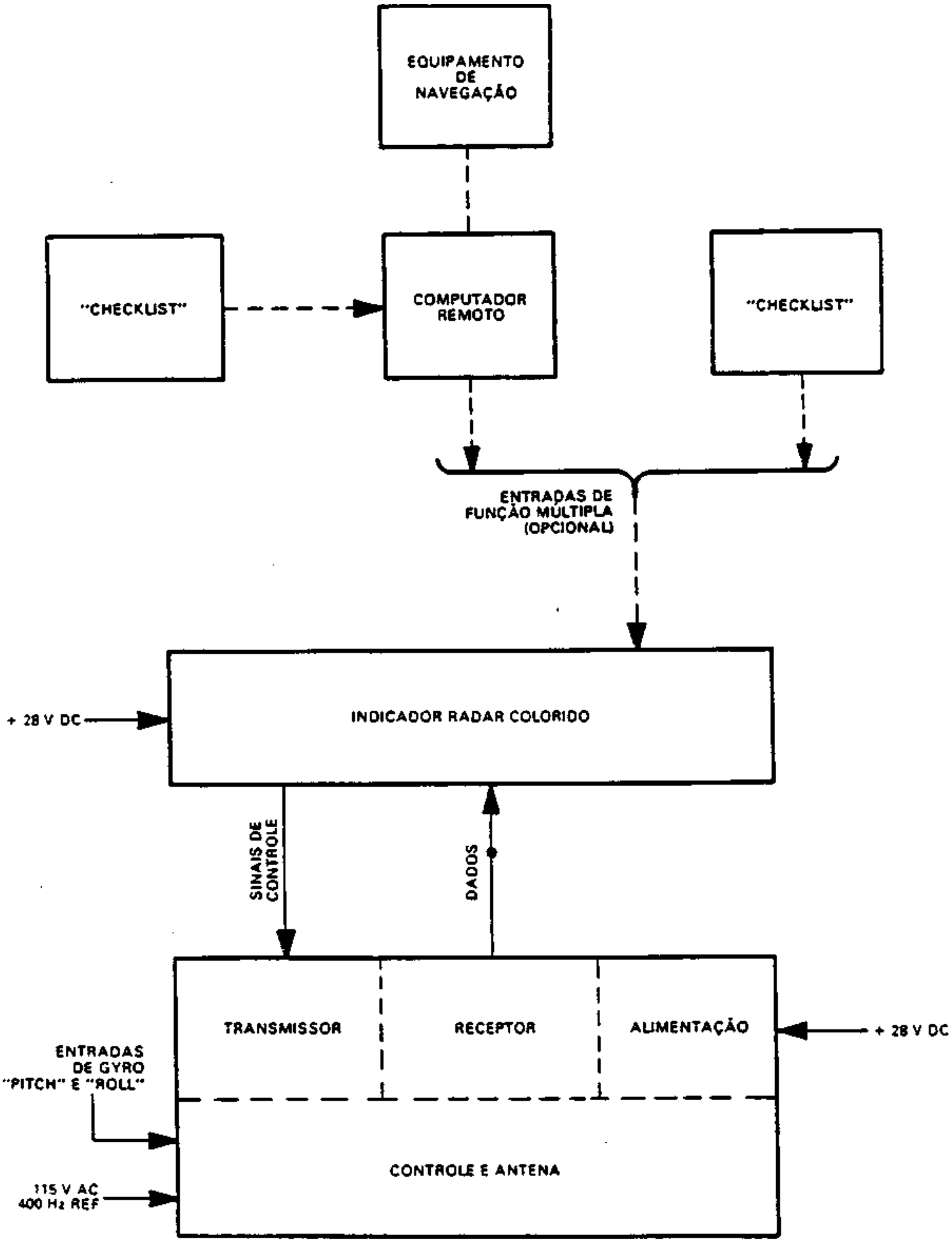
Operação

O sistema é alimentado eletricamente pela barra de 28 VCC e pela barra de 115 VCA 400 HZ.

O transceptor do sensor de radar transmite pulsos de radiofreqüência através da antena. Esses pulsos são refletidos por obstáculos dentro do alcance do sistema, são captados pela antena e introduzidos no transceptor.

Após serem amplificados os pulsos são apresentados na tela do indicador de radar dando indicação da existência de obstáculos. O indicador de radar fornece indicação meteorológica em quatro cores e indicação de alvos no solo em três cores, dentro da área varrida pelo radar.

O indicador de radar pode ser expandido, com equipamentos adicionais, para um indicador de multifunção, fornecendo informações de navegação (NAV) e de radionavegação (RNAV), informações de relatório de vôo e páginas de informações de "check-list". A tela do indicador de radar é do tipo "PPI" (Indicador de Posição Plana), apresentando os alvos detectados numa representação plana, como se vistos de cima. Através de uma análise de imagem mostrada na tela, o piloto toma conhecimento da existência de tempestade ou de outro alvo, obtém a distância entre o avião e o alvo, bem como a direção desta em relação ao eixo longitudinal do avião.



EQUIPAMENTO DE NAVEGAÇÃO
"CHECKLIST"
COMPUTADOR REMOTO
"CHECKLIST"
ENTRADAS DE FUNÇÃO MÚLTIPLA (OPCIONAL)
+ 28 V DC
INDICADOR RADAR COLORIDO
SINAIS DE CONTROLE
DADOS
TRANSMISSOR
RECEPTOR
ALIMENTAÇÃO
+ 28 V DC
ENTRADAS DE GYRO "PITCH" E "ROLL"
CONTROLE E ANTENA
115 V AC 400 Hz REF

Figura 19-58 Configuração do sistema de radar meteorológico

Verificação Operacional e Teste do Sistema do Radar

Durante a operação do radar no solo, deverão ser tomadas as seguintes precauções de segurança:

- Apontar o nariz do avião para uma direção que não atinja grandes massas metálicas, tais como hangares, caminhões, outros aviões etc que estejam num raio de 100 metros, a fim de evitar o retorno de fortes quantidades de energia refletidas ao sistema.
- Não operar o radar durante qualquer operação de reabastecimento num raio de 100 metros.
- Não operar o radar a menos de 10 metros de distância de locais que contenham material explosivo ou inflamável.
- Não operar o radar com pessoas à frente da antena, a menos de 10 metros de distância.

1 Ligue ao avião uma fonte externa de energia de 28 VCC.
2 Posicione o interruptor "Seletor de Bateria" em "Fonte externa". Observe se o indicador magnético se alinha com as marcas do painel.
3 Posicione o interruptor "Conversor 1" em "Liga". Observe se o indicador magnético se alinha com as marcas do painel.
4 Posicione a Chave de funções, do indicador de radar em "TST".
5 Posicione o controle de brilho, "BRT" a meio curso.
6 Posicione o controle "TILT", para qualquer posição, com a antena estabilizada (STAB ON).
7 Após sete a oito segundos o padrão de teste deve aparecer na tela do indicador.
8 Ajuste o controle de brilho como desejar.
9 O padrão de teste mostrará na tela quatro faixas coloridas de mesma largura. Partindo da faixa externa para a interna, as faixas serão: verde, amarela, vermelha e magenta.
10 O alcance será automaticamente posicionado para 80 milhas. Todas as marcas de alcance estarão visíveis e mostradas em letras de cor azul.
11 A ação de atualização da imagem deve ser observada como uma pequena ondulação ou pequeno movimento, ao longo da faixa verde externa.
12 Posicione a Chave de funções em "SBY". Observe que a antena movimenta-se para baixo para a posição de -25º.
13 Volte a Chave de funções para a posição"TST".
14 Gire o controle de "TILT", no sentido horário, para "UP". Verifique se a antena se inclina para cima, suavemente e sem interferência.
15 Gire o controle de "TILT", no sentido anti-horário, para "DN". Verifique se a antena se inclina para baixo, suavemente e sem interferência.
16 Volte o controle de "TILT" para zero.
17 Posicione a Chave de funções para "ON".
18 O indicador deverá automaticamente estar no modo "Wx", e o alcance em 80 milhas. Certifique-se de que a antena está estabilizada.
19 Ajuste o controle de "TILT", no sentido horário, em pequenos incrementos, até que uma imagem nítida apareça na tela, sob qualquer condição meteorológica local.
  a) Os alvos próximos ao solo deverão aparecer na tela.
  b) Quando a antena atingir +15º, todos os alvos próximos ao solo deverão desaparecer.
20 Repita o passo "16" para verificação de todas as faixas restantes.
21 Posicione a Chave de funções, em "OFF".
22 Posicione o interruptor "Conversor 1",no painel superior, em "DESL". Verifique se o indicador magnético desalinha.
23 Retorne o interruptor "Seletor Bateria" no painel superior, para "DESL". Observe se o indicador magnético desalinha.
24 Retire do avião a fonte externa de energia de 28 VCC.

Estabilização da antena

Teste de "TILT"

1 Posicione a Chave de funções em "TST".
2 Puxe o controle de "TILT" ("STAB OFF").

3 Pressione os botões “Wx” e “WxA” simultaneamente. Verifique se o “HIDDEN PAGE” é mostrado na tela do indicador.
4 Pressione o botão de aumento de alcance (“Range”) para selecionar “R/T Calibration Data”, no painel indicador.
5 Verifique se a página “R/T Calibration Data” é mostrada na tela.
6 Mantenha o indicador de atitude nivelado.
7 Verifique se na tela do indicador é mostrado “Pitch Angle” e “Roll Angle” iguais a 0.00 ± 1º.
8 Gire o controle de “TILT”, no indicador, para 0º.
9 Verifique se na tela do indicador os ângulos de “Antenna Elevation” são: “L” = 0.00 ± 1º; “C” = 0.00 ± 1º; e “R” = 0.00 ± 1º.
10 Gire o controle de “TILT” no sentido horário para + 10º, conforme indicado em “TILT SETTING: 10.00 U na tela do indicador.
11 Verifique se na tela do indicador os ângulos de”Antenna Elevation” são: “L” = 0.00 ± 1º, “C” = 10.0 U ± 1º e “R” = 0.00 ± 1º.
12 Gire o controle de “TILT” no sentido anti-horário para -10º, conforme indicado em “TILT SETTING”: 10.00 “D” na tela do indicador.
13 Verifique se na tela do indicador os ângulos de “Antenna Elevation” são: “L” = 0.00± 1º, “C” = 10.0 “D” ± 1º e “R” = 0.00 ± 1º.
14 Gire o controle de “TILT” para 0º.
15 Pressione o botão “Wx”. Verifique se na tela do indicador é mostrado o modo teste (imagem padrão).

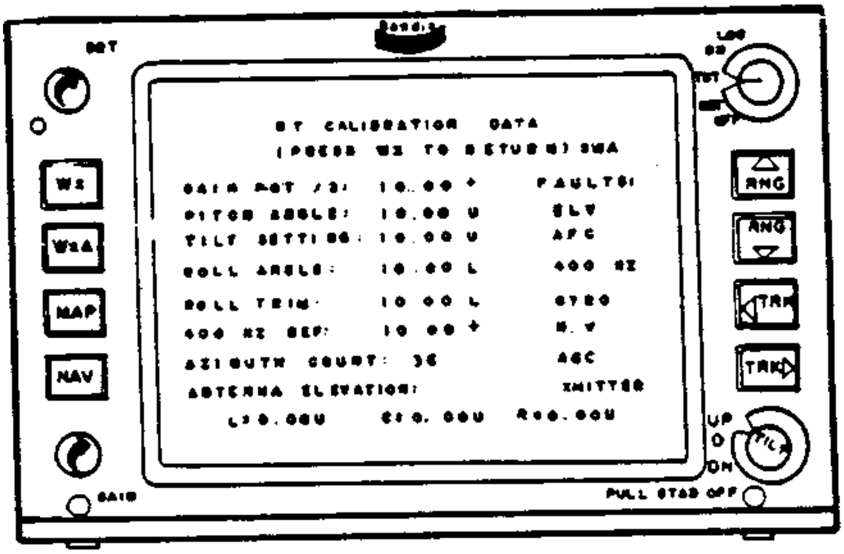

RT CALIBRATION DATA
(PRESS WX TO RETURN)
GAIN POT /3: 10.00 +
PITCH ANGLE: 10.00 U
TILT SETTING: 10.00 U
ROLL ANGLE: 10.00 L
ROLL TRIM: 10.00 L
400 HZ REF: 10.00 +
AZIMUTH COUNT: 36
ANTENNA ELEVATION:
FAULTS:
ELV
AFC
400 HZ
GYRO
H.V
AGC
XMITTER
WX
WxA
MAP
NAV
RNG
RNG
TRK
TRK
UP
O
DN
PULL STAB OFF
GAIN

Figura 19-59 Formato de “Hidden Page” para os dados de calibração da R/T.

Teste de calibração de “PITCH”

O teste de “TILT” deve ser executado antes do teste e calibragem de “PITCH”.

1 Posicione a Chave de funções em “TST”.
2 Pressione o botão de controle de “TILT” (STAB ON).
3 Pressione os botões “Wx” e “WxA” simultaneamente. Verifique se na tela do indicador é mostrado o menu “Hidden Page”.
4 Pressione o botão de aumento de alcance (Range) para selecionar “R/T Calibration Data, no painel do indicador.
5 Verifique se a página “R/T Calibration Data” é mostrada na tela.
6 Posicione o indicador de atitude para 10º de arfagem e 0º de rolamento.
7 Verifique se na tela do indicador o “Pitch Angle” é indicado 10.00 U ± 1º e os ângulos de “Antenna Elevation” são: L = 7.07 D ± 1º, C = 10.0 D ± 1º e R = 7.07 D ± 1º.
8 SE OS ÂNGULOS DE “Antenna Elevation” não são corretos, ajuste o controle de ângulo de Pitch, na base da antena, para uma indicação correta na tela do indicador.
9 Puxe o botão de controle de “TILT” (Stab OFF).
10 Verifique se na tela do indicador os ângulos de “Antenna Elevation” são: L = C+R+0.00 ± 1º.

11 Empurre o botão de controle de “TILT (Stab ON)

12 Pressione o botão “Wx”. Verifique se na tela do indicador é mostrado o modo teste (Imagem padrão).

Teste de calibração de ”ROLL”

O teste de “TILT”, e teste e calibração de “PITCH”, devem ser executados antes do teste e calibragem de “ROLL”.

1 Posicione a Chave de funções em “TST”.

2 Pressione o botão de controle de “TILT” (Stab ON).

3 Gire o controle de “TILT” para 0º conforme indicado em “TILT Setting” na tela.

4 Pressione os botões “Wx” e “WxA” simultaneamente. Verifique se na tela do indicador é mostrado o menu “Hidden Page”

5 Pressione o botão de aumento de alcance (Range) para selecionar “R/T Calibration Data”, no painel do indicador.

6 Verifique se a página”R/T Calibration Data” é mostrada na tela.

7 Mantenha o indicador de atitude alinhado.

8 Ajuste o potenciômetro de compensação de “ROLL” no indicador de radar, para zero grau, como indicado na tela.

9 Posicione o indicador de atitude para 0º de arfagem e 30º de rolamento à direita.

10 Verifique se na tela do indicador é mostrado “Pitch Angle” e “TILT Setting” iguais a 0.00 ± 2º, e os ângulos de “Antenna Elevation” são: L = 21.0 D ± 2º, C = 0.00 ± 2º e R = 21.0 U ± 2º.

11 Posicione o indicador de atitude para 0º de arfagem e 30º de rolamento à esquerda.

12 Verifique se na tela do indicador é mostrado “Pitch Angle” e “TILT Setting” iguais a: 0.00 ± 2º, e os ângulos de Antenna Elevation” são: L = 21.0 U ± 2º, C = 0.00 ± 2º e R = 21.0 ± 2º.

13 Ajuste o controle de ângulos de “ROLL” na base da antena, se não foram encontrados os ângulos de “Antenna Elevation”, nos passos 10 e 12. Então, repita os passos de 9 a 12.

14 Pressione o botão “W”. Verifique se na tela do indicador é mostrado o modo teste.

PILOTO AUTOMÁTICO

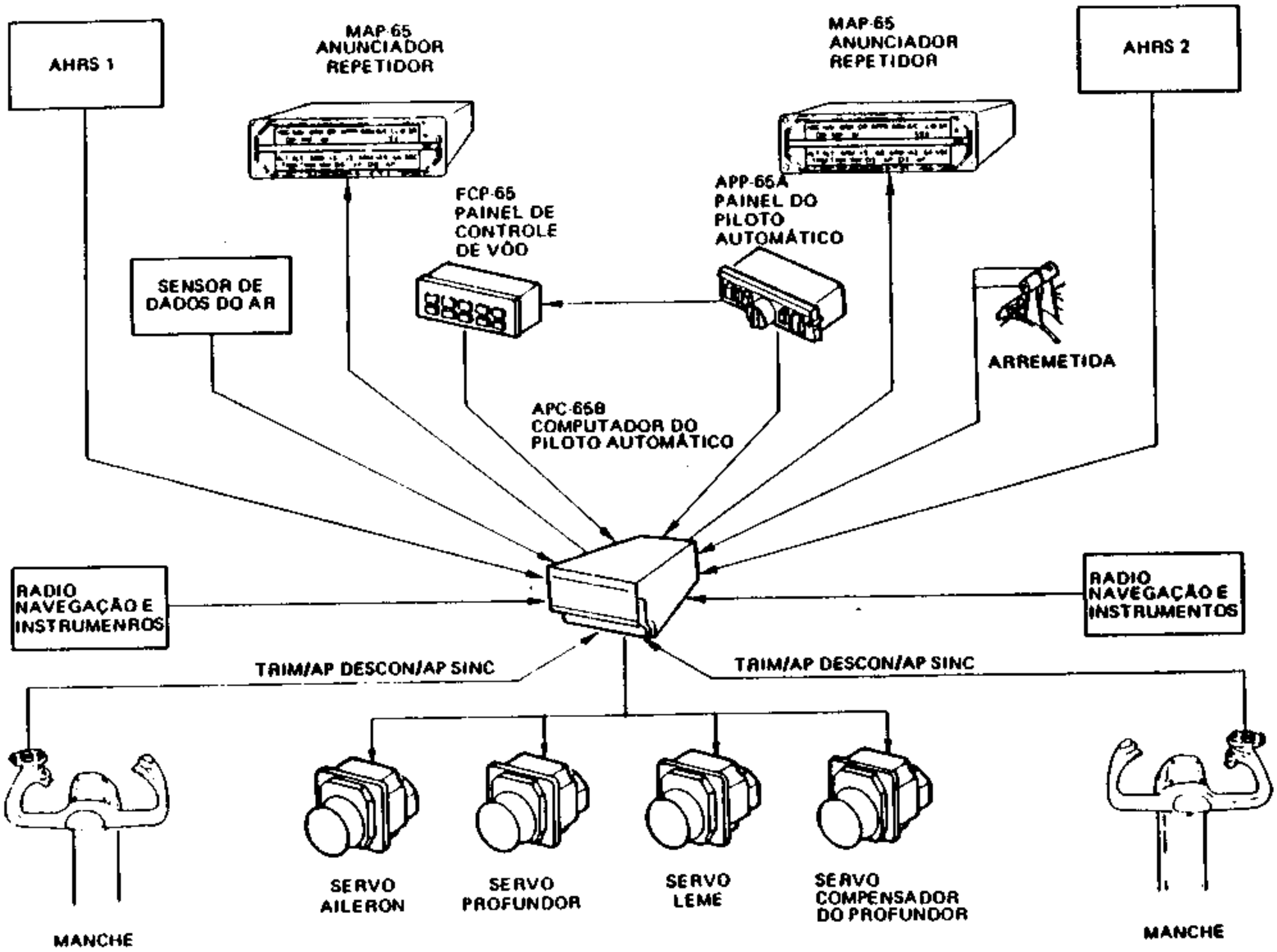

AHRS 1
MAP 65
ANUNCIADOR
REPETIDOR
MAP 65
ANUNCIADOR
REPETIDOR
AHRS 2
FCP 65
PAINEL DE
CONTROLE
DE VÔO
APP 65A
PAINEL DO
PILOTO
AUTOMÁTICO
SENSOR DE
DADOS DO AR
ARREMETIDA
APC 65B
COMPUTADOR DO
PILOTO AUTOMÁTICO
RADIO
NAVEGAÇÃO E
INSTRUMENROS
RADIO
NAVEGAÇÃO E
INSTRUMENTOS
TRIM/AP DESCON/AP SINC
TRIM/AP DESCON/AP SINC
SERVO
AILERON
SERVO
PROFUNDOR
SERVO
LEME
SERVO
COMPENSADOR
DO PROFUNDOR
MANCHE
MANCHE

Figura 19-60 Diagrama de bloco do sistema Piloto Automático.

PILOTO AUTOMÁTICO

Introdução

O sistema de piloto automático / diretor de vôo, através do computador APC65B, fornece controle automático para os sistemas de comando dos ailerons, profundor e leme, de acordo com os modos de vôo selecionados e um controle automático do compensador do profundor. Fornece, também, comandos do diretor de vôo para arfagem e rolagem, sistema de alarmes e anunciadores de modos.

Descrição e localização dos componentes

O sistema é composto por:

1 Um computador APC65.
2 Um painel do piloto automático APP65A.
3 Um painel de controle de vôo FCP65.
4 Um painel anunciador de modos MAP65.
5 Um sensor de dados do ar ADS65C
6 Chaves e botões externos.

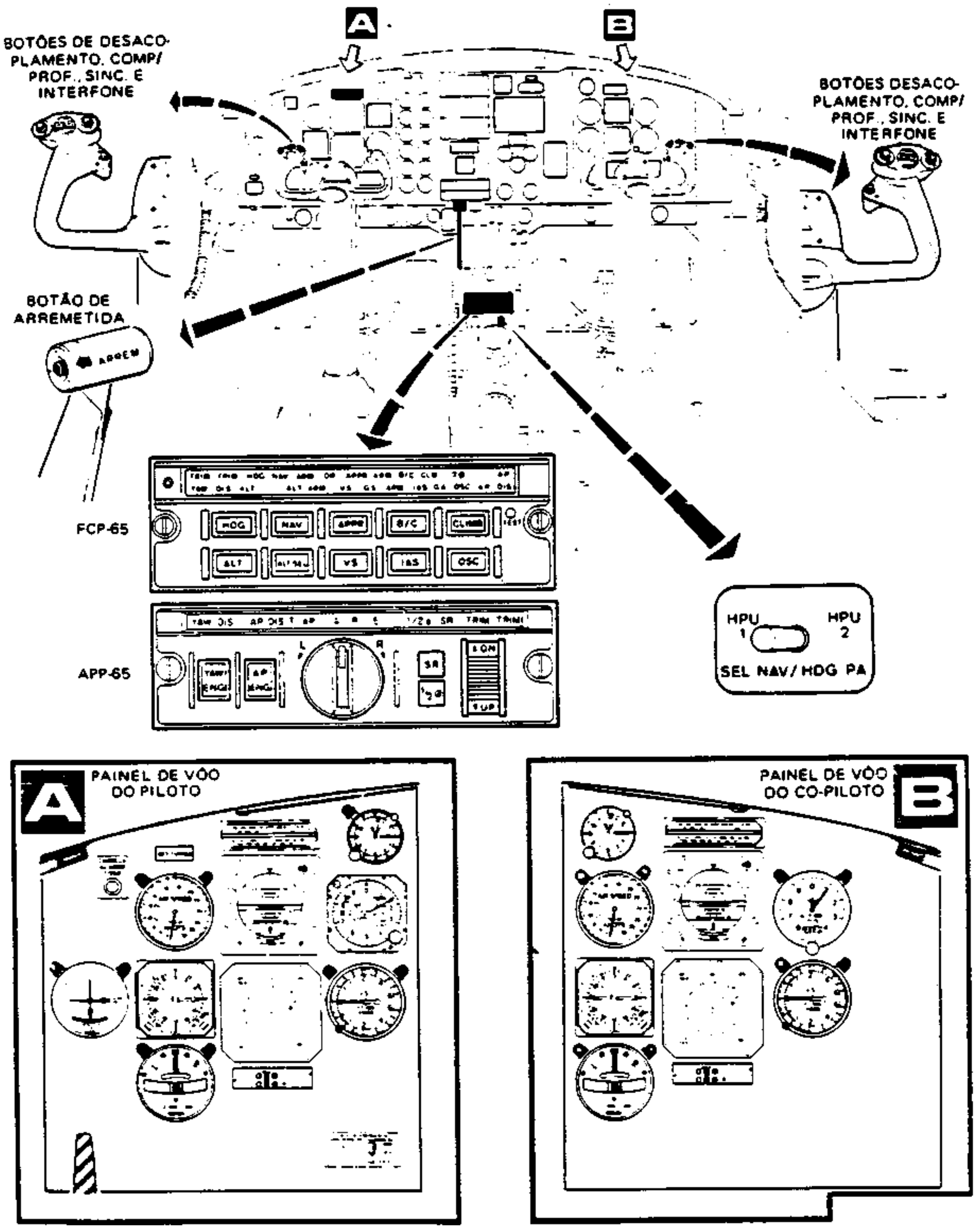

A
B
BOTÕES DE DESACOPLAMENTO. COMP/ PROF., SINC. E INTERFONE
BOTÕES DESACOPLAMENTO. COMP/ PROF., SINC. E INTERFONE
BOTÃO DE ARREMETIDA
ARREM
FCP-65
HDG
NAV
APPR
B/C
CLIMB
ALT
ALT SEL
VS
IAS
DSC
TEST
APP-65
YAW ENG
AP ENG
L
R
SR
1/2φ
ON
UP
HPU 1
HPU 2
SEL NAV/HDG PA
PAINEL DE VÔO DO PILOTO
PAINEL DE VÔO DO CO-PILOTO

Figura 19-61 Localização dos componentes do Piloto Automático(cabine).

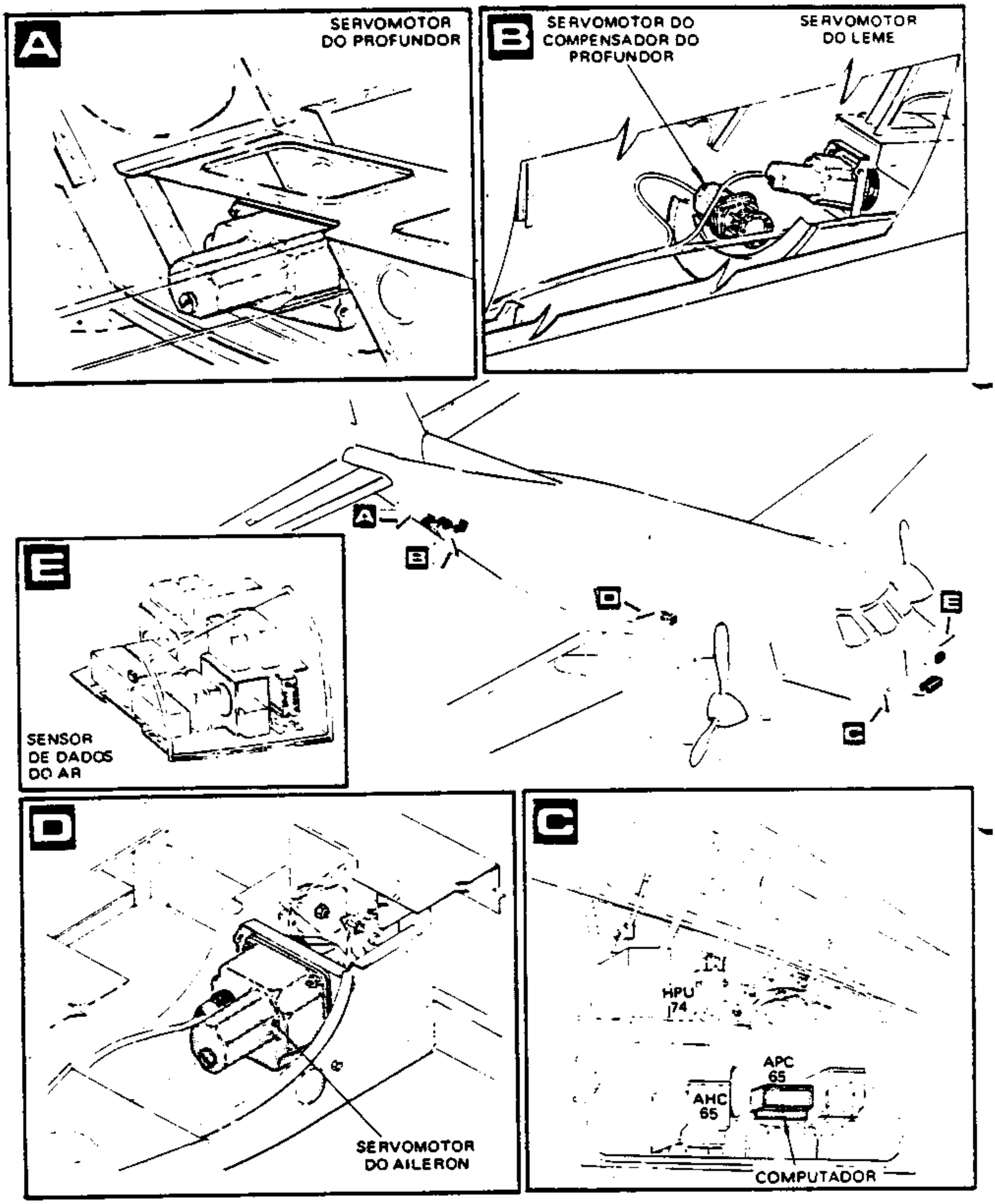

A
SERVOMOTOR DO PROFUNDOR
B
SERVOMOTOR DO COMPENSADOR DO PROFUNDOR
SERVOMOTOR DO LEME
E
SENSOR DE DADOS DO AR
D
SERVOMOTOR DO AILERON
C
HPU 74
APC 65
AHC 65
COMPUTADOR

Figura 19 62 Localização dos componentes do Piloto Automático(fuselagem).

Computador APC65B

– O computador do piloto automático é o centro de controle do sistema. Ele processa todos os sinais recebidos e os envia ao canal correspondente.

A interligação entre o computador e o seletor anunciador de modos FCP65 é feita através de uma barra de dados seriados.

Faz parte deste sistema a compensação elétrica manual do compensador do profundor (Trim), cujo módulo de controle está embutido no computador do piloto automático APC65A, sendo comandado através dos interruptores COMP / PROF, localizados nos manches.

Os dados requeridos para operação do computador são basicamente os seguintes:

- Dados de arfagem, rolamento, razão de guinada, aceleração lateral, aceleração vertical, fornecidos pelo sistema de Referência de Atitude de Proa (AHRS).
- Altitude e velocidade do sistema de dados do ar (ADS).
- Curso e erro de proa do EHSI.
- Sinais de radionavegação.
- Sinais discretos dos painéis de controle, monitores, bandeiras de alarme e outros.

Os sinais de saída fornecidos pelo computador são:

- Comandos de direção de arfagem e rolamento.
- Comandos de direção do motor para cada servo.
- 28 VCC e um sinal de terra controlado, gerado para cada canal de comando, o qual permite o controle do campo magnético de cada servo.
- Aviso de falhas de AP, TRIM e SERVO.

Os sinais de radionavegação ligados ao piloto automático / diretor de vôo são:

- VOR / LOC (V / L).
- GLIDESLOPE (GS).
- MARKER BEACON (MB).
- Rádio Altímetro.

Os componentes do computador do piloto automático mostrado na figura 19-63, são divididos em duas partes:

- Um computador de comando do diretor de vôo, composto basicamente de um micro-processador 6802.
- Quatro cartões independentes nos computadores dos servos, um para cada canal(arfagem, rolamento, guinada e compensador elétrico), baseados em micro-processadores 6502.

O computador de comando do diretor de vôo processa os sinais dos circuitos periféricos e apresenta os resultados através dos "FIS" (Sistema de Instrumentos de Vôo).

Ao sinais de arfagem e os de rolagem são enviados para os computadores dos servos de arfagem e rolagem (microprocessadores). Este cartões de servos combinam-se na computação de atitude básica com o sinal de direção apropriada do diretor de vôo. O sinal assim obtido é utilizado para atuar os respectivos servos (arfagem e rolamento).

Os sinais de guinada como "ERRO DE PROA (Heading Course) e DADOS DE CURSO (Course Datum) são provenientes do Computador de Dados de Proa (HPU) e os sinais de RAZÃO DE CURVA (Turn Rate) e ACELERAÇÃO LATERAL (Lateral Acceleration) são provenientes do AHRS e processados através de microprocessadores para o funcionamento correto do AMORTECEDOR DE GUINADA (Yaw Damper) e coordenação de curva.

A operação do compensador é feita através do servo compensador do profundor. A excitação para o servo é fornecida pelas chaves do compensador do profundor, o qual permite o ajuste manual através do sistema do compensador elétrico ou através do APC65B para a atuação automática do compensador do profundor com o piloto automático engajado.

Painel do Piloto Automático – É um painel montado através de "DZUS", ao pedestal de manetes, provido de controles do piloto automático e de anunciadores.

O painel do piloto automático (APP65A) é interligado, no sistema do piloto automático (APS65), ao computador do sistema (APC65B) e ao painel de controle de vôo (FCP65).

O painel possui as teclas AP ENG, YAW ENG, SR e 1/$\cancel{2}$ 0 , os controles de inclinação lateral (TURN) e vertical (DN / UP).

Possui também, na parte superior, o anunciador Queridos pais, fornece indicações contínuas da operação do sistema.

A função de cada tecla e controle do painel do piloto automático são descritos a seguir.

Tecla YAW ENG – Engaja e desengaja o servo do leme.

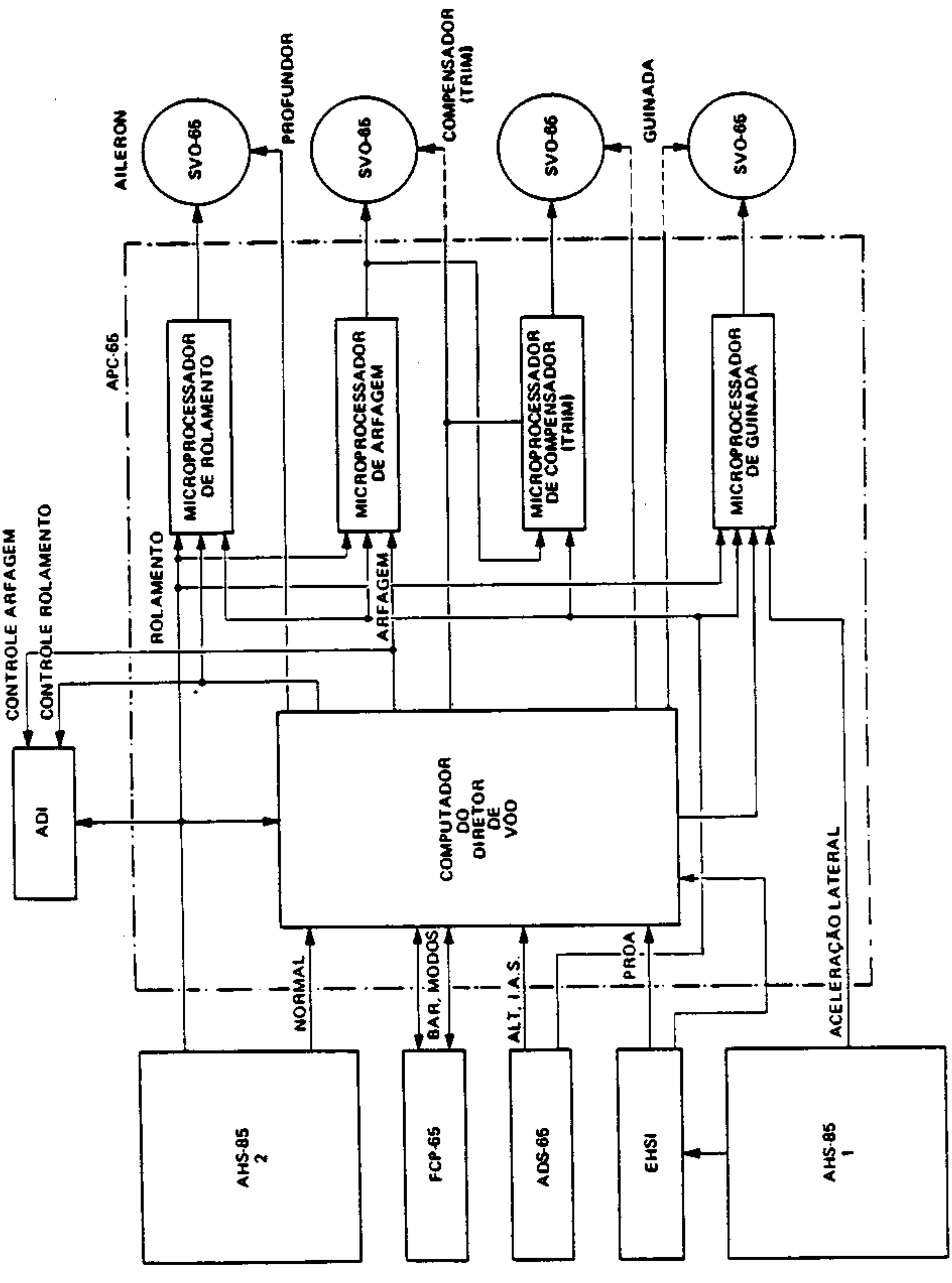

AILERON
PROFUNDOR
COMPENSADOR (TRIM)
GUINADA
SVO-65
SVO-65
SVO-65
SVO-65
APC-65
MICROPROCESSADOR DE ROLAMENTO
MICROPROCESSADOR DE ARFAGEM
MICROPROCESSADOR DE COMPENSADOR (TRIM)
MICROPROCESSADOR DE GUINADA
CONTROLE ARFAGEM
CONTROLE ROLAMENTO
ROLAMENTO
ARFAGEM
ADI
COMPUTADOR DO DIRETOR DE VOO
NORMAL
BAR. MODOS
ALT. I.A.S.
PROA
ACELERAÇÃO LATERAL
AHS-85 2
FCP-65
ADS-65
EHSI
AHS-85 1

Figura 19-63 Diagrama bloco do computador do Piloto Automático.

Tecla AP ENG – Engaja todos os servos do piloto automático, incluindo o do leme e o servo do compensador do profundor (TRIM) e desengaja todos os servos do piloto automático exceto o do leme. O servo do leme será desengajado quando a tecla YAW ENG ou os interruptores do desengajamento do sistema, localizado no manche, forem acionados.

Tecla SR – Ativa o modo SOFT-RIDE no computador do piloto automático para fornecer incrementos que suavizem o comando do avião, melhorando o conforto dos passageiros durante condições de turbulência.

Tecla 1/2 Ø – Ativa o modo HALF-BANK, limitando o comando do ângulo de inclinação num limite de metade do valor normal. Pode ser selecionado em conjunto com os modos HDG e rolamento básico.

Controle vertical DN/UP – Proporciona o controle manual do eixo de arfagem quando o piloto automático está engajado. É um controle balanceado através das molas com duas posições de contatos momentâneos (DN e UP), e é atuado quando mantido em uma das posições por mais de um segundo.

Controle L/R (TURN) – Controla o ângulo de inclinação lateral, sendo esse ângulo proporcional ao deslocamento do botão de rolamento.

Os anunciadores do painel do piloto automático são codificados através de cores para melhor reconhecimento do estado do modo selecionado:

YAW (verde) – Indica que o amortecedor de guinada está engajado.

DIS (YAW) (âmbar) – Indica que o amortecedor de guinada está desengajado. O anunciador DIS piscará por 5 segundos e apagar-se-á. O anunciador também iluminará quando o amortecedor de guinada estiver engajado e o botão SYNC for pressionado.

AP (verde) – Indica que o piloto automático está engajado.

DIS (AP) (âmbar) – Indica que o piloto automático está desengajado. O anunciador DIS piscará por 5 segundos e apagar-se-á. O anunciador também iluminará quando o piloto automático estiver engajado e o botão PILOT AUTOM SYN for pressionado.

T (âmbar) – Indica falha do servo do compensador do profundor (TRIM).

AP (vermelho) – Indica falha do piloto automático.

A (âmbar) – Indica falha do servo do aileron.

R (âmbar) – Indica falha do servo do leme.

E (âmbar) – Indica falha do profundor.

1/2 Ø (verde) – Indica que o modo HALF-BANK foi selecionado.

SR (verde) – Indica que o modo SOFT-RIDE foi selecionado.

TRIM (vermelho) – Indica falha do sistema do compensador do profundor.

TRIM (branco) – Indica que o sistema do compensador está em operação.

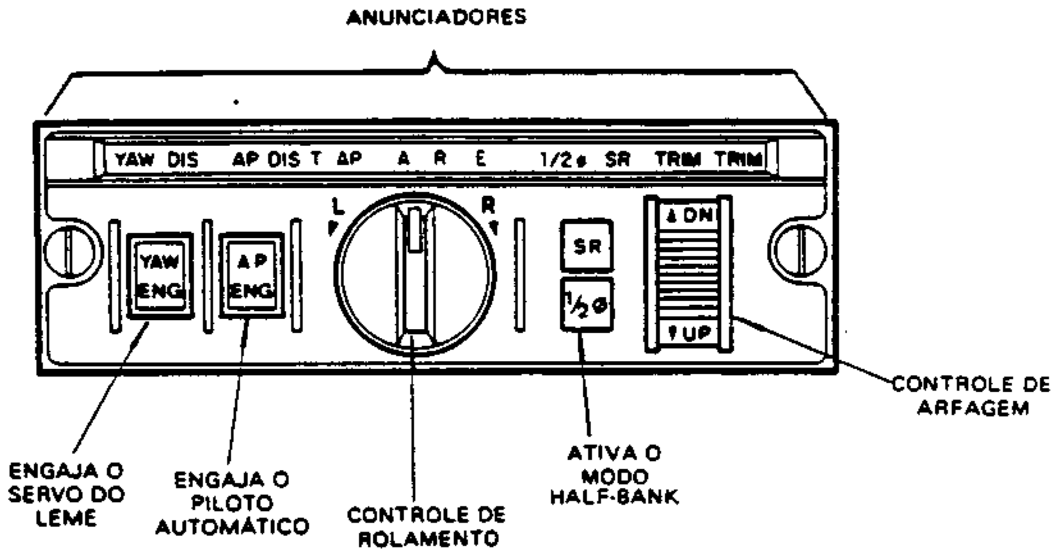


Figura 19-64 Painel do Piloto Automático

Painel de Controle de Vôo – O painel de controle de vôo FCP 65 é instalado com “dzus”, usado para selecionar e mostrar os modos de operação do diretor de vôo ou sistema do piloto automático. O painel de controle FCP 65 provê a seleção de modo de operação através de teclas do tipo “pressiona-liga / pressiona-desliga”, com indicação da função selecionada, apresentada pelo anunciador de modos na parte superior do próprio painel e pelos repetidores anunciadores de modo MAP 65, localizados no painel de instrumentos.

A seleção de modos através do painel de controle é interligada ao computador do piloto automático AP 65B, para assegurar que somente modos compatíveis são selecionados ao mesmo tempo.

O painel de controle de vôo também envia os comandos do piloto automático para o computador do piloto automático e a lógica do modo de controle de vôo para outros equipamentos no sistema.

A função de cada botão no painel de controle de vôo FCP 65 é descrita a seguir:

HDG – Seleciona o modo proa(HEADING).
NAV – Seleciona o modo navegação.
APPR – Seleciona o modo aproximação.
ALT – Seleciona o modo altitude.
B/C – Seleciona o modo aproximação pelo curso reverso.
ALT SEL – Seleciona o modo altitude pré-selecionada.
IAS – Seleciona o modo velocidade do ar, indicada.
VS – Seleciona o modo velocidade vertical.
CLIMB – Seleciona o modo subida.
DSD – Seleciona o modo descida.
TEST – Ativa o procedimento de autoteste e seleciona o modo diagnóstico, constituído de uma lâmpada-teste e outras rotinas, que podem ser executadas em solo como ajuda na manutenção. O modo teste pode ser usado quando em vôo, porém o botão TEST deve ser pressionado e mantido até a leitura do diagnóstico, e então liberado.

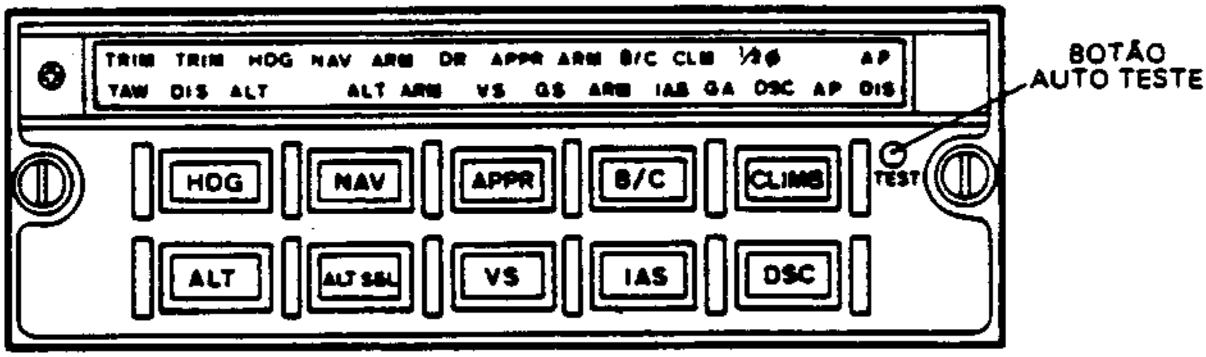

TRIM TRIM HDG NAV ARM DR APPR ARM B/C CLM 1/2ø AP
YAW DIS ALT ALT ARM VS GS ARM IAS GA DSC AP DIS
HDG
NAV
APPR
B/C
CLIMB
TEST
ALT
ALT SEL
VS
IAS
DSC
BOTÃO AUTO TESTE

Figura 19-65 Painel de controle de vôo.

Painel anunciador de modos – O painel MAP 65 provê uma completa apresentação de todas as funções do piloto automático, através de anunciadores de modo e anunciadores que indicam a passagem pelos sinais dos marcadores interno, intermediário e externo. Os anúncios possuem codificação através de cores para melhor reconhecimento do estado do modo.

As cores são:

VERDE – Para condição ativa;
BRANCO – Para condição armada;
VERMELHO – Para condição de falha..

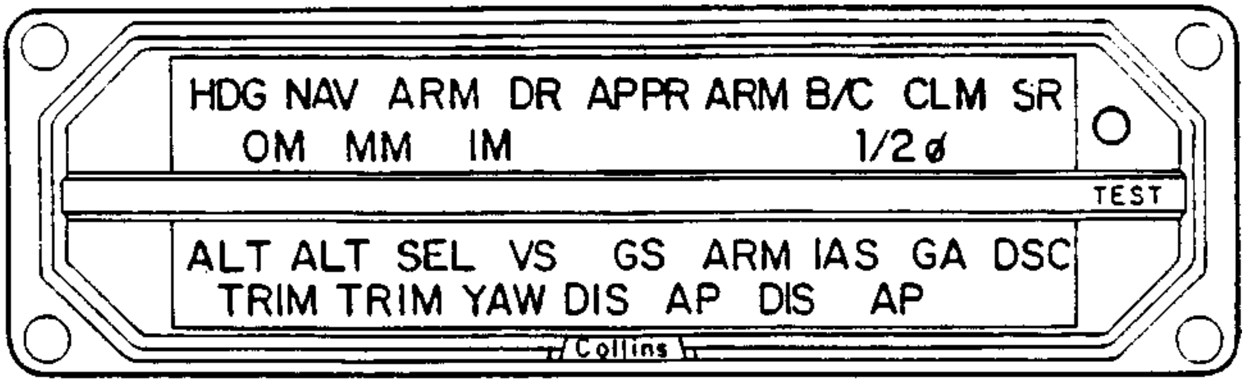

HDG NAV ARM DR APPR ARM B/C CLM SR
OM MM IM 1/2ø
TEST
ALT ALT SEL VS GS ARM IAS GA DSC
TRIM TRIM YAW DIS AP DIS AP
Collins

Figura 19-66 Anunciador de modos.

ANUNCIADOR	CONDIÇÃO PARA ATIVAR	COR ATIVA	COR ARM	COR ALARME
HDG	Mostra a proa selecionada. Iluminará automaticamente se NAV, APPR ou B/C forem selecionados, mas não ocorrerá captura.	Verde		
NAV	Seleção do modo NAV.	Verde		
APPR	Seleção do modo APPR.	Verde		
GS	Indica captura GLIDESLOPE.	Verde		
AP	Indica PA engajado.	Verde		
ALT	Seleção do modo ALT HOLD ou após captura de ALT SEL.	Verde		
IAS	Seleção do modo velocidade do ar (IAS).	Verde		
VS	Seleção do modo velocidade vertical.	Verde		
DSC	Seleção do modo descida	Verde		
GA	Indica que o sistema está no modo arremetida.	Verde		
CLM	Seleção do modo CLIMB	Verde		
YAM	Indica que o canal guinada está engajado.	Verde		
DR	Indica computação mantida no cone de silêncio sobre o VOR.	Verde		
ARM	Indica condições de modo armado para captura.		Branco	
B/C	Indica condição do modo reverso.	Verde		
DIS	Anuncia que YAM e AP foram desengajados. Piscará por aproximadamente 5 segundos. Durante o tempo em que a chave SYNC estiver pressionada o DIS estará aceso. Quando a chave SYNC for liberada, o anunciador apagará.	Âmbar		
ALT ARM	Mostra que a altitude pré-selecionada está armada para a captura automática.	Verde(ALT)	Branco (ARM)	
AP	Indica falha entre funções duplas de segurança. Piloto automático desengaja automaticamente.			Vermelho
TRIM	Indica falha do servo do compensador no piloto automático ou operação elétrica manual.			Vermelho
TRIM	Indica movimento do servo do profundor para operação do piloto automático.	Branco		
1 / 2 Ø	Indica seleção de modo HALF BLANK.	Verde		
S / R	Indica seleção de modo SOFT-RIDE	Verde		
OM	Indica passagem sobre o marcador externo (MAP) somente.	Âmbar		
MM	Indica passagem sobre o marcador intermediário (MAP somente).	Âmbar		
IN	Indica passagem sobre o marcador externo (MAP somente).	Branco		

Esta tabela mostra a relação dos anunciadores do MAP 65 e do FCP 65.

Sensor de dados do ar

– É um sensor utilizado para converter as variações de pressão estática e dinâmica em sinais analógicos usados pelo sistema de piloto automático ou diretor de vôo.

O sensor de dados do ar fornece informações de velocidade do ar, altitude barométrica, velocidade vertical, altitude indicada, e erro de velocidade vertical indicada usadas no computador do piloto automático ou no computador do diretor de vôo.

O sensor de dados do ar possui capacidade de sincronização interna e contém circuitos internos de autoteste para auxiliar na pesquisa de panes.

As saídas do sensor de pressão fornecem sinais analógicos para o controlador diretor de vôo ou computador do piloto automático, com informações de velocidade do ar (proveniente do sensor de pressão diferencial) e altitude barométrica (proveniente do sensor de pressão absoluta).

A informação de velocidade vertical é derivada da razão de variação do sinal de altitude barométrica.

Chaves e botões externos:

Botão **PILOTO AUTOM SYNC** – Localizado no manche, permite manobras da aeronave para nova altitude, sem desengajar o piloto automático.

Botão **ARREM** – Localizado na manete de potência, permite selecionar o modo arremetida.

Botão **PILOTO AUTOM DESC** – Localizado no manche, permite desengajar o piloto automático rapidamente.

Botão **COMP / PROF** – Localizados no manche, comandam o motor do servo do compensador do profundor.

Interruptor **SEL NAV / HDG PA** – Seleciona a fonte de navegação (HPU1 ou HPU2) a qual o piloto automático irá acoplar. O circuito possui um circuito de proteção que impede a mudança de fonte pelo interruptor, enquanto o piloto automático estiver acoplado.

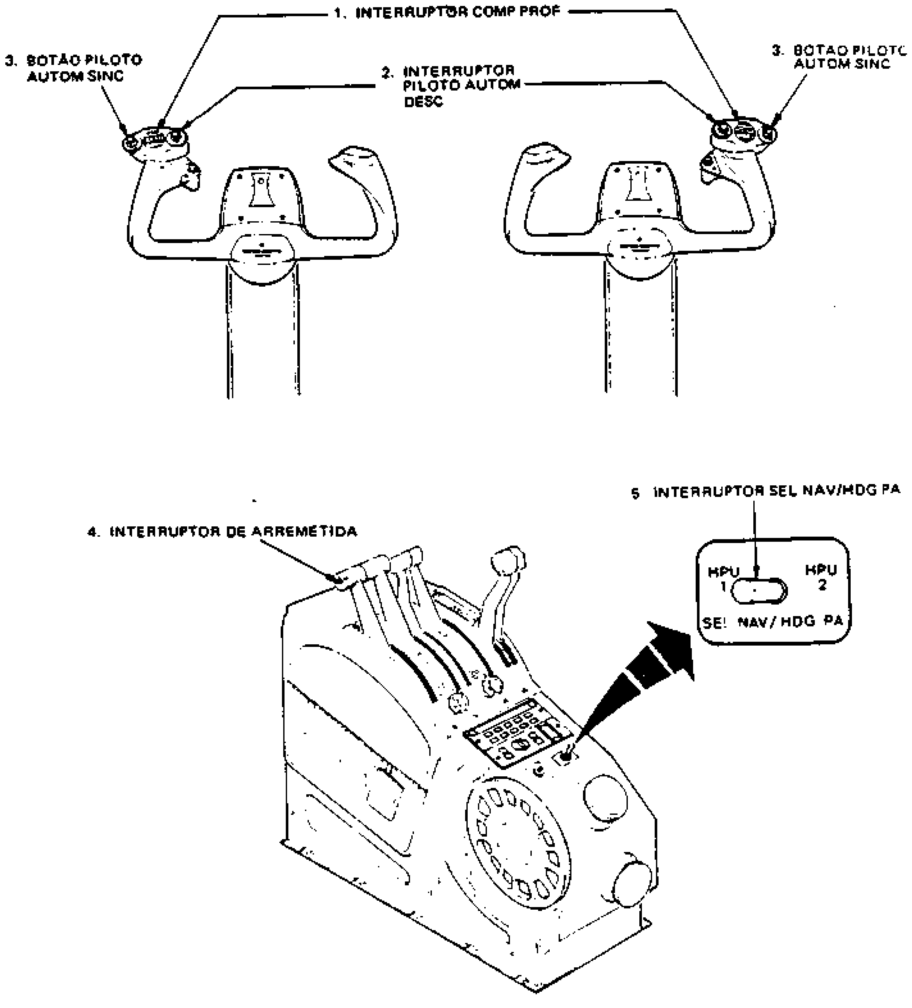

1. INTERRUPTOR COMP PROF
3. BOTÃO PILOTO AUTOM SINC
2. INTERRUPTOR PILOTO AUTOM DESC
3. BOTÃO PILOTO AUTOM SINC
4. INTERRUPTOR DE ARREMETIDA
5 INTERRUPTOR SEL NAV/HDG PA
HPU 1
HPU 2
SEL NAV/HDG PA

Figura 19-67 Comandos externos do piloto automático.

Operação

Engajamento - As teclas de ação momentânea (pressiona-liga/pressiona-desliga) do painel do piloto automático são utilizadas para engajar os três eixos do piloto automático e o comando automático do servo do compensador do profundor.

Nota - Caso ocorra uma condição insatisfatória, a bandeira do computador aparecerá no ADI.

As seguintes funções são monitoradas pelo computador:

- Monitoramento da informação de atitude.
- Validade do receptor de navegação.
- Validade do receptor de GLIDESLOPE.
- Fluxo do programador do microcomputador.
- Corrente do servomotor e razão do comparador.
- Monitoramento do ADS.

O engajamento não ocorrerá se a atitude do avião exceder 30º em arfagem e 45º de rolamento. Se o piloto automático já estiver engajado, nestas condições ele será desengajado automaticamente. Se o piloto automático estiver engajado e for usado o modo SYNC, para pilotar a aeronave, além de seus limites de arfagem e rolamento, a aeronave retornará ao limite máximo quando o botão PILOTO AUTOM SYNC for solto.

Nota: O limite de comando de atitude para inclinação é de ± 30º no modo básico de arfagem / inclinação (PITCH / BANK) e 25º nos modos laterais (exceto após a captura do feixe de GS, o qual prevê 15º de comando de inclinação), sendo que o limite de comando de arfagem é de +20° e –10°.

Modos laterais

– Quando os modos laterais não são selecionados no painel de controle de vôo FCP 65, o engajamento do piloto automático será no modo básico. O modo básico lateral do piloto automático é acionado através do botão de controle TURN (L / R), que comanda suavemente o ângulo de inclinação do avião, proporcional ao deslocamento do botão.

Quando o botão está na posição central (DETENT), a tensão enviada pelo potenciômetro (acoplado ao controle TURN) do computador do piloto automático é de 0 VCC e portanto 0º de inclinação, fazendo com que o sistema mantenha as asas niveladas.

Os modos laterais para operação com o sistema de Piloto automático/Diretor de vôo são os seguintes:

Nota – Quando um dos modos laterais é selecionado, as barras de comando aparecem no ADI.

HDG (proa) – Quando o modo HDG é selecionado com o sistema do piloto automático engajado, este comandará o vôo da aeronave, e manterá fixada no índice de proa, no indicador de situação horizontal eletrônico (EHSI). Para operação correta o índice de proa não deve ser indicado, mais que 135º da proa do avião, quando o modo HDG é selecionado.

NAV (navegação) – Quando o modo NAV é selecionado com o modo HDG pré-selecionado, os anunciadores HDG verde, NAV verde e ARM branco, se iluminarão; e o ponteiro de curso, no EHSI deve estar posicionado para o curso desejado. Nesta condição, o sistema intercepta e captura o curso de VOR ou LOC, e o modo HDG então se desacoplará; os anunciadores HDG e ARM apagar-se-ão e a aeronave girará para o curso central do feixe (VOR ou LOC). Vento cruzado de até 45 graus é automaticamente computado após a captura do curso.

APPR (aproximação) – O modo APPR pode ser usado quando uma aproximação ILS é desejada.

Aproximação VOR – Quando o receptor NAV é sintonizado para uma frequência de VOR e o modo APPR é selecionado, o sistema entra por si só no submodo NAV-ARM, para um dos ângulos de captura, similar ao modo NAV. Nesta condição, o computador seleciona o ganho interno e provê o comando de direção para os submodos de captura e curso.

No espaço de tempo sobre a estação, o sistema é provido com o mínimo de sinal requerido para o piloto fazer alguma mudança necessária de curso, para uma aproximação VOR de vento a favor.

Neste submodo a operação GLIDESLOPE é desativada e o sistema anunciará o APPR, ARM e DR (zona de silêncio), a cada estágio apropriado de aproximação.

Aproximação ILS – O sistema de direção de vôo configura uma total aproximação ILS quando o receptor NAV é sintonizado a uma frequência LOC com o modo APPR selecionado.

A operação LOC é similar à descrita para o modo NAV, exceto que os canais apropriados são providos no computador (curso e captura), permitindo operação adaptada para o feixe geométrico do LOC. Quando o sistema está preparado para rastreamento, o anunciador GS ARM no painel de controle iluminará, indicando que o sistema está em captura do feixe do Glideslope.

Quando no modo Glideslope, qualquer outro modo vertical selecionado será automaticamente desativado.

Aproximação BACK-COURSE (Reverso) – Este modo é similar ao modo aproximação ILS, exceto que com o modo B / C selecionado, o anunciador B / C iluminará e a operação Glideslope é bloqueada. Os anunciadores B / C, APPR e ARM são ativados neste modo, em estágios apropriados de aproximação.

Modos verticais – Quando um modo lateral é selecionado no diretos de vôo e o piloto automático é engajado sem que um modo vertical esteja selecionado, comandos são fornecidos pelo computador para manter a presente condição de arfagem no instante da seleção do modo.

Se o modo lateral é cancelado e o piloto automático permanece engajado, ou quando o piloto automático é engajado sem que os modos laterais estejam selecionados, o sistema mantém o avião fixo na presente condição de arfagem.

Através do controle vertical DN / UP, localizado no painel do piloto automático APP 65, é possível fornecer incrementos à atitude vertical, de maneira a provocar uma primeira mudança de arfagem ou uma razão constante de arfagem se o controle for mantido acionado por mais de um segundo. Os incrementos fornecidos são:

- Modo Básico – 0,5 grau por passo ou 1 grau por segundo, continuamente pressionando a chave.
- IAS – 1 nó por passo.
- ALT – 25 pés por passo.
- V / S – 200 pés / min por passo.

O sistema de sincronização permite ao piloto sobrepujar os controles através do botão PILOTO AUTOM SYNC localizado no manche. Quando pressionado o botão PILOTO AUTOM SYNC, um sinal de sincronismo é aplicado ao computador, que interrompe o engajamento da embreagem dos servos. Soltando o botão PILOTO AUTOM SYNC, é liberado o reengajamento dos servos através do computador que volta a comandar a atividade do modo lateral e sincronismo do ângulo de arfagem para a presente condição. O retorno da atividade do modo lateral é reforçado pelo comando do circuito de suavização.

Os seguintes modos verticais podem ser selecionados para o sistema de Piloto automático/Diretor de vôo:

ALT – Quando o modo ALT (altitude) é selecionado, o piloto automático, em conjunto com o sensor de dados do ar, provê comandos ao sistema para manter a altitude selecionada pR o avião, no momento da seleção do modo.

Os desvios de altitude, no instante em que o modo foi selecionado, são apresentados no ADI como comando de arfagem.

Durante uma apresentação com altitude pré-selecionada, a velocidade vertical será reduzida para 500 pés/minuto ou menos, até a altitude requerida ser alcançada. Nestas condições, o anunciador ALT (verde) iluminar-se-á. O modo ALT pode ser cancelado se os modos IAS ou VS forem selecionados, ou se o botão ALT for pressionado novamente.

Nota – O piloto automático mantém a aeronave na altitude selecionada pela mudança de arfagem da mesma. O piloto deve manter suficiente potência ajustada para garantir uma velocidade de segurança.

PITCH –

O computador APC 65 permanece automaticamente no modo PITCH HOLD, quando o modo vertical não é selecionado. O dado de arfagem presente é verificado e armazenado pelo computador para gerar comandos de direção de arfagem para manter a aeronave no novo ângulo de arfagem referenciado.

A referência do ângulo de arfagem pode ser modificada pelo botão PILOTO AUTOM SYNC no manche. Este botão quando pressionado, interrompe a entrada do computador e desengaja o piloto automático momentaneamente, para permitir ao piloto o controle da aeronave manualmente.

As barras de comando do ADI então provêem comando para manter a nova referência de atitude de arfagem.

Com um modo vertical selecionado (ALT, IAS ou VS), a operação do botão SYNC cancela o modo vertical e sincroniza o sistema com a presente atitude de arfagem.

O botão PILOTO AUTOM SYNC quando pressionado, não cancela o modo vertical durante o rastreamento do Glideslope.

Quando o botão PILOTO AUTOM SYNC é liberado, o piloto automático reengaja e o computador auto-sincroniza o presente (novo) ângulo de arfagem. Os comandos de atitude de arfagem são referenciados para o novo ângulo de arfagem.

IAS – O modo IAS (Velocidade do ar indicada) provê comandos para manter a aeronave a uma velocidade de referência, como a presente no tempo da seleção do modo. O sistema provê comando para o piloto automático, o qual mantém a velocidade de referência da aeronave no momento da mudança de atitude de arfagem. Estes comandos são apresentados pelas barras de comando do ADI. Neste modo, o anunciador IAS (verde) ilumina-se no painel de controle de vôo. O modo IAS pode ser cancelado pela seleção dos modos ALT ou VS, ou – pressionando-se o botão IAS outra vez, ou ainda pelo uso do botão SYNC no manche.

O modo IAS pode ser selecionado durante todos os modos de operação, exceto após a captura do Glideslope no modo APPR.

VS – O modo Velocidade Vertical provê comandos para manter a aeronave na velocidade vertical presente no momento da seleção do modo. Neste modo o anunciador VS (verde) ilumina-se no painel de controle de vôo. O modo VS pode ser cancelado selecionando-se os modos ALT ou IAS, ou pressionando-se o botão VS outra vez ou ainda pressionando-se o botão SYNC no manche. O modo VS pode ser selecionado durante todos os modos de operação, exceto após a captura de Glidespote no modo APPR.

ALT SEL – O modo Altitude Pré-selecionada trabalha em conjunto com o sistema Altitude Alerta. Quando o ALT SEL é selecionado, o sistema é armado para prover comando, o qual dirige a aeronave para a altitude pré-selecionada. Ao alcançar a altitude pré-selecionada, o sistema automaticamente comuta para o modo ALT HOLD, e então funciona como se tal modo tivesse sido selecionado no painel. Os anunciadores ALT (verde) e ARM (branco) se iluminarão.

GA – Arremetida (Go Around)

Nota – O modo Arremetida (GA) pode ser selecionado a qualquer tempo, bem como interromper a aproximação. O sistema do piloto automático permite aos pilotos escolher uma arremetida (GA) desacoplada usando somente o Diretor de Vôo.

O modo Arremetida (GA) é um modo de cabrar fixado em sete graus de arfagem, o qual é selecionado pressionando-se o botão ARREM, localizado na manete de potência. O modo arremetida (GA), com o PA desacoplado, pode ser selecionado em qualquer modo lateral, quando usando diretor de vôo e é cancelado pela seleção de um modo lateral. O modo Arremetida (GA), com PA engajado, poderá ser acoplado somente no modo aproximação (APPR) e desacoplado como no caso do diretor de vôo. O sistema é internamente sincronizado para a atitude de arfagem da aeronave, no período de arremetida e manterá o comando do ângulo de arfagem após ter sido selecionado um modo lateral.

A operação do botão PILOTO AUTOM SYNC cancelará o modo GA e sincronizará o comando vertical à altitude da aeronave.

O reengajamento do piloto automático durante a condição de arremetida (GA), cancela este modo e sincroniza os comandos do piloto automático para o ângulo de arfagem da aeronave no instante do engajamento e mantém a asa nivelada.

CLIMB (subida) – Antes de selecionar o modo CLIMB, a altitude desejada deve ser selecionada no pré-seletor de altitude. Quando o modo CLIMB é selecionado, o piloto automático começa uma subida gradual, estabilizando-se em uma velocidade indicada, definida pelo perfil de subida. Este perfil é uma constante de 155 KIAS até 20.000 pés e decresce com uma razão de aproximadamente 2 kts / 1000 pés para 140 KIAS até 27.500 pés.

Quando a altitude é capturada, o sistema engaja automaticamente o modo de altitude HOLD (ALT) e o modo CLIMB é cancelado. Os anunciadores CLM e ALT ARM acendem quando o modo é selecionado.

Nota – Se o modo CLIMB for selecionado a uma velocidade abaixo da padrão do perfil de subida, o piloto automático diminuirá a razão de subida para 50 pés por minuto de modo a aumentar a velocidade aerodinâmica do perfil de subida. O piloto tem a responsabilidade de manter a potência adequada para garantir um perfil padrão de velocidade de subida.

DSC (descida)
– Antes de selecionar o modo DSC, a altitude desejada deve ser selecionada no pré-seletor de altitude.

Quando o modo de descida (DSC) é selecionado, o piloto automático começa a descida gradual, estabilizando em uma razão média de 2000 pés por minuto.

O piloto pode variar a razão de descida operando a chave do controle vertical (DN / UP). Os anunciadores DSC e ALT ARM acendem quando este modo é selecionado.

Teste do sistema

Teste no solo – Ao pressionar-se o botão TEST, no painel de controle de vôo FCP65, todos os anunciadores de modo iluminam-se e apagam dentro de alguns segundos, ficando aceso apenas o anunciador GA, indicando não uma falha, mas uma condição perfeita de teste no solo. Ao pressionar o botão TEST novamente, o anunciador GA apaga-se.
Teste em vôo – É realizado pressionando-se continuamente o botão TEST. Todos os anunciadores se acendem, e se apagam em seguida , exceto em caso de falha. Liberando-se o botão TEST, os anunciadores voltam à condição normal de vôo.

BANDEIRAS DO MONITOR DO DIRETOR DE VÔO		
Luz anunciadora	**Indicação**	**Cor**
AP	Falha do Servo de Arfagem	Verde
DIS(AP)	Falha do Servo de Rolagem	Âmbar
YAW	Falha do Servo do Compensador	Verde
DIS (YAW)	Falha do Servo de Guinada	Âmbar
HDG	Falha do Cartão Compasso	Verde
NAV	Falha do Giro	Verde
ARM (NAV)	Falha do Monitor do Giro Cosseno	Branca
DR	Falha dos Sensores de Dados Ambientais	Verde
B / C	Falha do Temporizador do Computador	Verde
ALT	Falha de Energia Elétrica no Computador	Verde
ALT / ARM	Falha da Barra Serial de Dados do Computador	Verde
GS	Falha da Memória do Computador ou Controle Seqüencial de Espera	Verde
ARM (GS)	Falha do Comando Integrado de Arfagem e Rolamento	Branca
IAS	Falha da Razão do Teste do IAS	Verde
GA	Indicador de Teste de Solo (não indica falha)	Verde
TRIM	Falha do Pré-engajamento	Branca

SISTEMA DE REFERÊNCIA DE ATITUDE E PROA

O Sistema de Referência de Atitude e Proa COLLINS AHRS-85, sente a velocidade angular e a aceleração linear sobre os três eixos do avião e processa esses dados, juntamente com a informação de compensação do diretor de fluxo, a fim de fornecer a indicação de atitude e proa do avião.

O sistema envia sinais para o piloto automático, diretor de vôo, radar e RMI. A aeronave possui dois sistemas idênticos e independentes.

Descrição e localização dos componentes

Cada AHRS consiste de:

- Um computador AHC-85, instalado no compartimento eletrônico.
- Uma unidade detectora de fluxo FDU-70, instalada na ponta da asa.
- Uma unidade de controle de compensação CCU-65, instalada no painel principal.

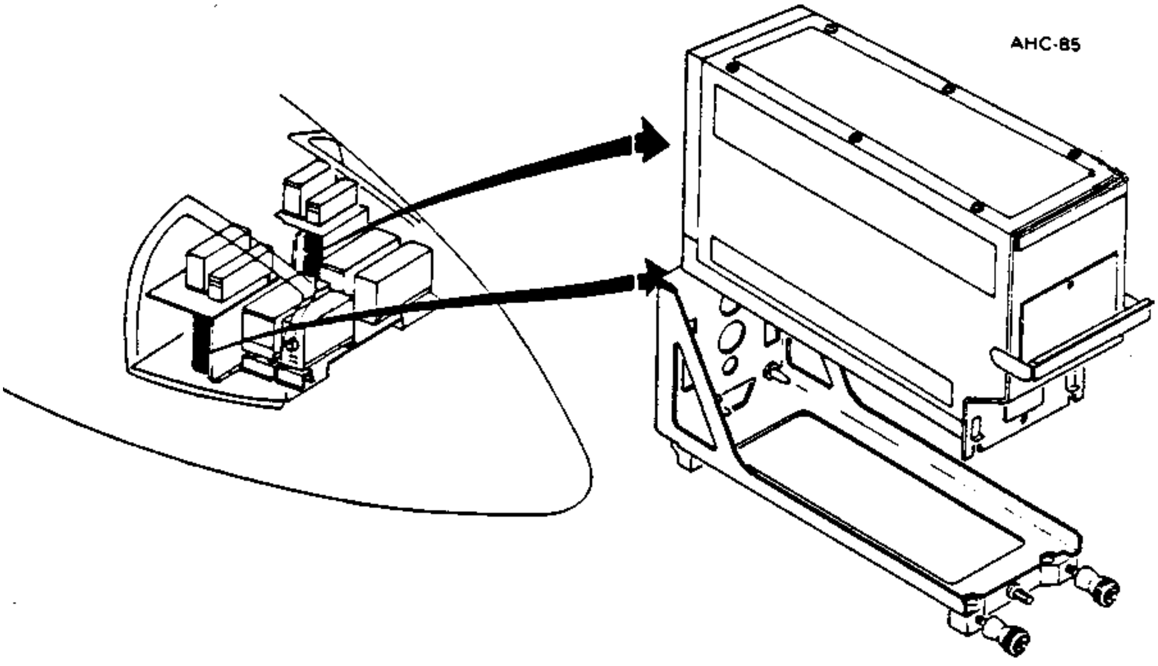


Figura 19-68 Localização do Computador AHC-85

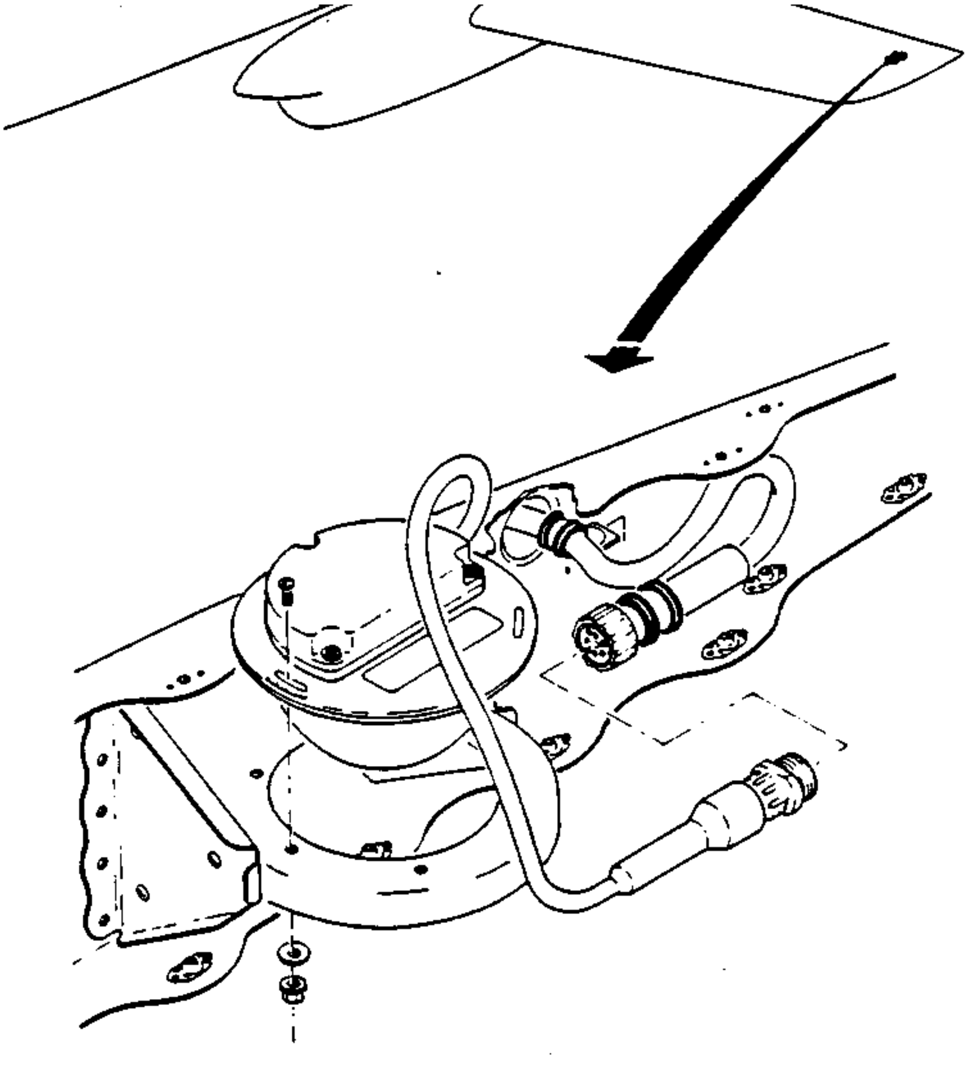


Figura 19-69 Localização do Detector de Fluxo FDU-70

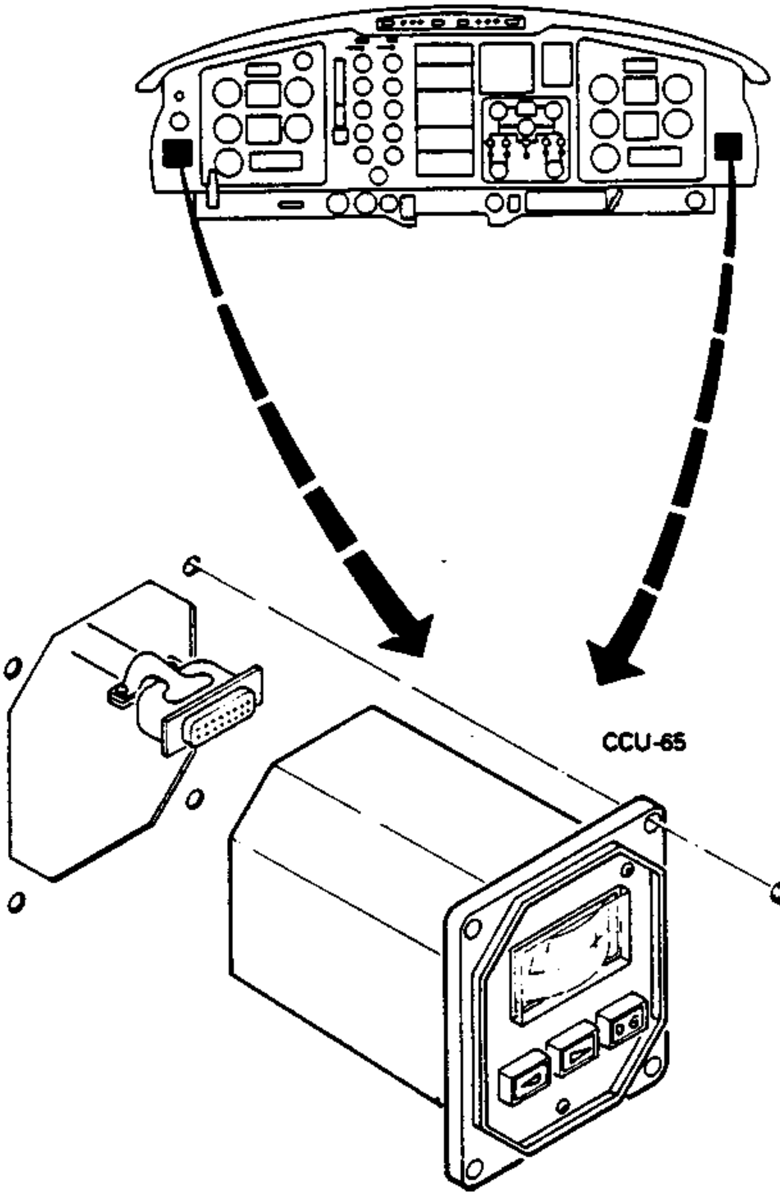


Figura 10-70 Localização da Unidade de Controle e Compensação CCU-65

Computador de Atitude e Proa – O AHC-85 fornece a orientação do avião, gerando uma velocidade angular e uma aceleração linear, através de seus elementos sensores.

O AHC compreende dois sensores inerciais, computação e circuito I/O, necessários para gerar saídas analógicas e digitais.

Os dois sensores inerciais recebem energia e excitação do motor, independentemente. A operação dos sensores é baseada no uso de acelerômetros piezoelétricos. Cada sensor contém quatro elementos piezoelétricos os quais, montados em uma estrutura giratória de velocidade constante, fornecem sinais de velocidade e aceleração.

Dois elementos sensores de velocidade, montados ortogonalmente em um eixo giratório, medem a velocidade angular e dois elementos sensores de aceleração, montados ao longo do eixo giratório do conjunto sensor, medem a aceleração linear.

Um sensor mede a razão de inclinação e guinada, PITCH e YAW e o outro mede o rolamento e guinada, ROLL e YAW.

Deste modo, o único risco de perder a informação de proa é a falha de ambos os sensores.

O AHC-85 recebe sinal do detector de fluxo - FDU e do sensor de dados do ar – ADS.

Cada computador recebe um sinal indicador de condição de vôo ou de solo, de um sensor, instalado no amortecedor do trem de pouso (esquerdo e direito), para determinar o tempo de inicialização do sistema.

Cada computador envia os seguintes sinais:

- Sinal discreto de validade de atitude (ATT-VALID) para o computador do piloto automático.
- Sinal discreto de validade de proa (HDG-VALID) para o computador do piloto automático, unidade de processamento HPU-74 e RMI-36.
- Sinal síncrono de proa para o RMI-36.
- Sinais de rolamento e arfagem, razão de rolamento, razão de arfagem, razão de curva, aceleração normal, aceleração lateral para o computador do piloto automático.
- Sinais de excitação para o detector de fluxo FDU-70 e unidade de controle e compensação CCU-65.
- Sinal para a respectiva lâmpada de teste, de modo a indicar aos pilotos que o computador está realizando seu teste interno.

Somente o AHC 1 envia sinais de arfagem e rolamento para estabilização da antena de radar RDS 82.

A alimentação do AHC 1 é feita pela barra de emergência, enquanto que, o AHC 2 é alimentado pela barra principal. No caso da tensão em qualquer das barras cair abaixo dos valores normais, a bateria de emergência assume a alimentação do AHC, até que a tensão primária volte ao valor normal.

A alimentação de 28 V/400 Hz do AHC 1 é feita pela barra de emergência enquanto que o AHC 2 é alimentado pela barra principal.

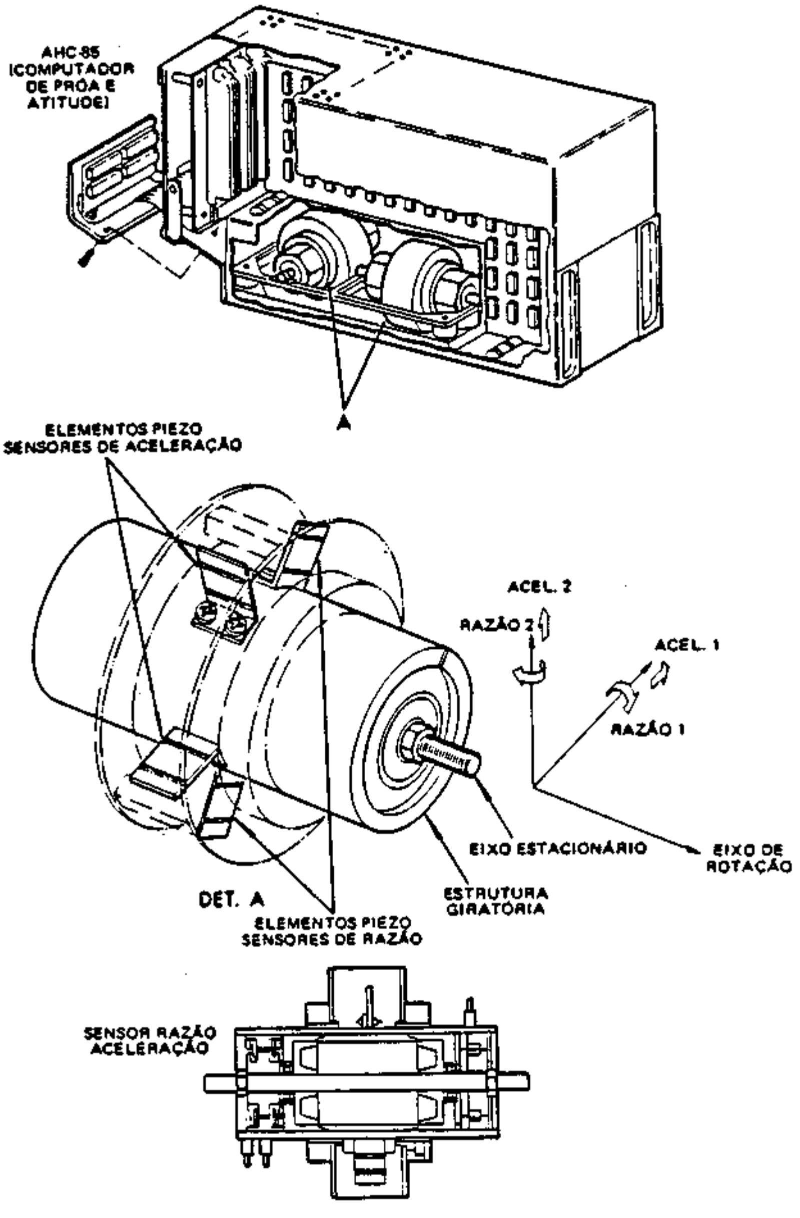

AHC-85
(COMPUTADOR DE PROA E ATITUDE)
A
ELEMENTOS PIEZO SENSORES DE ACELERAÇÃO
ACEL. 2
RAZÃO 2
ACEL. 1
RAZÃO 1
EIXO ESTACIONÁRIO
EIXO DE ROTAÇÃO
ESTRUTURA GIRATÓRIA
DET. A
ELEMENTOS PIEZO SENSORES DE RAZÃO
SENSOR RAZÃO ACELERAÇÃO

Figura 19-71 Computador de proa e atitude AHC-85

Unidade detectora de fluxo – O detector de fluxo FDU-70, é um sensor que consiste de duas bobinas montadas ortogonalmente, suspensas, no plano horizontal. Este sensor percebe e converte a componente horizontal do campo magnético da terra, em sinais elétricos, como componentes de seno e cosseno.

O computador envia um sinal de excitação às bobinas do detector de fluxo e processa a saída do detector, a fim de obter informação de proa magnética.

As detectoras de fluxo estão instaladas uma em cada ponta de asa, alinhada com o eixo longitudinal do avião.

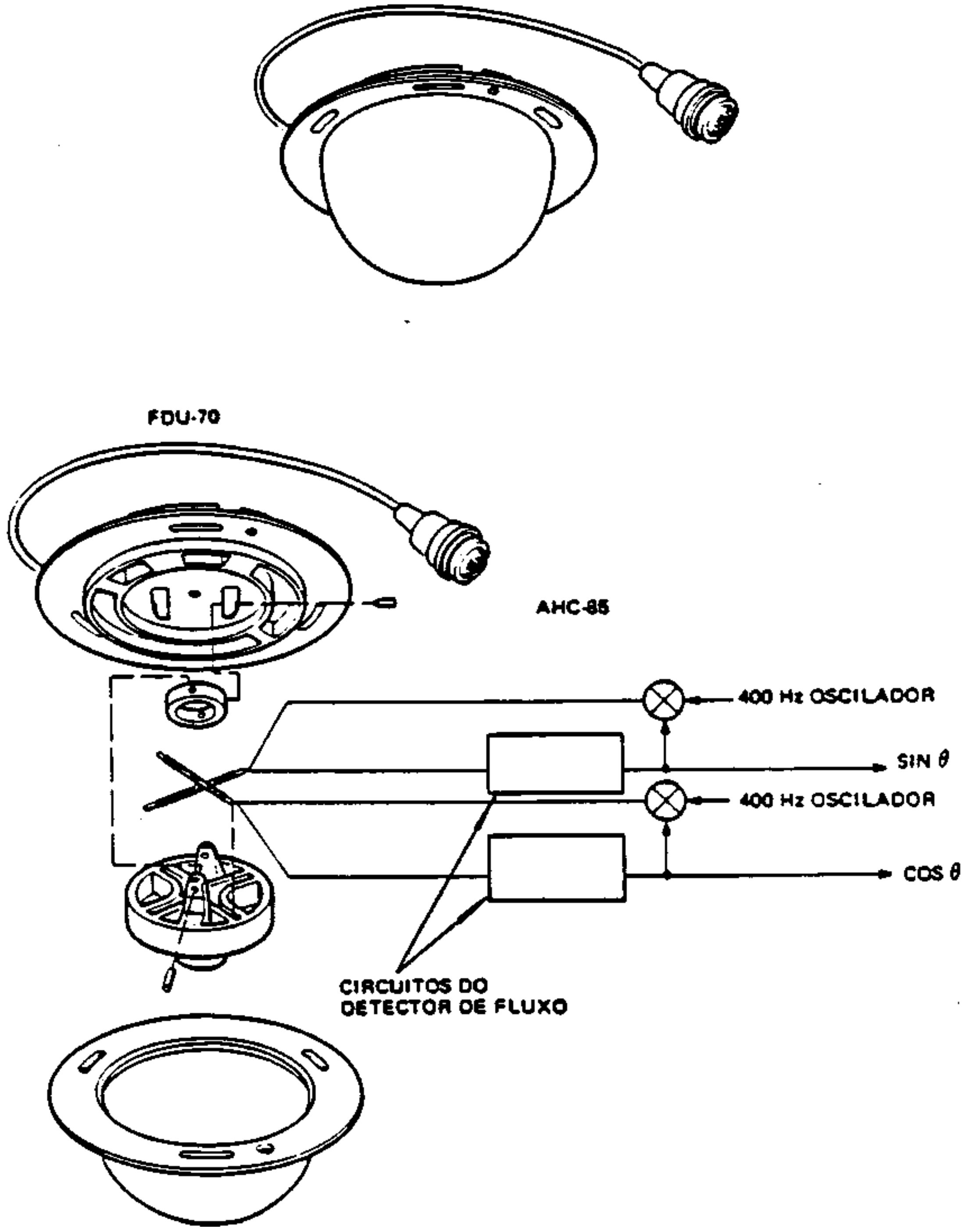


Figura 19-72 Detector de fluxo

Unidade de Controle e Compensação – É uma unidade usada para controle e compensação do sistema. Estas unidades estão instaladas no painel principal, uma para cada piloto.

A CCU-65 possui ajustes do SLAVE, um botão (Push-button) do modo de operação DG, um INDICADOR SLAVE e dois PUSH-BUTTONS SLEW.

a) Ajustes de SLAVE – São três potenciômetros usados para compensação do sistema compasso. A unidade possui seis pontos de testes que auxiliam na compensação.

b) Botão do modo DG (Giro Direcional) – Seleciona, no AHC-85, dois modos de operação do giro, o DG ou modo SLAVE. Quando selecionado o modo DG, o PUSH-BUTTON iluminar-se-á, e a informação do detector de fluxo não é utilizada. No modo SLAVE, o giro é acoplado ao detector de fluxo.

c) Indicador de SLAVE – Fornece uma indicação visual do estado de escravização do giro dentro do AHC-85, com respeito ao campo magnético sentido pelo detector de fluxo FDU-70. Após o modo SLAVE ter sido selecionado, A agulha do indicador de SLAVE oscila em torno da posição central. Após o modo DG ter sido selecionado, a agulha move-se para a esquerda ou para a direita, indicando a direção do erro ocorrido.

d) Botão SLEW – São usados para correções periódicas do desvio do giro e serão operados somente quando o modo DG for selecionado.

e)

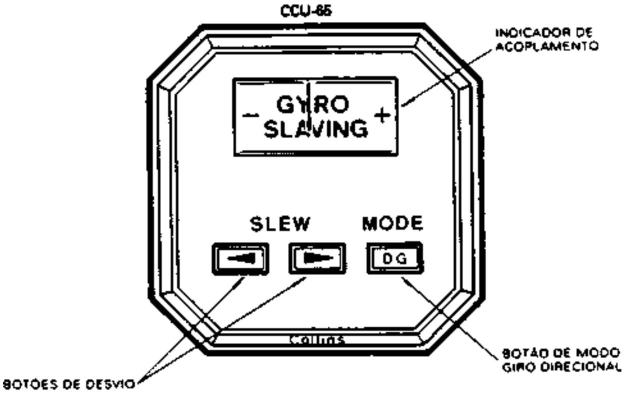

CCU-65
INDICADOR DE ACOPLAMENTO
– GYRO SLAVING +
SLEW
MODE
DG
Collins
BOTÕES DE DESVIO
BOTÃO DE MODO GIRO DIRECIONAL

Figura 19-73 Unidade de controle e compensação CCU-65

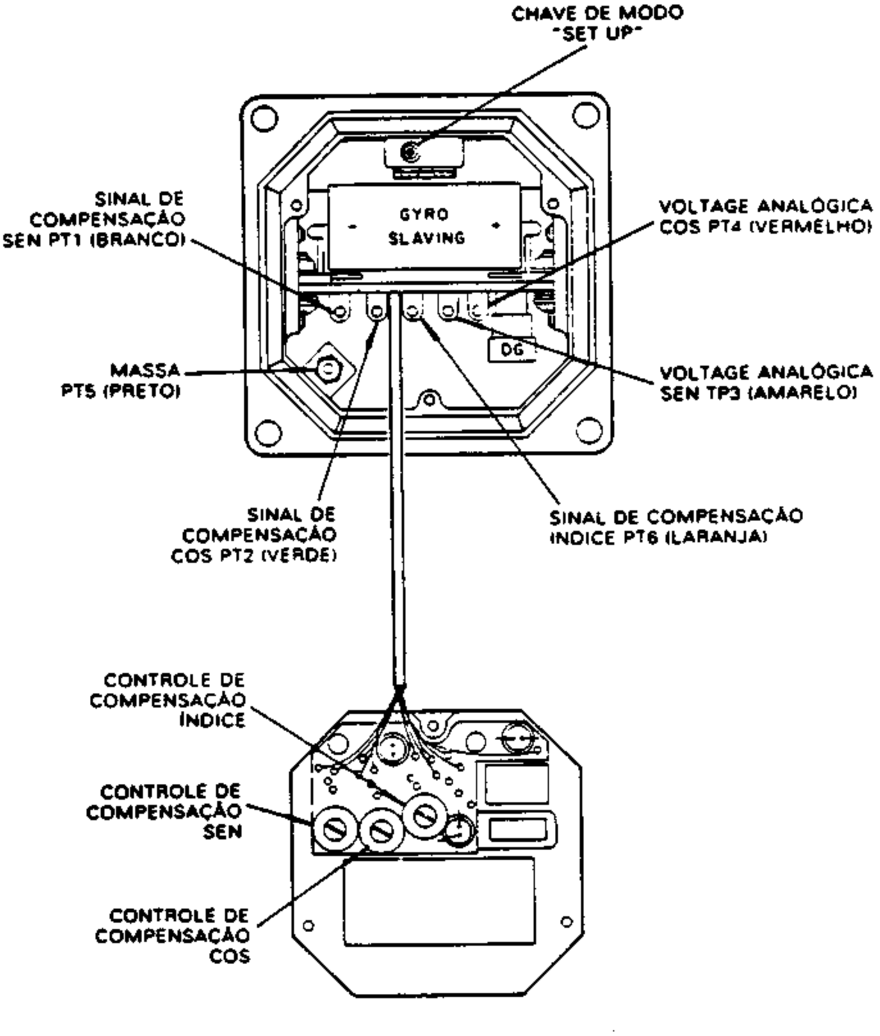

CHAVE DE MODO "SET UP"
SINAL DE COMPENSAÇÃO SEN PT1 (BRANCO)
GYRO
SLAVING
VOLTAGE ANALÓGICA COS PT4 (VERMELHO)
MASSA PT5 (PRETO)
DG
VOLTAGE ANALÓGICA SEN TP3 (AMARELO)
SINAL DE COMPENSAÇÃO COS PT2 (VERDE)
SINAL DE COMPENSAÇÃO INDICE PT6 (LARANJA)
CONTROLE DE COMPENSAÇÃO ÍNDICE
CONTROLE DE COMPENSAÇÃO SEN
CONTROLE DE COMPENSAÇÃO COS

Figura 19-74 Controle de compensação e pontos de testes –CCU-65

Operação do sistema

Os sistemas de atitude e proa são energizados desde que as barras de 28 VCC (principal e emergência) e as barras de 26 VCA (emergência e principal) estejam energizadas e os respectivos disjuntores pressionados.

Em aproximadamente 70 segundos as bandeiras vermelhas de proa (HDG) e atitude (ATT-FAIL) desaparecem e as informações de validade de atitude e proa são fornecidas no EADI e EHSI.

O sistema opera não escravizado pelo detector de fluxo. Ambos os modos de operação são selecionados através do PUSH-BUTTON DG, na unidade de controle e compensação CCU-65.

a) Operação com Giro Escravizado (GIRO SLAVE) – Em condição normal, o sistema permanece acoplado ao detector de fluxo. No modo SLAVE, o PUSH-BUTTON DG, não é iluminado; um sinal é enviado para o computador, o qual utiliza informação do detector de fluxo. A indicação de giro escravizado é mostrada através da agulha do medidor, a qual oscila em torno da posição central.

b) Operação Giro não Escravizado – Quando o PUSH-BUTTON DG é pressionado ele ilumina-se e um sinal é enviado ao computador, o qual não utiliza o sinal do detector de fluxo. Quando o giro não é escravizado, apresenta erros que exigem correções periódicas. Esses erros são manualmente corrigidos através dos botões SLEW de ação momentânea. O botão SLEW da esquerda deve ser pressionado caso a agulha, no medidor, apresente um erro à direita. O botão SLEW da direita deve ser pressionado quando a agulha, do medidor, apresentar um erro para a esquerda.

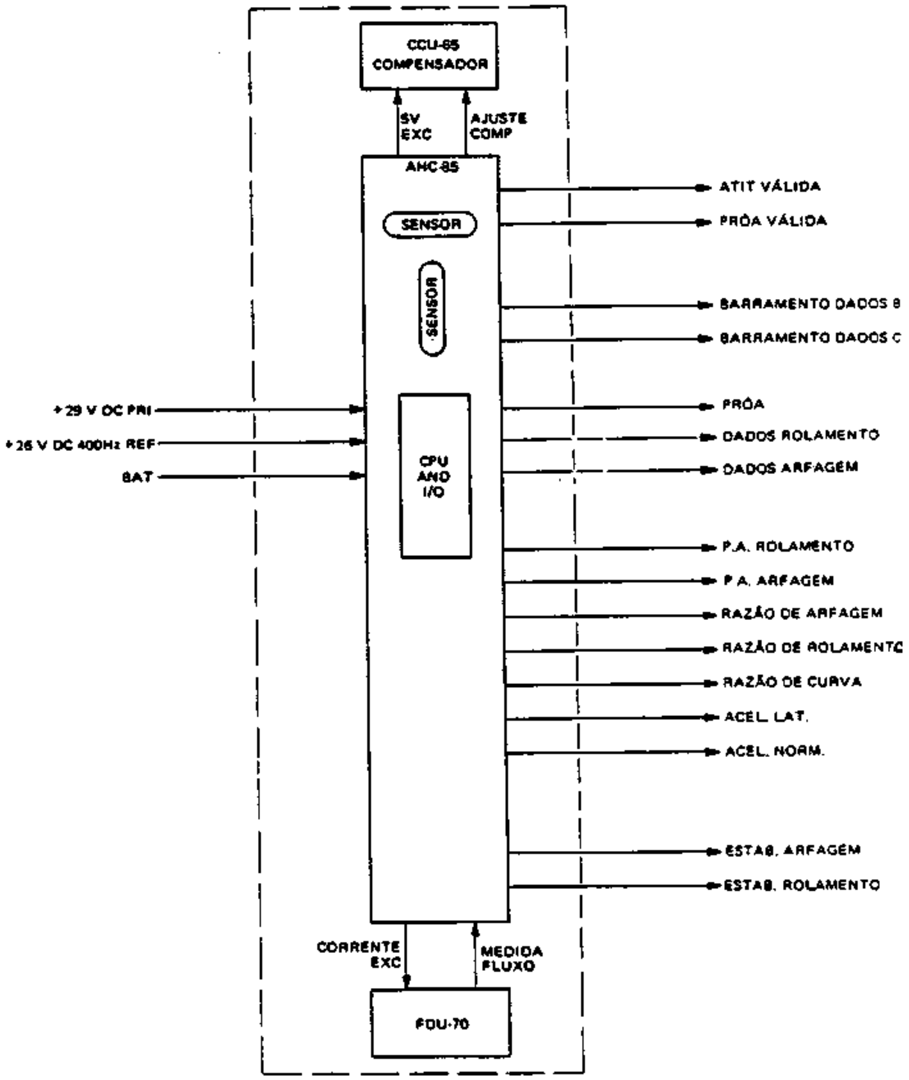

CCU-65
COMPENSADOR
SV
EXC
AJUSTE
COMP
AHC-85
SENSOR
SENSOR
CPU
AND
I/O
+29 V DC PRI
+26 V DC 400Hz REF
BAT
ATIT VÁLIDA
PRÔA VÁLIDA
BARRAMENTO DADOS B
BARRAMENTO DADOS C
PRÔA
DADOS ROLAMENTO
DADOS ARFAGEM
P.A. ROLAMENTO
P.A. ARFAGEM
RAZÃO DE ARFAGEM
RAZÃO DE ROLAMENTO
RAZÃO DE CURVA
ACEL. LAT.
ACEL. NORM.
ESTAB. ARFAGEM
ESTAB. ROLAMENTO
CORRENTE
EXC
MEDIDA
FLUXO
FDU-70

Figura 19-75 Diagrama de bloco do sistema de proa e atitude AHS-85

Verificação Operacional do Sistema - Esta verificação é feita para confirmar se os componentes do sistema estão operando dentro das faixas de tolerância prescritas. O teste verifica se as indicações direcionais correspondem às posições reais do avião, se estão dentro das tolerâncias e se os tempos de recuperação estão dentro dos padrões. Esta verificação deve ser feita nos dois sistemas AHRS e, numa área livre de interferências magnéticas externas como hangares, ductos de ferro, rede elétrica, etc.

Nota: Para a verificação operacional do sistema, é necessário utilizar a fonte estabilizada 28VCC.

1 – Conecte ao avião uma fonte externa de 28 VCC.

2 – Verifique se a chave BATERIA EMERG. no painel de instrumentos, está em DESL.

3 – Posicione a chave SELETOR BATERIA, no painel superior, para FONTE EXTERNA e verifique se a luz situada logo acima da chave acende, indicando que a fonte externa alimenta a barra principal.

4 – Arme os seguintes disjuntores, no painel esquerdo de disjuntores: HPU 1 e HPU 2, EFD 1 e EFD 2, ADI 1 e ADI 2, AHRS 1 e AHRS 2 (CC e CA).

5 – Verifique após 70 segundos (período de inicialização) as seguintes indicações:

- No EFD 1 e EFD 2, o cartão compasso gira no sentido horário de 360º e a bandeira vermelha HDG desaparece.
- No ADI 1 e ADI 2 a bandeira vermelha ATT desaparece, dando lugar às escalas de PITCH e ROLL.

Nota: Se a tecla DG na CCU-65 estiver pressionada, o período de inicialização será de 10 minutos.

6 - Se após o período de inicialização, passo 5, as bandeiras ATT e HDG permanecem visíveis, execute os procedimentos a seguir:

- Desarme os disjuntores CC e CA do sistema AHRS sob teste.
- Posicione e mantenha pressionada a chave AHRS TESTE 1 ou 2, no console lateral direito, para TESTE por 10 segundos e, simultaneamente, rearme os disjuntores.
- Libere a chave e verifique se a indicação do item 5 ocorre no EFD e no ADI do sistema sob teste.

7 – Se após o período de inicialização, passo 5, somente a bandeira ATT permanece visível, a instalação do AHC está incorreta, ocasionando erro de orientação. Verifique se a lâmpada de aviso COMP ATTITUDE está acesa.

8 – Remova o painel que dá acesso ao painel de teste do AHRS, localizado no console lateral direito. Execute o passo 9 e então repita os procedimentos do passo 5.

Nota: Quando o AHC-85 está em modo teste, o anunciador âmbar TESTE AHRS 1 ou TESTE AHRS 2, no painel de cada piloto acenderá a inscrição vermelha STIM, seguida do número de vezes que o botão AHR TESTE é pressionado, aparece no respectivo EFD-74. Se a chave AHRS 1 TESTE ou AHRS 2 TESTE for mantida na posição TEST em qualquer dos passos seguintes, por mais de 32 segundos, o teste será repetido e as bandeiras GYRO e HDG reaparecem.

9 – (1ª pressionada) Posicione e mantenha pressionada a chave AHRS 1 TESTE para a posição TESTE e verifique as seguintes indicações:

- No EFD-74 aparece a bandeira vermelha HDG por 3 segundos, além do ponteiro de curso indicar seguidamente os valores de 15º, 30º e 90º (para a esquerda) e –15º, -30º, -90º (para a direita).
- No ADI-84 aparece a bandeira vermelha GIRO por 3 segundos, além das escalas de PITCH indicarem seguidamente os valores de 02º, 04º e 12º (para cima) e –02º, -04 e –12º (para baixo) e de ROLL 05º, 10º e 30º (para a esquerda) e –05º, -10º e –30º (para a direita).

10 – Se as indicações de PITCH ou ROLL forem superiores a 6º, a lâmpada de aviso amarela COMP ATTITUDE, acende no painel de instrumentos e, para apaga-la, basta posicionar e manter a chave COMP ATTITUDE, situada logo abaixo da lâmpada, para RESET, e solte-a após soltar a chave AHRS 1 TESTE.

11 – (2ª pressionada) Novamente, posicione e mantenha pressionada a chave AHRS 1

TESTE para a posição TESTE e verifique as seguintes indicações:
  - No EFD-74 aparece a bandeira vermelha HDG por 3 segundos, além do cartão compasso do piloto girar 90º no sentido anti-horário e o do co-piloto girar 90º no sentido horário.
  - No ADI-84 aparece a bandeira vermelha GYRO além da escala de ROLL indicar seguidamente os valores do item 8.

12 – Repita o passo 9.

13 – (3ª pressionada) Novamente, posicione e mantenha pressionada a chave AHRS 1 TESTE para TESTE e verifique as seguintes indicações:
  - No EFD-74 aparece a bandeira vermelha GYRO por 3 segundos.
  - No ADI-84 aparece a bandeira vermelha GYRO por 3 segundos, além da escala de PITCH indicar os valores do item 8.

14 – Repita o passo 9.

15 – (4ª pressionada) Novamente, posicione e mantenha pressionada a chave AHRS 1 TESTE para a posição TESTE e, verifique as seguintes indicações;
  - No EFD-74 aparece a bandeira vermelha HDG por 3 segundos, além do ponteiro de curso indicar seguidamente os valores do item 8.

16 – Repita o passo 9.

17 – (5ª pressionada) Novamente, pressione a chave AHRS 1 TESTE e libere-a. Verifique se as bandeiras vermelhas HDG no EFD-74 e GYRO no ADI-84 desaparecem, além do anunciador AHRS TESTE 1 se apagar, indicando o fim do teste.

Nota: Se a chave for pressionada novamente, recomeçará a sequência de teste, que deverá ser realizado até o fim para que o computador saia do modo de teste.

Compensação do AHRS-85 – O sistema deve ser compensado periodicamente ou sempre que o detector de fluxo ou a unidade de controle e compensação forem substituídos ou instalados. Todos os equipamentos, proteções de painéis e outros dispositivos, próximos ao detector de fluxo, devem estar fixos em suas posições normais de vôo.

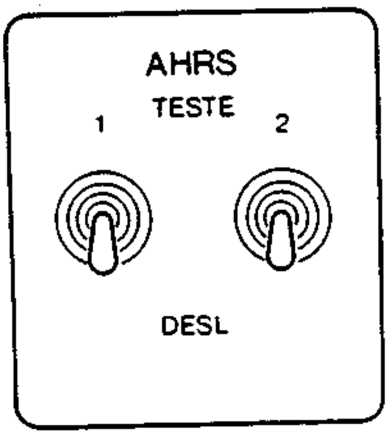


Figura 19-76 Painel AHRS de teste

Todos os controles de vôo devem estar travados. Todos os objetos magnéticos, do pessoal envolvido na compensação, devem ser removidos.

Os ventos devem ter velocidade inferior a 28 km / h (15 kt), quando da realização da compensação.

A “rosa-dos-ventos” deve estar aferida, sendo que o período de aferição da mesma é de 6 meses.

1 – Posicione a aeronave na ”rosa-dos-ventos” com a proa direcionada para o norte.

Nota: Na ausência da “rosa-dos-ventos”, utilize uma bússola-padrão, em uma área livre de interferência magnética, para compensar o sistema.

2 – Remova o painel do CCU-65

Nota: Os procedimentos descritos a seguir devem ser feitos, simultaneamente, nos dois CCU-65. As leituras de prova devem ser feitas nos correspondentes EFD-74.

3 – Pressione a chave de modo SET UP e anote, na correspondente coluna da tabela de compensação, a proa indicada no EFD-74.

Nota: Para fazer esta leitura, o cartão do EFD-74 deve estar estabilizado. Caso isto não ocorra, pressione e solte a tecla DG no CCU-65 e aguarde até que o cartão se estabilize.

4 – Solte a chave SET UP MODE, após ter feito a leitura.

5 – Meça a tensão VCC entre os pontos VOLTAGE ANALÓGICA SEN (terminal amarelo) e o MASSA (terminal preto) e registre o valor encontrado na correspondente coluna SEN da tabela de compensação.

PROA INDICADA (Graus)			TENSÃO VCC			
			1P		2P	
Rosa-dos-Ventos	EFD 1P	EFD 2P	SEN	COS	SEN	COS
Norte 000						
TESTE 090						
SUL 180						
OESTE 270						
Média						
COMPEN						
ÍNDICE						

Tabela de Dados para Compensação

6 – Meça a tensão VCC entre os pontos VOLTAGE ANALÓGICA COS(terminal vermelho) e o MASSA (terminal preto) e registre o valor encontrado na correspondente coluna COS da tabela de compensação.

7 – Repita os procedimentos descritos nos passos 3, 4, 5 e 6 para as proas Leste, Sul e Oeste, registrando os valores encontrados nas correspondentes colunas da tabela de compensação.

8 – Calcule o valor médio entre os valores registrados na coluna SEN (1P) e o valor médio para a coluna SEN (2P) e registre os resultados na linha MÉDIA correspondente.

9 – Multiplique por 8 os resultados encontrados no passo8 e registre os valores na linha COMPEN correspondente.

10 – Proceda analogamente aos passos 8 e 9 para os valores registrados nas colunas COS (1P) e (2P) e registre os valores obtidos nas linhas MÉDIA e COMPEN correspondentes

11 – Meça a tensão VCC entre os pontos de teste SINAL COMPENSAÇÃO SEN (terminal branco) e o massa (terminal preto) e ajuste o potenciômetro CONTROLE COMPENSAÇÃO SEN até obter os valores registrados na linha COMPEN da tabela de compensação, para cada CCU-65 (1P) e (2P).

12 – Meça a tensão VCC entre os pontos de teste SINAL COMPENSAÇÃO COS (terminal verde) e o MASSA (terminal preto) e ajuste o potenciômetro CONTROLE COMPENSAÇÃO COS até obter os valores registrados na linha COMPEN da tabela de Dados para Compensação CCU-65 (1P) e (2P).

13 – Pressione a chave SET UP MODE e ajuste, caso necessário, o potenciômetro CONTROLE COMPENSAÇÃO ÍNDICE até obter a indicação exata de 270º no EFD-74 correspondente.

14 – Solte a chave SET UP MODE após ter feito este ajuste.

15 – Meça a tensão VCC entre os pontos SINAL COMPENSAÇÃO ÍNDICE (terminal laranja) e o MASSA (terminal preto) para cada CCU-65 (1P) e (2P) e anote os valores obtidos na linha ÍNDICE da tabela de Dados para Compensação.

16 - Pressione a chave SET UP MODE.

PROA INDICADA NA ROSA-DOS-VENTOS (Graus)	DESVIO DE PROA			
	EFD (1P)	EFD (2P)	RMI (1P)	RMI (2P)
270				
315				
000				
045				
090				
135				
180				
225				

Tabela de Verificação da Compensação

17 - Verifique os desvios residuais de proa entre as leituras efetuadas no EFD (1P) e (2P), RMI (1P) e (2P) e as correspondentes proas indicadas na rosa-dos-ventos e registre os valores obtidos nas correspondentes colunas da tabela de Verificação da Compensação. Os desvios não devem ser maiores que ±2º

Nota: Para fazer estas leituras, o cartão do EFD-74 deve estar estabilizado. Caso isto não ocorra, pressione e solte a tecla DG do CCU-65 e aguarde até que o cartão se estabilize. Observar que a posição final não seja no modo DG.

SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE VÔO – FIS

Introdução

O sistema de Instrumentação de Vôo – FIS mostra aos pilotos as indicações essenciais do sistema de Atitude e Proa AHRS-85 e de Navegação VOR / ILS.

Descrição e localização dos componentes

O Sistema FIS consiste de:

- Dois indicadores diretores de vôo ADI-84
- Um computador comparador CWC-85
- Dois indicadores eletrônicos de vôo EFD-74
- Dois painéis de controle HCP-74
- Duas unidades processadoras HPU-74.

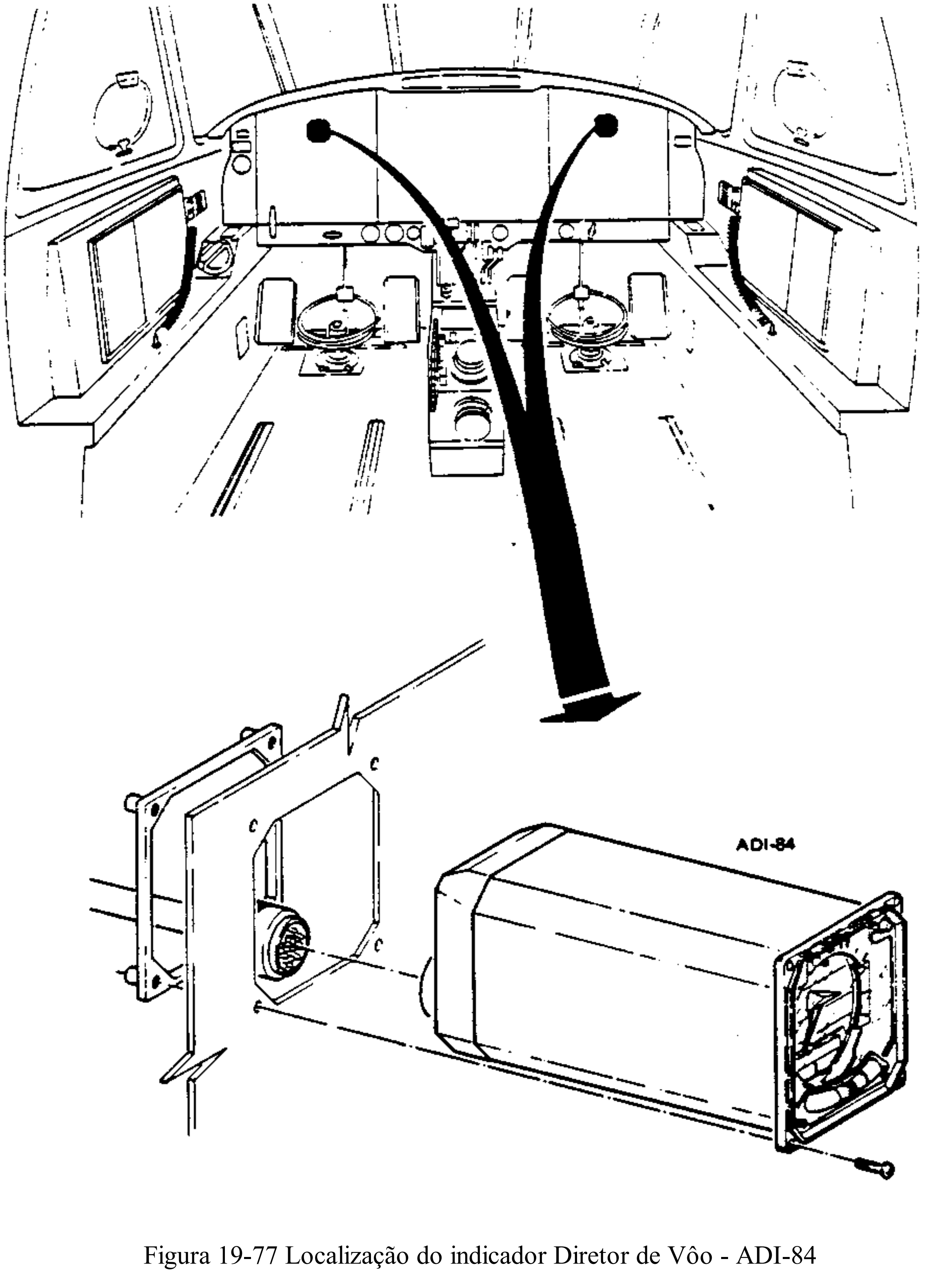


Figura 19-77 Localização do indicador Diretor de Vôo - ADI-84

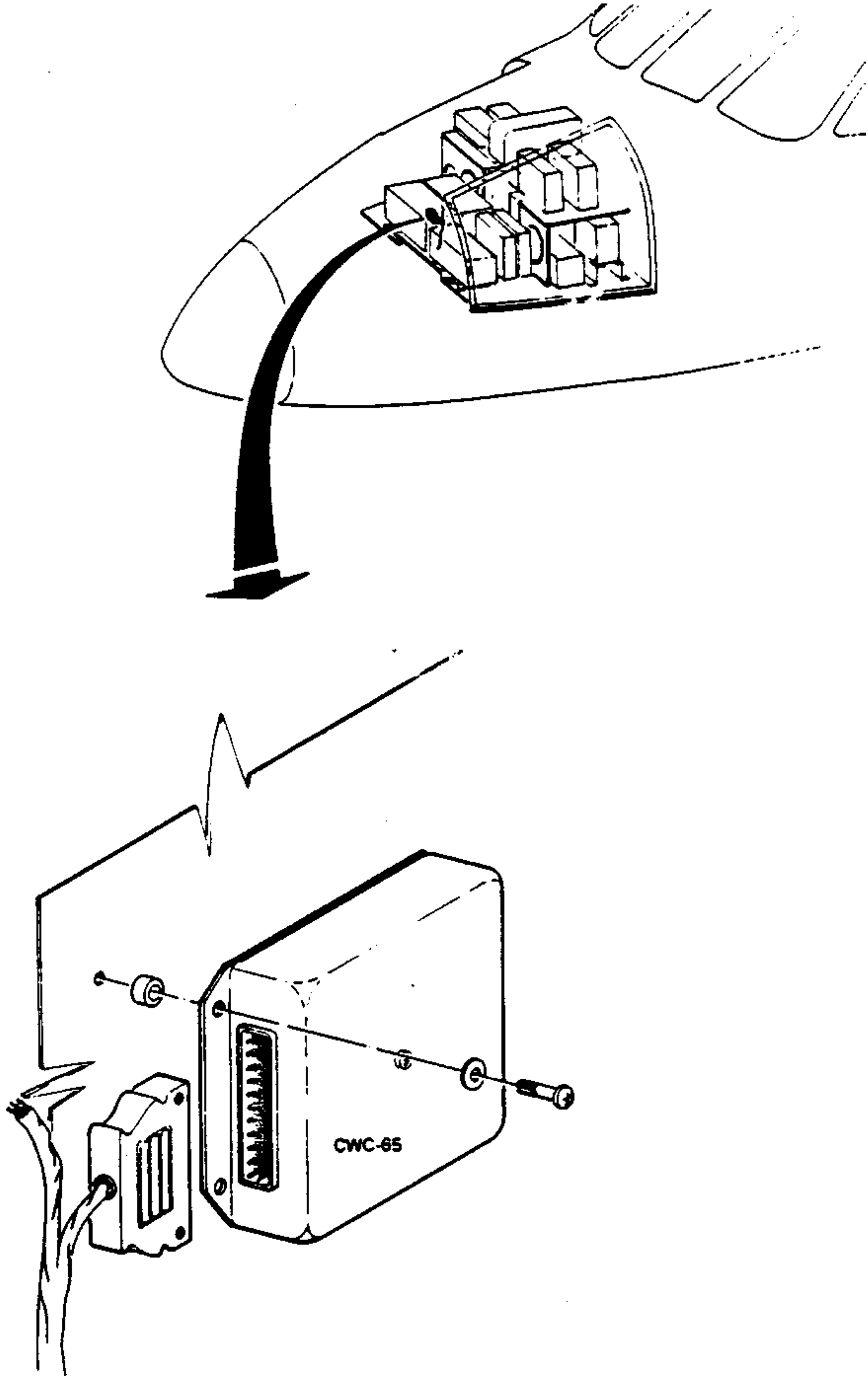


Figura 19-78 Localização do Computador Comparador de Alarme CWC-85

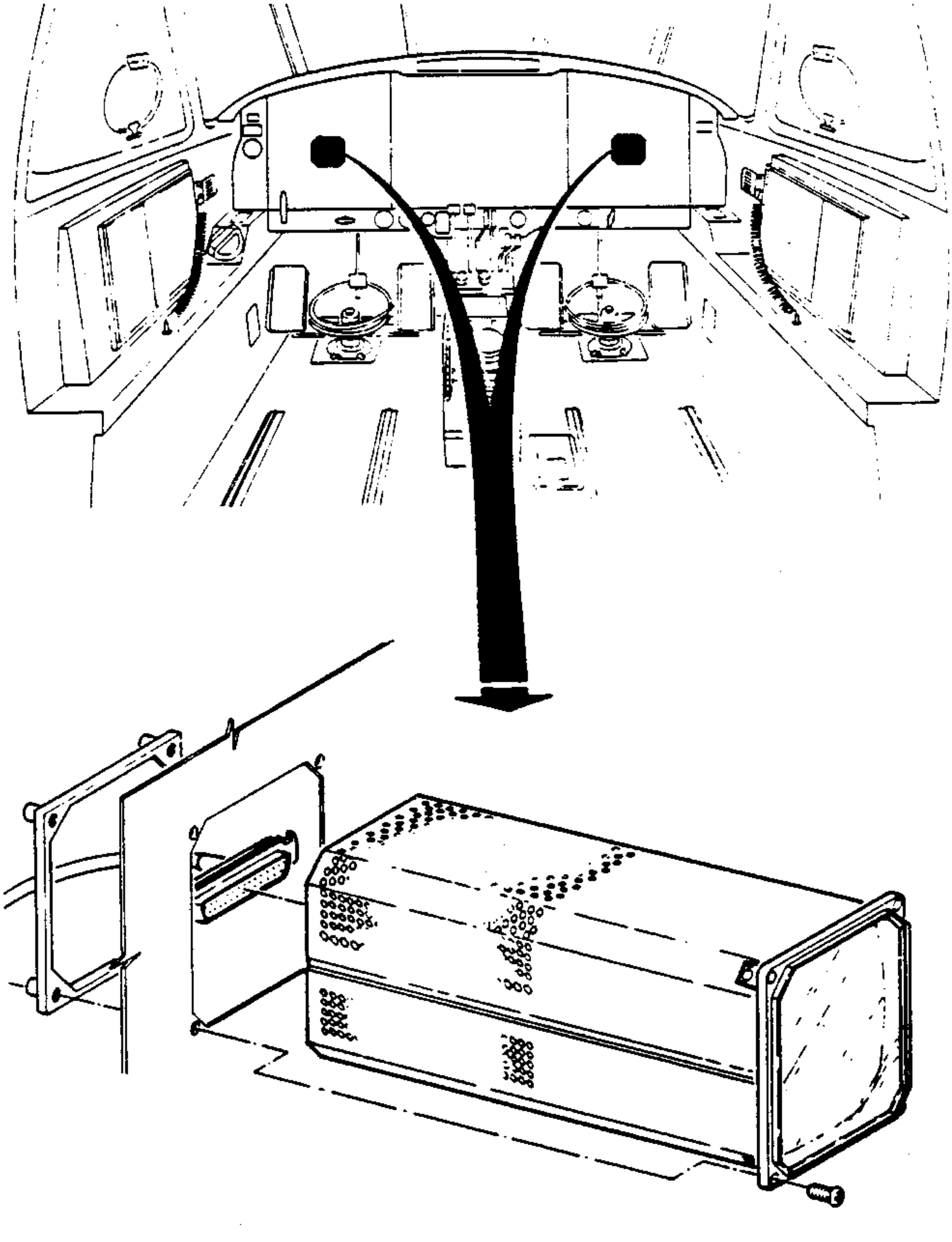


Figura 19-79 Localização do Indicador Eletrônico de Vôo EFD-74

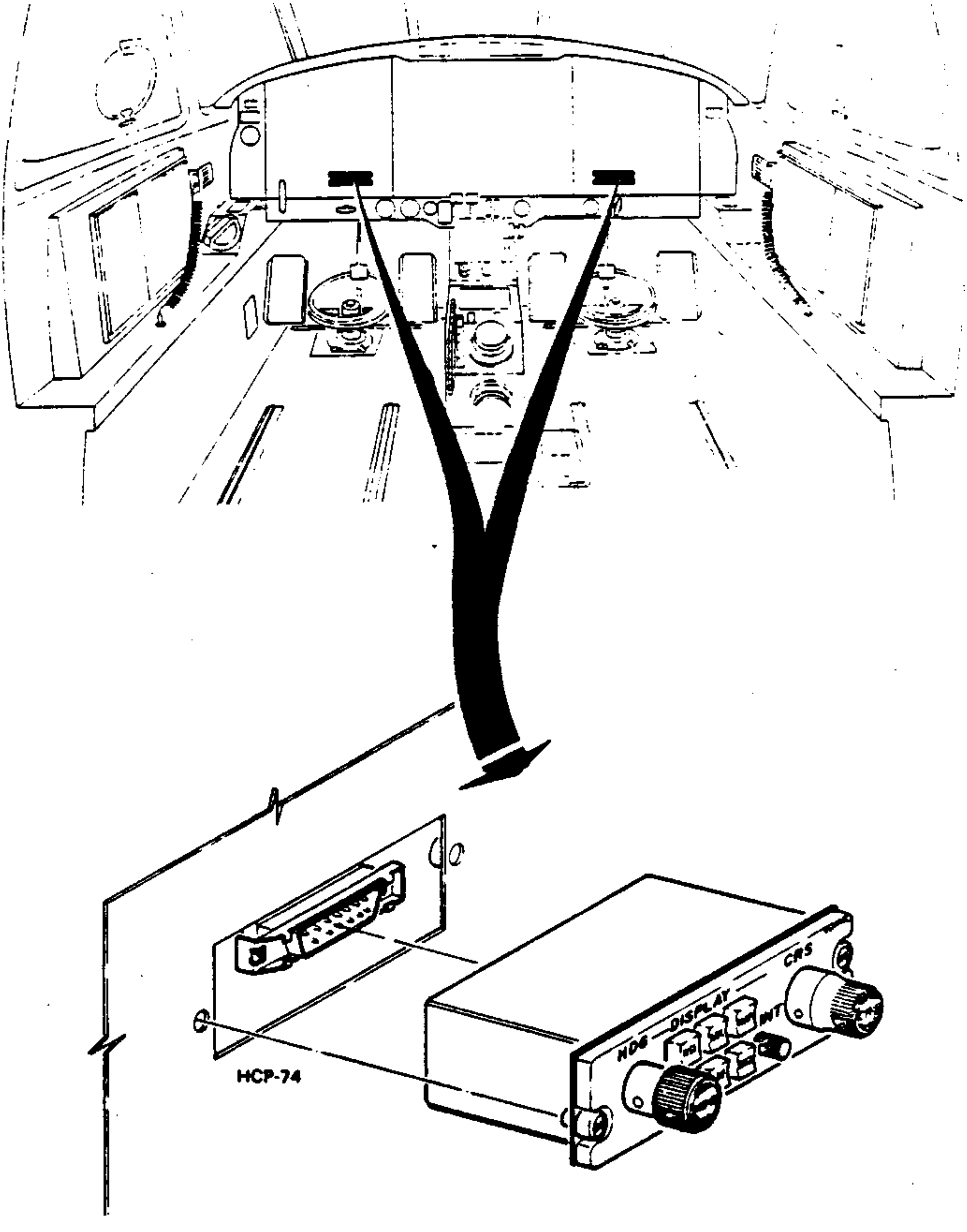

HCP-74
HDG
DISPLAY
INT
CRS

Figura 19-80 Localização do Painel de Controle de Proa HCP-74

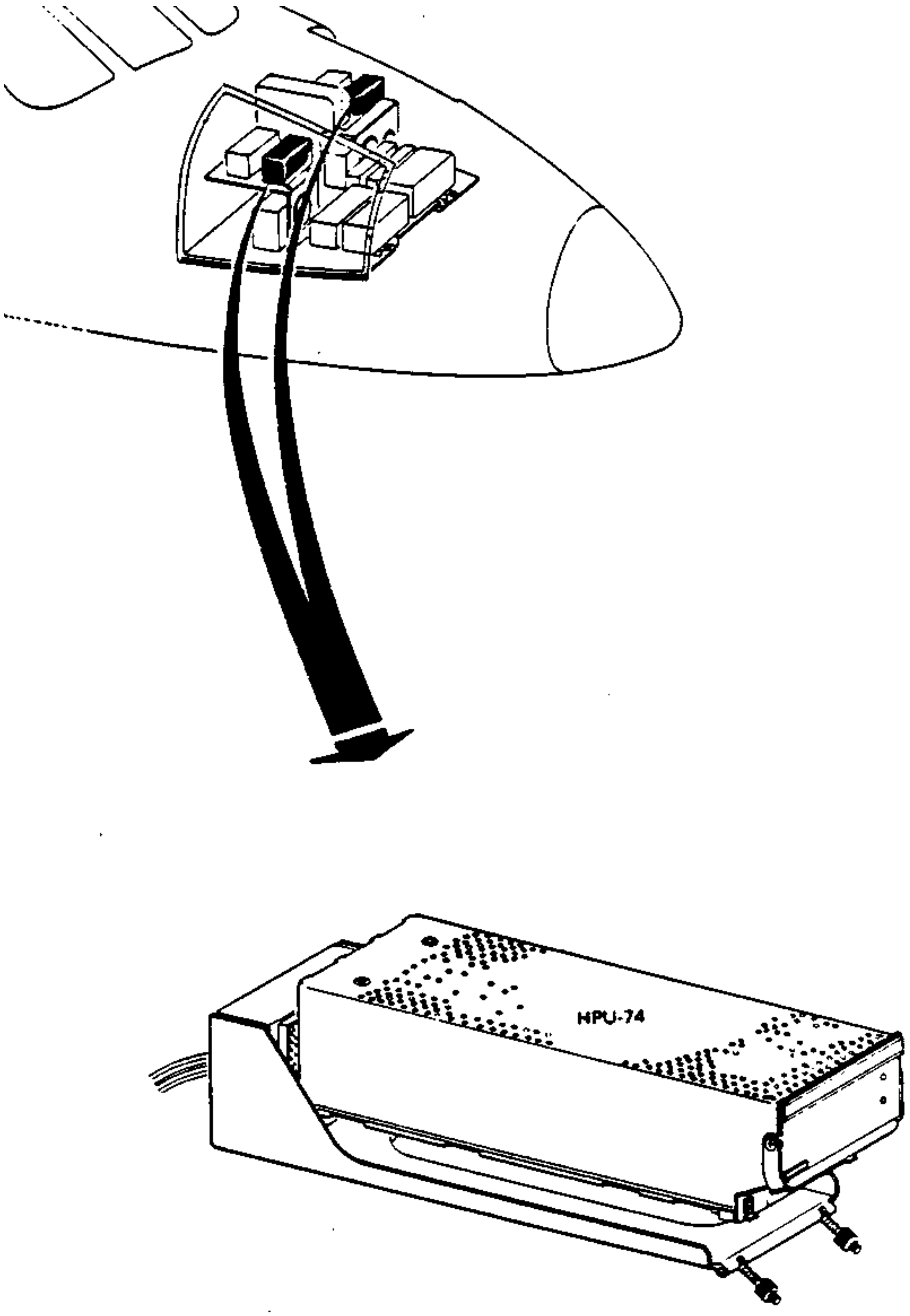


Figura 19-81 Localização da Unidade de Processamento HPU-74

Indicador Diretor de Vôo – ADI-84

Este é um instrumento eletromecânico alimentado por 26CA.

O indicador Diretor de Vôo é um instrumento de múltipla função, que fornece informações de atitude e trajetória de vôo da aeronave sob a forma de indicações simbólicas e visão direta. O indicador fornece informações de arfagem e de rolamento a partir dos dados enviados pelo computador AHRS-85. Também são fornecidas pelo indicador, informações referentes ao controle manual da aeronave por parte dos pilotos, baseadas nos sinais enviados pelo computador APC-65B do sistema de piloto automático.

O indicador fornece informações do sistema VOR / ILS a partir dos sinais enviados pelo sistema VIR-31A.

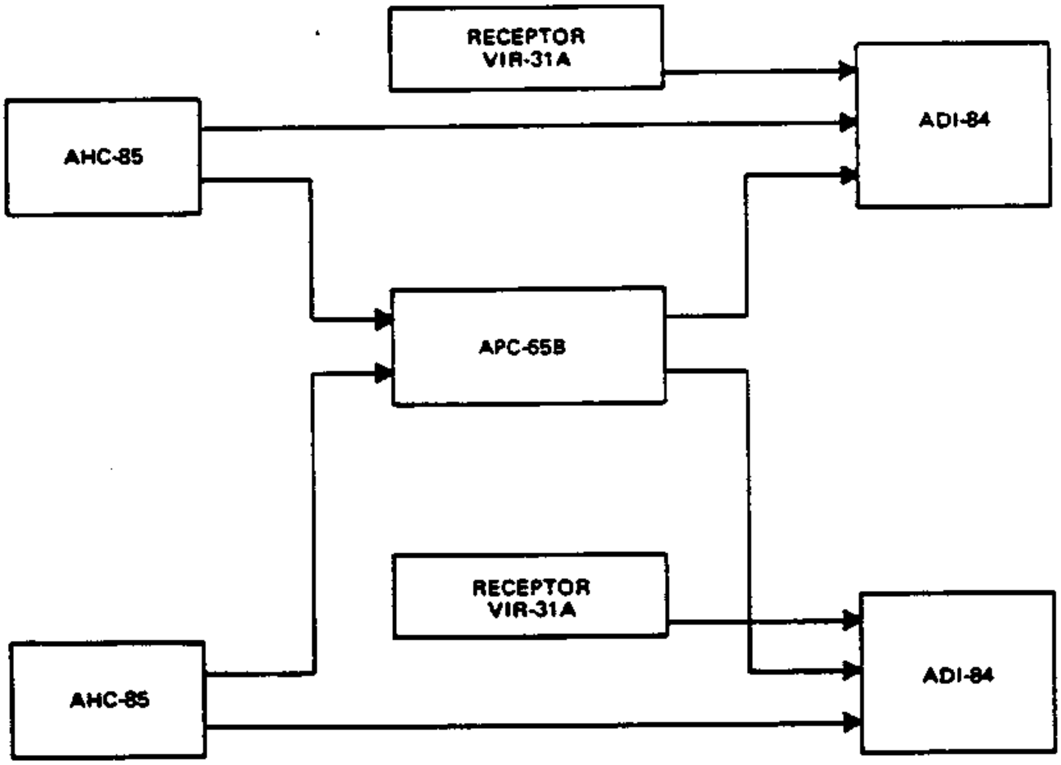


Figura 19-82 Sistema diretor de vôo

O indicador DIRETOR DE Vôo ADI-84 possui as seguintes funções:

Indicador de atitude – A atitude do avião é mostrada como uma relação entre o símbolo do avião representado por um triângulo laranja e uma fita flexível, que é movimentada em rolamento e arfagem. A fita é colorida acima e abaixo da linha do horizonte para representar o céu e a terra, e é marcada para mostrar ângulos de arfagem em 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 e 90 graus para cima ou para baixo. O rolamento é indicado por um ponteiro móvel contra uma escala graduada em 0, 10, 20, 30 e 60 graus, fixa.

Barras de comando – Mostra os comandos direcionais integrados (arfagem e rolamento) provenientes dos computadores de vôo APC-65B. São duas barras amarelas formando a letra "V" invertida e estão à frente do avião-miniatura. As barras podem desaparecer de vista no indicador, quando estão fora de uso.

Ponteiro do desvio de GLIDESLOPE – O ponteiro verde mostra, numa escala branca, o grau de afastamento do avião em relação ao feixe eletrônico de GLIDESLOPE.

Ponteiro do desvio de LOCALIZER – O ponteiro verde mostra, numa escala branca, o desvio da aeronave com relação ao feixe eletrônico do LOCALIZER.

Inclinômetro – Fornece informação adicional do movimento de inclinação, derrapagem ou vôo coordenado.

As bandeiras de aviso do ADI-84 são as seguintes:

Bandeira GS – A bandeira vermelha de aviso de GLIDESLOPE aparece para indicar que o sinal de GLIDESKOPE não é confiável. A escala e o ponteiro ficam obscurecidos parcialmente pelas letras GS.

Bandeira COMPUTER – A bandeira vermelha de aviso aparece para alertar ao piloto que as indicações da barra de comando não são confiáveis. As barras de comando desaparecem.

Bandeira GYRO – A bandeira vermelha de aviso indica falta de alimentação de atitude ou que os circuitos internos apresentam falha ou ainda que o sinal de monitor não está presente. Todas as indicações e o ponteiro de rolamento estarão fornecendo informações não confiáveis.

Obturador do Ponteiro de LOCALIZER – O obturador, de cor preta, aparece na frente do ponteiro de LOCALIZER para alertar ao piloto que o sinal de LOCALIZER está perdido ou o sinal é tão fraco que a sua indicação não é confiável.

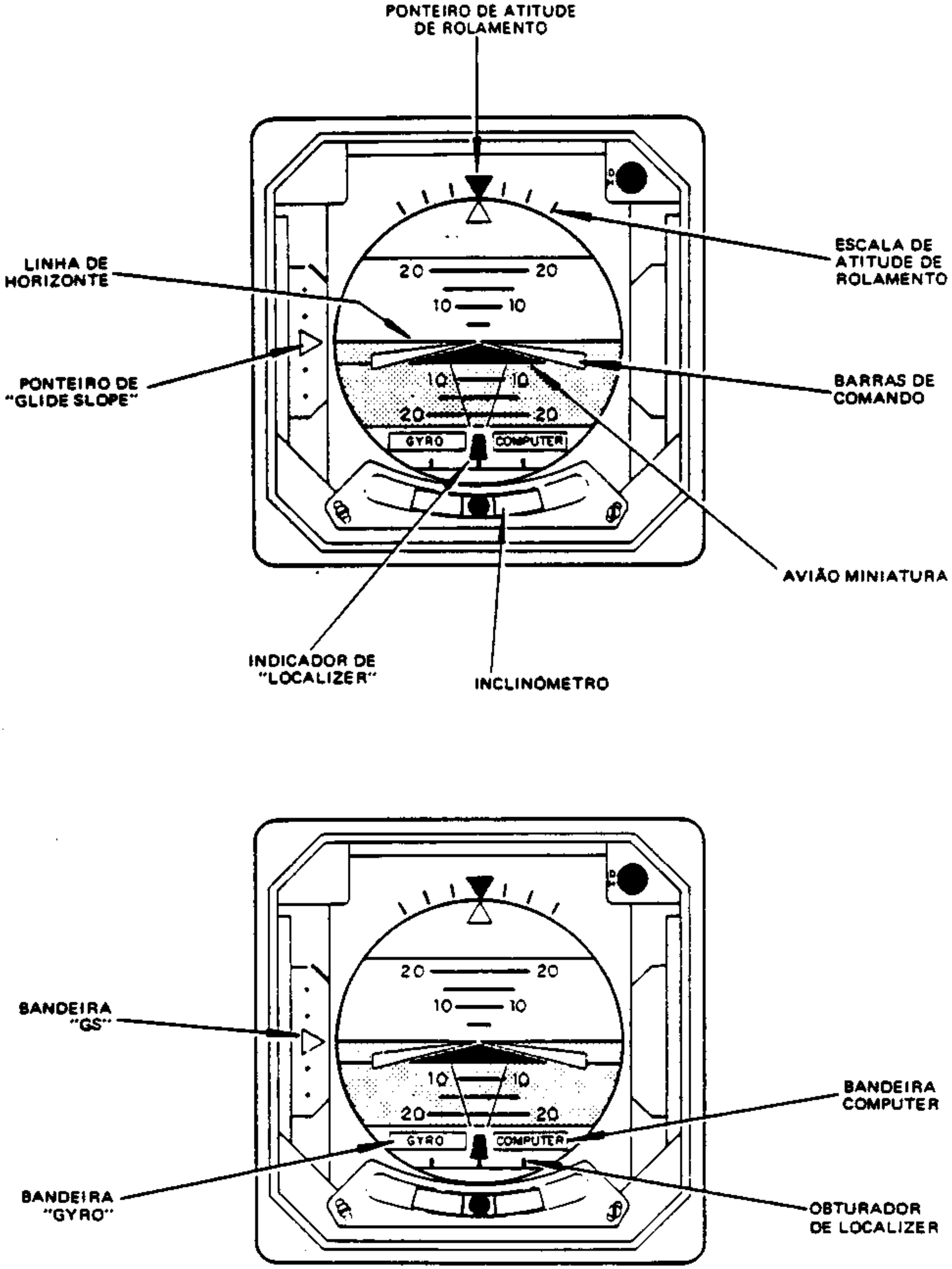

PONTEIRO DE ATITUDE DE ROLAMENTO
ESCALA DE ATITUDE DE ROLAMENTO
LINHA DE HORIZONTE
20
10
PONTEIRO DE "GLIDE SLOPE"
BARRAS DE COMANDO
GYRO
COMPUTER
AVIÃO MINIATURA
INDICADOR DE "LOCALIZER"
INCLINÔMETRO
BANDEIRA "GS"
BANDEIRA COMPUTER
BANDEIRA "GYRO"
OBTURADOR DE LOCALIZER

Figura 19-83 Indicados do Diretor de Vôo ADI-84

Computador Comparador CWC-85

O computador comparador para alarme CWC-5 recebe sinais de CA que representam o seno e o cosseno da diferença do ângulo entre os dois indicadores diretor de vôo ADI-84.

O CWC-85 está instalado no compartimento eletrônico. A saída do CWC-85 é utilizada para alimentar a luz de cor âmbar COMP ATTITUDE.

A saída é um sinal ativo baixo (terra), composto dos comparadores de rolamento e arfagem. Quando um destes comparadores sentir uma diferença de 6 graus, a saída é ativada, informando aos pilotos uma possível falha dos ADIs.

O sistema pode ser testado através de um interruptor, logo abaixo da lâmpada de aviso e que possui duas posições. A posição TESTA simula um erro de arfagem ou de rolamento no sistema, assegurando que o sistema funciona corretamente. A posição RESETA apaga a luz de aviso, todavia se o sistema estiver com defeito, a luz de aviso permanecerá acesa.

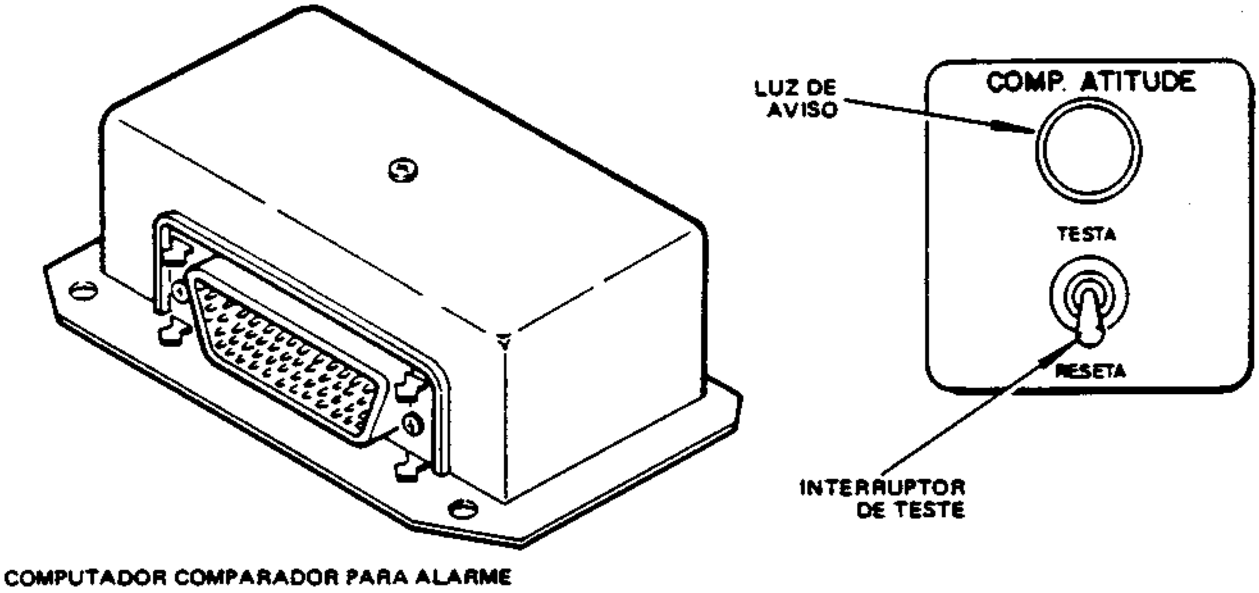


Figura 19-84 Computador Comparador para alarme CWC-85

Indicador Eletrônico de Vôo EFD-74

É uma unidade que possui como bloco principal o tubo de raios catódicos (CRT) multicoloridos e de alta resolução, existindo ainda blocos que auxiliam na formação das imagens que são os amplificadores de áudio e vídeo e a fonte de alimentação de alta voltagem.

Existem dois indicadores EFD-74, um para cada piloto, localizados em cada um dos painéis móveis entre o indicador de vôo ADI-84 e o painel de controle de proa HCP-74. O indicador eletrônico de vôo recebe os sinais da unidade processadora HPU-74 para gerar as imagens que são controladas pelo painel de controle de indicação eletrônico de proa HCP-74. O indicador pode gerar três formatos de imagens distintas:

Modo HSI – Este modo é selecionado pressionando-se a tecla DISPLAY HSI no painel HCP-74 e, mostra uma rosa-dos-ventos completa acrescida de dados fornecidos pelo DME, rumo para a estação selecionada, pontos de referência e as fontes selecionadas.

O modo HSI apresenta as seguintes indicações:

- **Cartão Compasso** – É um cartão monitorado pelo sistema de referência de atitude e proa AHRS-85 que consiste de um limbo de 360º com as letras designativas dos pontos cardeais, marcas de 30º e marcações de 45º ao redor da periferia do cartão No mostrador pode-se ver ainda marcas de referência, a linha de fé e a aeronave simbólica.
- **Mostrador de Curso Selecionado** – O curso é selecionado no painel HCP-74 e, mostra a relação do ponteiro de curso com o cartão compasso e esta informação é repetida digitalmente no canto superior direito com a

legenda CRS. Esta legenda muda automaticamente para B/C quando é sintonizada uma frequência de LOCALIZER e o ponteiro de curso está mais de 105º da linha de referência.

- **Anunciador da Fonte de Navegação** – A fonte de navegação é mostrada ao lado do cartão compasso, no canto inferior direito.
- **Barra de Desvio de Curso** – O desvio do curso selecionado é indicado pelo deslocamento lateral da porção central do ponteiro de curso em relação à aeronave simbólica e aos quatro pontos de desvio. O desvio pode ser angular (cada ponto vale 5º) ou linear (cada ponto vale 5 milhas náuticas), porém, somente o desvio angular é aplicado à fonte de navegação VOR.
- **Indicador TO–FROM** – Indica se o curso de VOR selecionado está indo para ou vindo de uma estação. A indicação TO-FROM é representada na tela do EFD-74 por um triângulo, o qual desaparece quando uma frequência de LOCALIZER é selecionada.
- **Indicador de Proa Selecionada** – A proa selecionada é indicada por dois retângulos adjacentes em relação ao cartão compasso.
- **Ponteiro de Rumo** – É selecionado no painel de controle HCP-74. A fonte de navegação primária selecionada aparece no EFD-74 através de um ponteiro simples e, a fonte secundária aparece no EFD-74 através de um ponteiro duplo. A letra que aparece na porção inferior do ponteiro de rumo apresenta a fonte de navegação selecionada (V – VOR, A – ADF, W – ponto de referência). Toda informação primária aparece sempre na cor verde e, toda informação secundária aparece sempre na cor magenta.
- **Desvio de GLIDESLOPE** – Esta indicação é feita por um ponteiro triangular e uma escala, situados do lado esquerdo do cartão compasso. A escala é formada por quatro pontos, separados dois a dois por uma linha central. O ponteiro e a escala desaparecem da tela quando a aeronave realiza a operação curso reverso.
- **Anunciador de Distância** – Mostra a distância à estação selecionada de DME ou a ponto de referência abaixo das letras DME ou WPT no canto superior esquerdo do EFD-74. Quando a função DME HOLD é selecionada na unidade indicadora IND 41A, a letra "H" aparece do lado direito da inscrição DME. Quando a função DME está em "modo teste" a letra "T" aparece do lado esquerdo dos dígitos.
- **Anunciador de Dados** – O anunciador de dados indica o tempo para a estação (TTG) ou velocidade relativa ao solo (SPD) no canto inferior esquerdo, abaixo das letras TTG ou SPD.

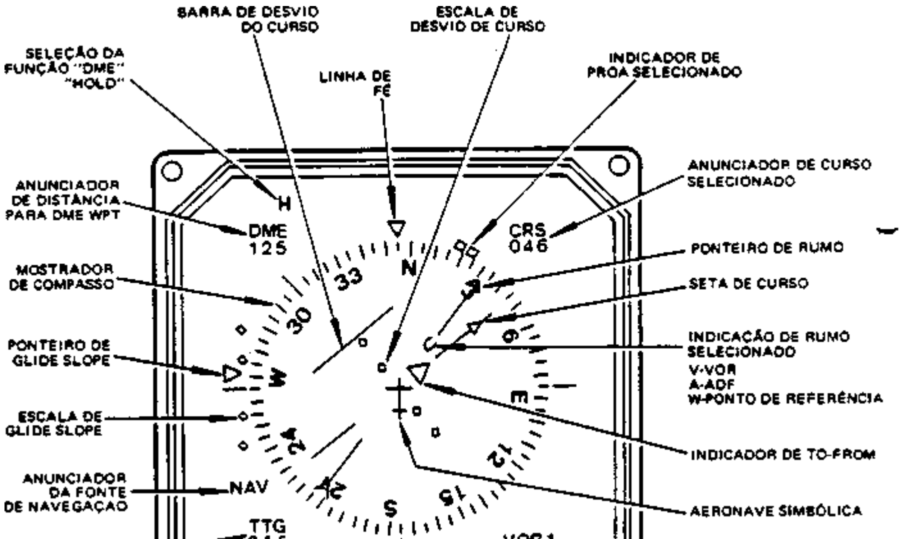

BARRA DE DESVIO DO CURSO
ESCALA DE DESVIO DE CURSO
SELEÇÃO DA FUNÇÃO "DME" "HOLD"
LINHA DE FÉ
INDICADOR DE PROA SELECIONADO
ANUNCIADOR DE DISTÂNCIA PARA DME WPT
H
DME 125
CRS 046
ANUNCIADOR DE CURSO SELECIONADO
PONTEIRO DE RUMO
MOSTRADOR DE COMPASSO
SETA DE CURSO
N
33
30
W
24
21
S
15
12
E
6
3
PONTEIRO DE GLIDE SLOPE
INDICAÇÃO DE RUMO SELECIONADO V-VOR A-ADF W-PONTO DE REFERÊNCIA
ESCALA DE GLIDE SLOPE
INDICADOR DE TO-FROM
ANUNCIADOR DA FONTE DE NAVEGAÇÃO
NAV
AERONAVE SIMBÓLICA
ANUNCIADOR DE DADOS TTG SPD
TTG 34.5
VOR 1
FONTE DE NAVEGAÇÃO VOR ILS RNAV

Figura 19-85 Modo HSI do Indicador de Vôo

Modo ARC – Este modo é selecionado pressionando-se a tecla DISPLAY ARC no painel de controle HCP-74. Um formato de setor de bússola expandida consiste em um segmento de bússola de 80º no topo do mostrador, com o símbolo da aeronave na parte inferior. O curso da aeronave é mostrado pelo movimento do ponteiro de curso no cartão de bússola com a barra e escala de desvio perto do símbolo da aeronave.

As informações que o Modo ARC apresenta, são as seguintes:

- **Anunciador TO-FROM** – O anunciador TO-FROM consiste das letras TO ou FR acima da indicação digital da fonte de navegação no canto inferior direito.
- **Índice de proa** – Quando o índice de proa estiver fora da escala uma linha de proa aparece e é rotacionada em torno do símbolo da aeronave para indicar a posição relativa da proa selecionada e é indicada digitalmente no final do setor de bússola.
- **Ponteiro de Rumo** – O rumo é mostrado através do ponteiro e digitalmente à esquerda do centro do setor de bússola com a informação da fonte de navegação mostrada acima do anunciador de dados.
- **Anunciador de Tempo para a Estação (TTG) e Velocidade Relativa ao SOLO (SPD)** – Opera da mesma forma que o formato HSI, com a capacidade adicional de mostrar ambos os dados com as respectivas letras TTG e SPD, à direita do centro do setor de bússola. Quando se deseja só uma informação na tela, basta pressionar a tecla HSI e, para a troca da informação deve-se mudar o formato. Quando as informações não forem confiáveis, aparecerão traços no lugar dos dígitos.

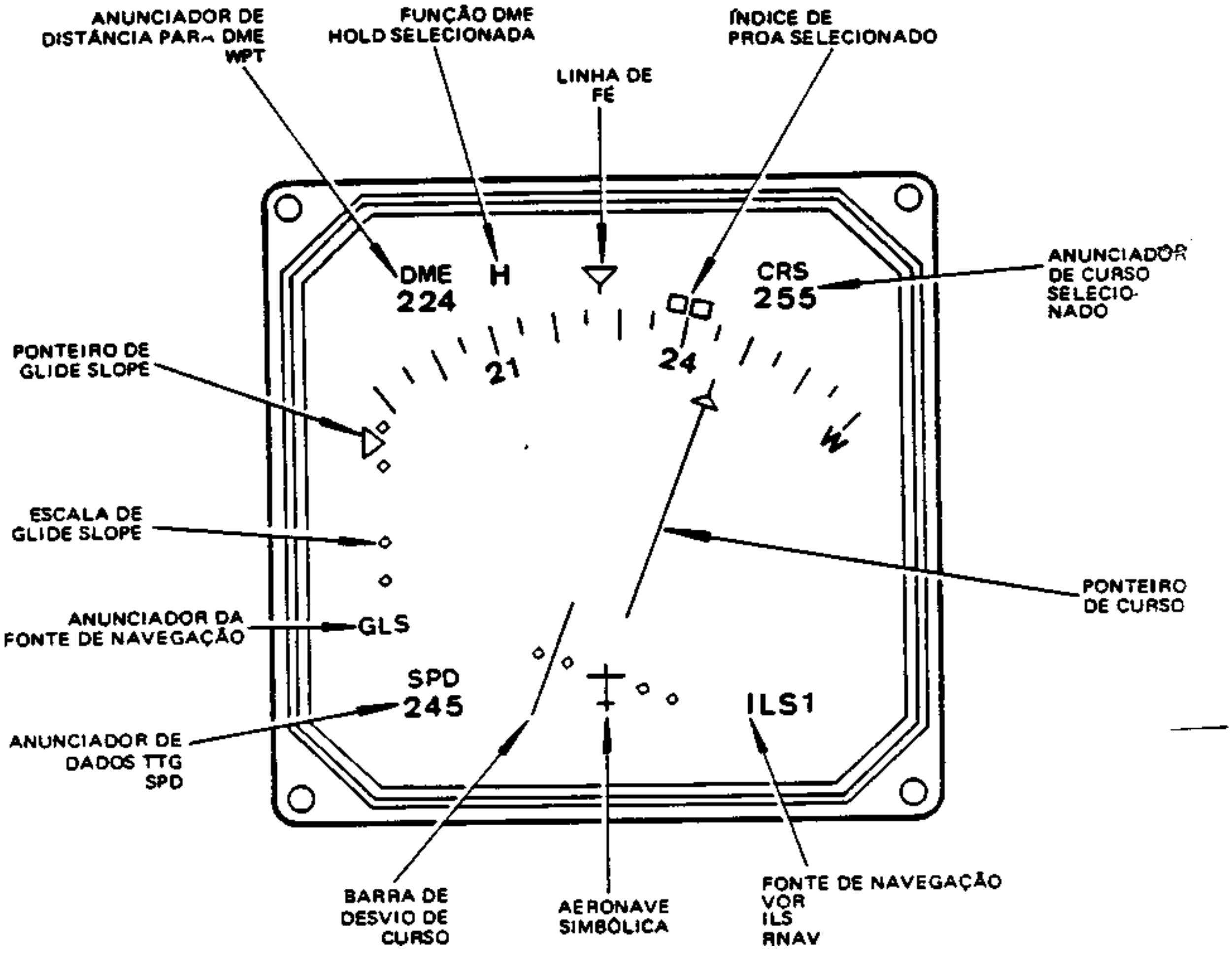

ANUNCIADOR DE DISTÂNCIA PARA DME WPT
FUNÇÃO DME HOLD SELECIONADA
LINHA DE FÉ
ÍNDICE DE PROA SELECIONADO
DME 224
H
CRS 255
ANUNCIADOR DE CURSO SELECIONADO
21
24
W
PONTEIRO DE GLIDE SLOPE
ESCALA DE GLIDE SLOPE
PONTEIRO DE CURSO
ANUNCIADOR DA FONTE DE NAVEGAÇÃO
GLS
SPD 245
ILS1
ANUNCIADOR DE DADOS TTG SPD
BARRA DE DESVIO DE CURSO
AERONAVE SIMBÓLICA
FONTE DE NAVEGAÇÃO VOR ILS RNAV

Figura 19-86 Modo ARC do indicador de vôo

Modo MAP – Este modo utiliza o mesmo setor de bússola do modo ARC, todavia provê indicação de rumo e de distância para a estação VOR ou ponto de referência selecionado.

O modo selecionado no HCP 74, através da tecla DISPLAY MAP. As informações que o modo MAP apresenta são as seguintes:

- **Linha de Curso Selecionado** – O curso selecionado é mostrado por uma linha girando ao redor da estação selecionada ou do ponto de referência. O curso TO é representado por uma linha verde sólida e o curso FROM por uma linha verde tracejada. Se a distância da estação estiver abaixo do símbolo do avião, a indicação do tipo "mapa" é substituída por um ponteiro de rumo.
- **Arco de Meia Escala** – É o arco que é interceptado pela linha de curso selecionado e suas graduações são selecionadas através da tecla DISPLAY MAP, no HCP-74. O fundo de escala mostrado é a metade da faixa selecionada. O final da faixa, não mostrado, está localizado abaixo das marcas do cartão da bússola.
- **Barra de Desvio Lateral** – Só aparece no EFDD-74 quando uma frequência de ILS é sintonizada.
- **Anunciador de Dados** – A seleção da informação de tempo para a estação (TTG) ou de velocidade relativa ao solo (SPD), não pode ser trocada no modo MAP. Porém, esta informação permanece a mesma como era, quando o modo MAP foi selecionado.
- **Símbolo da Estação** – O símbolo aparece no cruzamento da linha de curso selecionada e a escala média de distância. A estação VOR / DME é representada com um octógono e o Ponto de Referência é representado por uma estrela de quatro pontas.

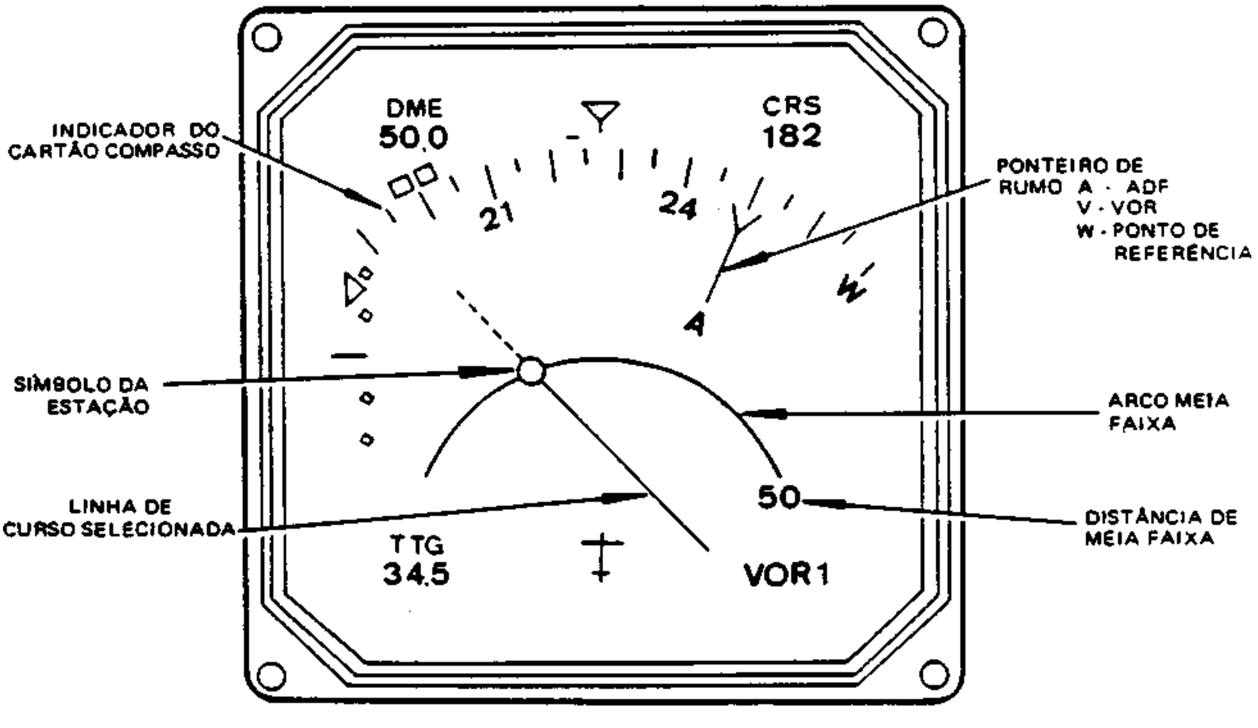


Figura 19-87 Modo MAP do Indicador de Vôo

Bandeiras no EFD-74 – Aparecem quatro bandeiras de aviso de falha e as informações inválidas de tempo (TTG), velocidade (SPD) e de distância (DME) são substituídas por traços.

Existe, ainda, uma lâmpada de aviso EFD FLAG relacionada ao indicador que está situada na parte frontal da unidade processadora HPU-74 que é iluminada quando existe falha no EFD-74, o que acarreta o apagamento da tela.

As bandeiras de aviso que aparecem na tela do EFD-74 são as seguintes:

- **Bandeira de Aviso HDG** – Representa falha no sistema de referência de proa e de atitude AHRS-85. A linha de fé é substituída por um retângulo vermelho contendo as letras HDG também em vermelho. As letras piscam por dez segundos e, após esse tempo permanecem acesas na tela.

- **Bandeira de Aviso NAV** – Representa falha no sistema de navegação. Os pontos de desvio desaparecem e as letras vermelhas NAV, contidas num retângulo vermelho, aparecem logo acima do símbolo do avião. As letras piscam por dez segundos e, após esse tempo permanecem acesas na tela.
- **Bandeira de Aviso GLS** – Representa falha no sistema ILS. A escala e a indicação ILS são removidas e as letras vermelhas GLS aparecem no lugar da escala e ficam piscando por dez segundos e, após esse tempo permanecem acesas na tela.
- **Bandeira de Advertência FAIL** – Representa falha no sistema HPU-74. As letras amarelas FAIL, contidas num retângulo amarelo aparecem no canto inferior direito. Simultaneamente, a lâmpada de aviso HPU FLAG relacionada à unidade processadora, situada na parte frontal da HPU-74, acende para sinalizar a mesma falha. Todas as bandeiras de aviso nos formatos HSI e ARC são as mesmas e o formato MAP não mostra nenhuma bandeira de aviso.

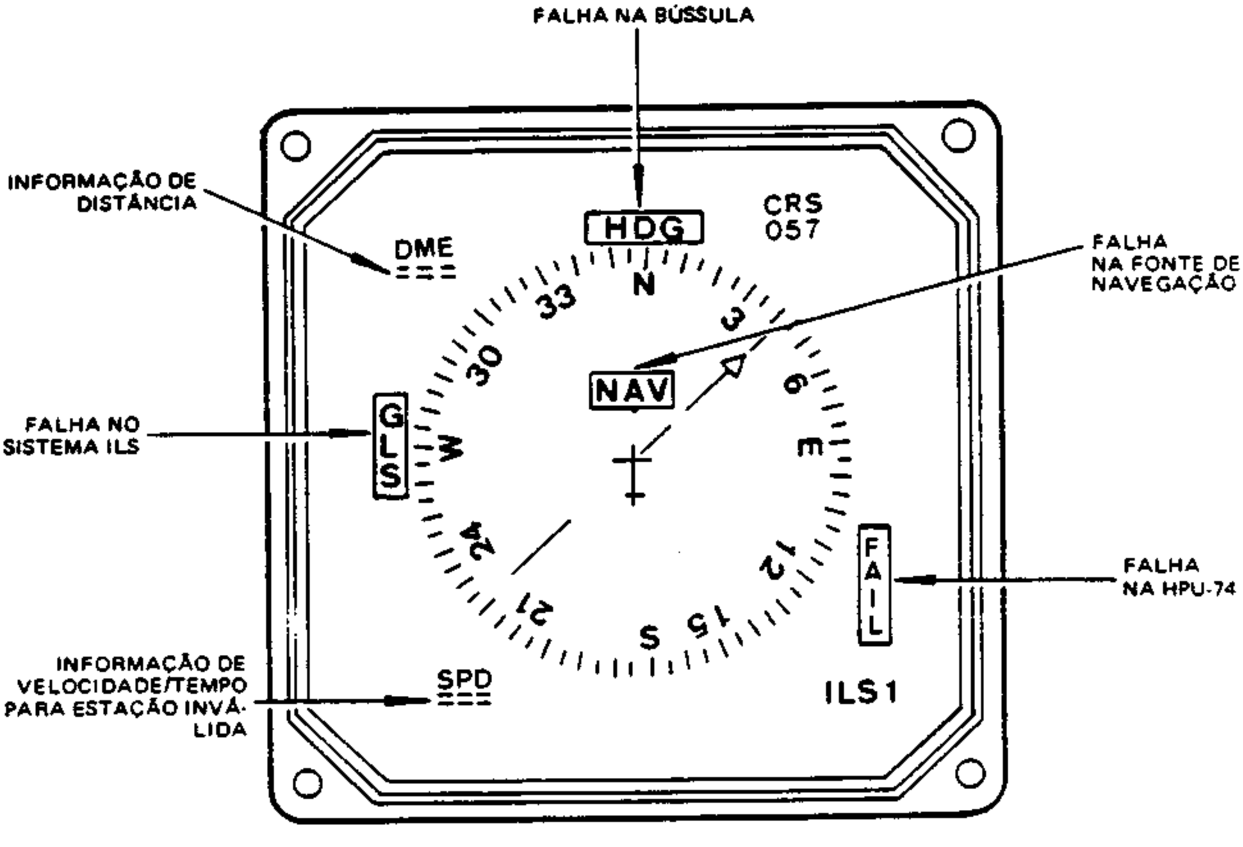

FALHA NA BÚSSULA
INFORMAÇÃO DE DISTÂNCIA
HDG
CRS 057
DME
FALHA NA FONTE DE NAVEGAÇÃO
N
3
6
33
30
NAV
W
E
FALHA NO SISTEMA ILS
GLS
24
21
S
15
12
FAIL
FALHA NA HPU-74
INFORMAÇÃO DE VELOCIDADE/TEMPO PARA ESTAÇÃO INVÁLIDA
SPD
ILS1

Figura 19-88 Bandeiras de aviso e advertência no EFD-74

Painel de controle

O painel de controle de proa está localizado na parte inferior de cada um dos painéis móveis, provê controles e comandos para o EFD-74.

O botão HDG monitora as informações de proa. Quando este botão é rotacionado, seleciona as informações de direção e distância para mover o índice de proa no EFD-74.

O botão HDG SYNC, quando pressionado, alinha o índice de proa com a linha de fé. O botão CRS monitora as informações de curso. O botão, quando rotacionado, seleciona as informações de direção e de distância para mover o ponteiro de curso no EFD-74.

O botão CRS DIRECT, quando pressionado rotaciona o ponteiro de curso até a fonte de navegação selecionada, resultando num desvio de rota zero.

O formato que o indicador EFD-74 pode assumir é selecionado pelas teclas DISPLAY. São elas:

HSI – Seleciona o formato de 360 graus. Também controla a seleção TTG ou SPD.

ARC – Seleciona o formato expandido de 80 graus.

MAP – Acrescenta ao formato ARC os pontos de rumo e distância da estação selecionada.

A tecla DISPLAY HSI também é usada para selecionar a informação de velocidade ao solo (SPD) ou tempo para a estação (TTG) no indicador EFD-74, independentemente do formato em uso.

As teclas BRG, NV1, ADF e NV2 selecionam qual indicador de curso está mostrado no EFD-74. A remoção na tela de um indicador é feita pressionando-se a tecla correspondente novamente, ou selecionando outra fonte de navegação.

Ao pressionar a tecla NV1 uma primeira vez, o EFD-74 mostra a fonte de navegação primária e, pressionando-se uma segunda vez, é removida a informação sendo esta sequência válida para as teclas NV2 e ADF e para todos os três formatos.

O controle de intensidade luminosa do EFD-74 é feito girando-se o botão INT, sendo que no sentido horário a intensidade luminosa é aumentada.

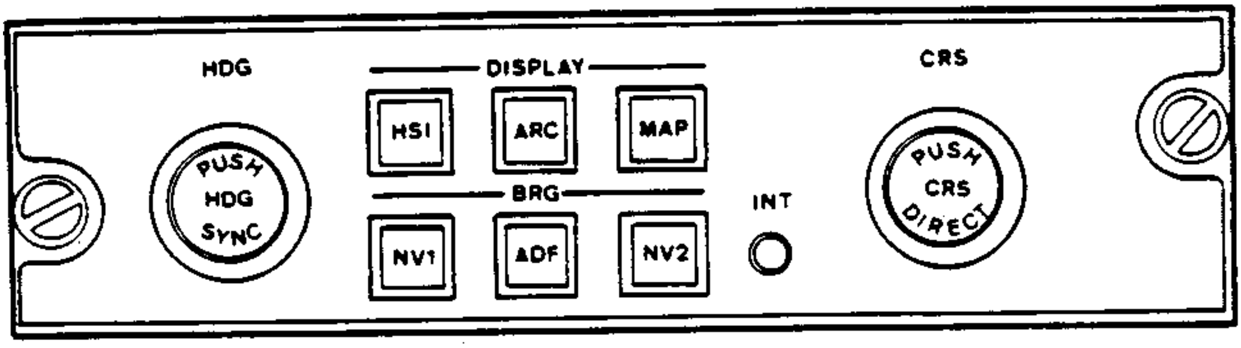


Figura 19-89 Painel de controle de proa HCP-47

Unidade Processadora

A unidade de processamento HPU-74 é parte integrante do sistema FIS e tem as seguintes atribuições:

- Gera sinais de deflexão e vídeo requeridos na tela do EFD-74.
- Executa a interface entrada / saída com os demais sistemas da aeronave.

São utilizadas duas unidades de processamento HPU-74, localizadas no piso superior do compartimento eletrônico, uma de cada lado.

A unidade processadora recebe sinais do painel de controle HCP-47 através do processador de entrada / saída e seleciona os dados necessários a serem enviados a um gerador de caracteres, que irá enviar e monitorar as imagens reproduzidas na tela do EFD-74.

A fonte de alimentação provê toda a voltagem necessária não só para o HPU-74, como também para os sinais de vídeo e deflexão enviados ao EFD-74.

As informações da unidade de processamento HPU-74, seja do piloto ou do co-piloto, podem ser transferidas para o computador do piloto automático APC–65B, através da chave de transferência PA SEL NAV, localizada no pedestal de manetes.

A indicação de falha no HPU é sinalizada por uma luz vermelha, com a inscrição HPU FLAG, na parte frontal do HPU-74 e pela inscrição FAIL na tela do EFD-74. Se ocorrer falha nos sinais de vídeo e deflexão do EFD-74, este envia um sinal para o HPU-74, que irá acender a luz vermelha com a inscrição EFD FLAG localizada na parte frontal do HPU-74.

Operação

O sistema de instrumentos de vôo FIS mostra aos pilotos as indicações essenciais do sistema de atitude e proa AHRSS-85 e de navegação VOR / ILS.

O computador comparador para alarme CWC-85 monitora a diferença entre os sinais de atitude provenientes de cada um dos indicadores ADI-84 (Diretor de Vôo) e avisa aos pilotos de uma possível falha dos ADI, quando a diferença entre os indicadores exceder a um valor pré-determinado.

O sistema FIS é alimentado por 26 VCA, 400 Hz e por 28 VCC. Os ADI-84 estão conectados à barra de emergência 26 VCA, a HPU-74 do piloto está conectada à barra de emergência 28 VCC e a HPU-74 do co-piloto à barra principal 28 VCC. A iluminação dos painéis HCP-74 é através de 5 VCC.

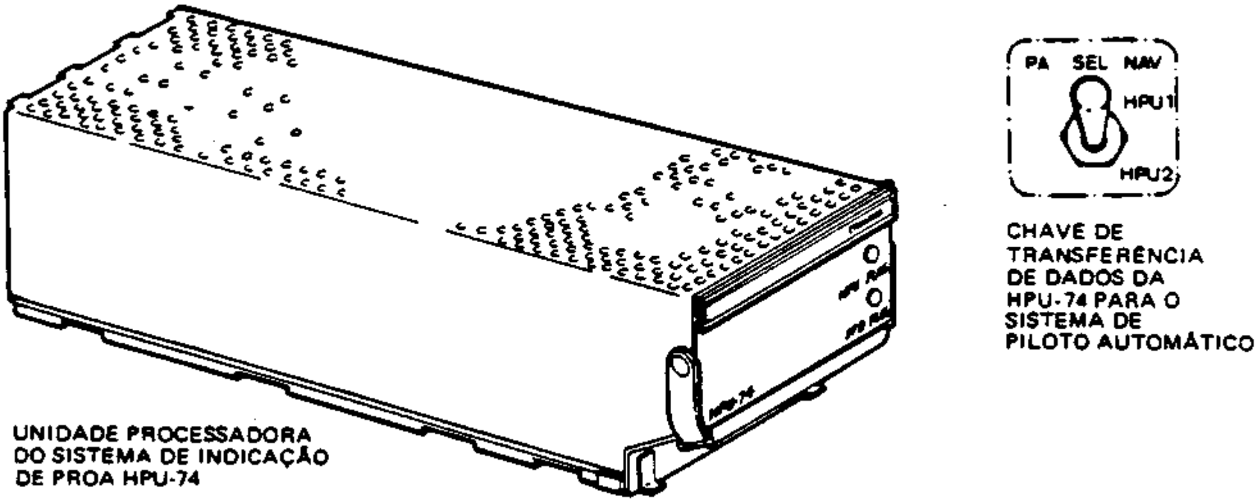

PA SEL NAV
HPU1
HPU2
CHAVE DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS DA HPU-74 PARA O SISTEMA DE PILOTO AUTOMÁTICO
HPU-74
UNIDADE PROCESSADORA DO SISTEMA DE INDICAÇÃO DE PROA HPU-74

Figura 19-90 Unidade de processamento HPU-74

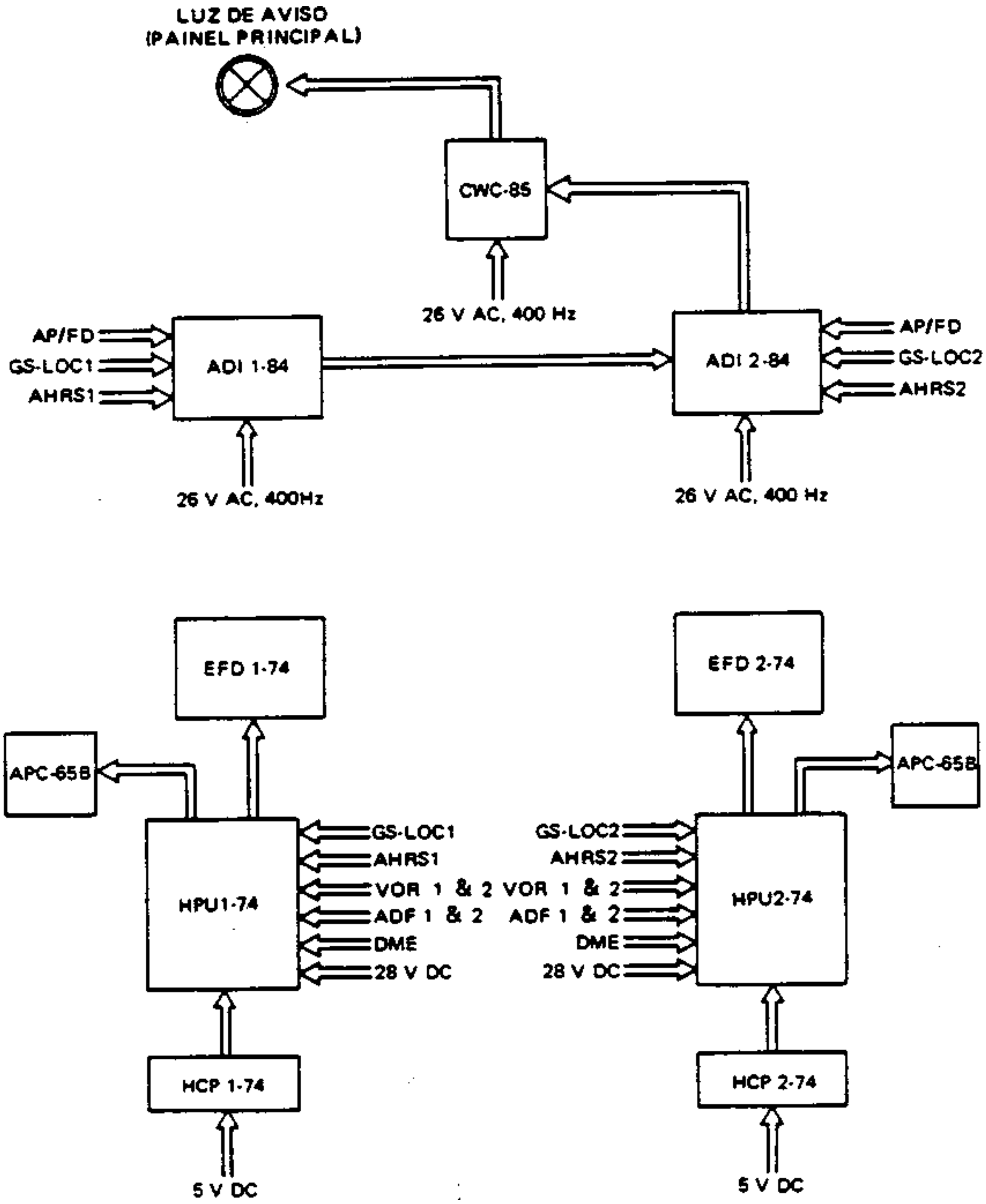

LUZ DE AVISO
(PAINEL PRINCIPAL)
CWC-85
26 V AC, 400 Hz
AP/FD
GS-LOC1
AHRS1
ADI 1-84
26 V AC, 400Hz
ADI 2-84
AP/FD
GS-LOC2
AHRS2
26 V AC, 400 Hz
EFD 1-74
APC-65B
HPU1-74
GS-LOC1
AHRS1
VOR 1 & 2
ADF 1 & 2
DME
28 V DC
HCP 1-74
5 V DC
EFD 2-74
APC-65B
HPU2-74
GS-LOC2
AHRS2
VOR 1 & 2
ADF 1 & 2
DME
28 V DC
HCP 2-74
5 V DC

Figura 19-91 Sistema FIS

CAPÍTULO 20

INTRODUÇÃO AOS COMPUTADORES

HISTÓRICO

Um microprocessador é um circuito eletrônico muito complexo. Consiste em milhares de transistores microscópicos compactados em uma minúscula pastilha de silício (Chip), que na maioria das vezes não ocupa mais que um oitavo de polegada quadrada. A pastilha é colocada num invólucro contendo aproximadamente 40 pinos (ou pernas).

Os milhares de transistores que compõem o microprocessador são arranjados para formar muitos circuitos diferentes dentro da pastilha. Do ponto de vista de aprendizagem de como o micro processador opera, os circuitos mais importantes são os registradores, contadores e decodificadores.

Um “µp” é uma parte de um computador, apenas a porção responsável pelo controle e processamento dentro de um sistema. Para um computador, é necessário acrescentar memória para o programa de controle e circuitos de I/O para a comunicação com equipamento periférico.

Mais especificamente é o tipo de processador que pode ser implementado em um único “chip” LSI (Integração em Larga Escala).

Desde a construção dos primeiros computadores a válvula, como o UNIVAC I (1950) o desenvolvimento de sistemas de processamento de dados tem sofrido uma evolução acelerada. Enquanto esses computadores primitivos só podiam ser justificados como objeto de pesquisa (sem questionar a validade econômica), os modernos sistemas revolucionaram praticamente todos os campos de atividade do homem moderno. Isto se deveu, unicamente, à evolução da tecnologia eletrônica do estado-sólido, que reduziu o tamanho e o custo dos sistemas de computação, entre inúmeros equipamentos.

Em 1960, o baixo preço dos computadores justificava o aparecimento dos computadores de propósito geral, para processamento de dados.

Atualmente, o advento de microprocessadores permite a aplicação de métodos computacionais de custo extremamente baixo ao controle e processamento de sistemas em geral. Isto representa um passo decisivo em direção a uma disseminação extensiva do processamento de dados nos aspectos mais triviais da vida moderna.

APLICAÇÕES

Computador de escritório

O baixo custo de um microcomputador permite a sua utilização em escritórios comerciais de pequeno porte. O sistema básico compreende, geralmente, um console de vídeo-teclado, uma unidade de disco magnético e impressora. Aumentando-se o número destes periféricos, pode-se acompanhar o crescimento das exigências da automação.

A finalidade deste equipamento é controlara folhas de pagamento, fazer controle de estoque, manipular informações de contabilidade, fazer processamento de texto, tudo isto aliado à possibilidade de se disseminar a informação simultaneamente através de diversos terminais.

Computador pessoal

Atualmente em fase de rápida expansão no Brasil esta aplicação possibilita trazer a revolução da informática para o lar. Além de usar o microcomputador, para jogos eletrônicos, pode-se fazer o controle dos gastos domésticos, sistemas de alarme contra roubos etc. Através da ligação telefônica, o computador pessoal pode ter acesso a informações tais como cotação de ações na Bolsa, jornais ou bancos de dados. Num prazo maior, poderemos fazer encomendas num supermercado pelo microcomputador, consultando os preços dos artigos em estoque e até mesmo trabalhar em casa, enviando e recebendo informações do computador da empresa.

Computador de bordo

Microcomputadores são empregados em sistemas de computação para automóveis, barcos e aeronaves.

Além de fornecerem informações sobre navegação, consumo, condições do veículo etc, poderão receber dados de outros computadores. Isto permitirá que um piloto receba instruções de controle para pouso ou decolagem através de um monitor de vídeo situado no painel, agilizando e aumentando a capacidade do controle de tráfego aéreo.

Equipamentos automáticos de teste

Para o controle de qualidade, é possível elaborar sistemas capazes de fazer o teste de equipamentos, numa rapidez e precisão impossível para o ser humano, a um custo reduzido.

Máquinas com "inteligência"

O uso de processadores em equipamentos de uso geral permite sofisticá-los com funções até então inviáveis economicamente. Balanças e Caixas Eletrônicas, por exemplo, são aplicações recentes de microprocessadores. Deve-se lembrar também que a manutenção desses equipamentos é simplificada por programas de diagnóstico e até de calibração automática.

Robôs

Recentemente, a indústria japonesa desenvolveu uma variedade de máquinas capazes de executar tarefas repetitivas, como robôs industriais. Este é um dos campos mais promissores e polêmicos de aplicação de microprocessadores.

Armamento – Míssil auto dirigido

O primeiro passo de Neil Armstrong na superfície da Lua foi possível, em grande parte, em decorrência dos sistemas de orientação computadorizados.

Evidentemente, a engenharia de foguetes interplanetários apóia-se em uma tecnologia muito precisa, mas, sem o "hardware" e o "software" de computadores, jamais seria possível executar cálculos de posição com rapidez e exatidão suficientes para permitir o acoplamento de dois objetos a uma grande distância – mesmo que um desses objetos tenha o tamanho da Lua.

Quando se levam em conta as técnicas militares modernas, que exigem a colocação de ogivas com limite de erro de 20 a 30 metros após um vôo transcontinental, é enorme a capacidade de processamento de dados necessária para os cálculos.

As primeiras experiências militares mostraram que o problema fundamental da tecnologia de mísseis estava no fato de que eram impossíveis correções no seu trajeto após ter sido feito o lançamento. A primeira grande conquista deu-se com o desenvolvimento de sistemas de orientação capazes de calcular a posição do foguete em relação a um ponto na superfície (local de lançamento) pela dedução da distância percorrida e de sua direção. Mas até mesmo os equipamentos modernos de alta qualidade estão sujeitos a erros graves.

Outro método mais preciso utiliza satélite em órbita geoestacionária como ponto de referência. A principal desvantagem desses sistemas é que a linha de vôo do míssil – e provavelmente seu alvo – pode ser calculada pelo inimigo imediatamente após o lançamento, dada a capacidade dos modernos radares de longo alcance. Para eliminar essa vulnerabilidade, projetou-se um míssil capaz de voar a baixa altura, provido de radar de 0varredura horizontal, que avalia dados para o cálculo do percurso até o alvo. Assim nasceu o míssil "Cruise".

TERMOS E CONVENÇÕES

Um microprocessador é um dispositivo lógico que é usado em sistemas eletrônicos digitais. Também é usado como passatempo, como computador de uso geral de baixo custo, para técnicos e grupos de pesquisa com baixo nível orçamentário. Mas, uma distinção deverá ser feita entre o microprocessador e o microcomputador.

Um microcomputador contém um microprocessador, mas também contém outros circuitos como um dispositivo de memória para armazenar informação e adaptadores de interface para conecta-lo com o mundo externo.

A figura 20-1 mostra um microcomputador típico no qual esses circuitos adicionais são acrescentados. As setas representam condutores nos quais seguem as informações binárias. As setas largas representam vários condutores conectados em paralelo. Um grupo de condutores paralelos, que transportam informação, é chamado barramento (*bus*).

O computador possui dois barramentos principais: o "ADDRESS BUS" (ADD BUS)e o "DATA BUS". O ADD BUS é unidirecional, isto é, possui um único sentido para o fluxo. O DATA BUS é bidirecional permitindo, por exemplo o fluxo de dados da CPU para a unidade de entrada e saída (I/O) ou desta para a memória.

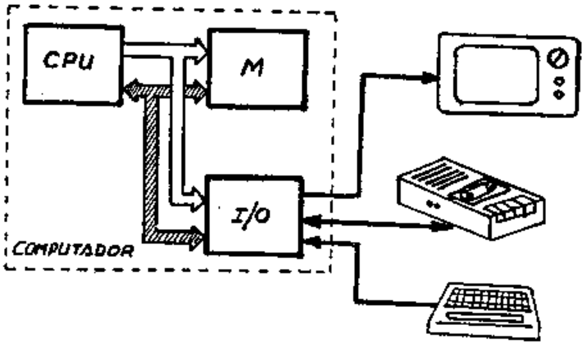


Figura 20-1 Computador básico

O programa do computador é um conjunto ordenado de instruções que são executadas uma a uma, seqüencialmente, na ordem estipulada. Instrução é uma palavra chave (ordem) que diz ao computador qual a tarefa específica que deve executar.

O microcomputador é composto por tudo o que está dentro da linha pontilhada na figura 20-1. Tudo o que está fora da linha pontilhada refere-se ao mundo externo e todos os micro-computadores precisam ter alguns meios de comunicação com ele.

A informação recebida do mundo externo pelo microcomputador é chamada de entrada de dados. A informação que transmita do microcomputador para o mundo externo é chamada de saída de dados.

O computador pode ser definido como um sistema complexo capaz de receber informações, processá-las e fornecer resultados. A entrada de informações poderá ser gerada de dispositivos como memória de massa (disco ou fita magnética), relés ou até mesmo outros computadores.

A saída de informações poderá ser enviada aos terminais de vídeo, memórias impressoras etc. O ponto no qual o dispositivo de I/O conecta-se ao microcomputador é chamado de "pórtico".

MEMÓRIA

O conjunto de dados e de instruções necessários à operação de um computador fica localizado numa unidade chamada memória.

Podemos imaginar a memória como sendo um conjunto de escaninhos, cada qual com um endereço e contendo uma unidade de informações (palavras).

Existem diversos tipos de memória, classificados segundo suas características. De um modo geral, temos memórias voláteis ou não voláteis. A memória volátil é aquela cuja informação se perde quando a alimentação é interrompida. As memórias RAM são um exemplo deste tipo. Memórias não-voláteis, por outro lado, retêm a informação mesmo após interrupção da alimentação. Um exemplo deste tipo é a memória ROM.

-ROM ("Read Only Memory") – Como o nome indica, este tipo de memória não permite realizar operações de escrita, apenas de leitura. Também chamada de memória morta, é gravada durante a fabricação, retendo sempre esta informação.

-RAM ("Random Access Memory") – Esta memória se caracteriza por permitir tanto a leitura como a escrita, sendo, entretanto volátil.

Memórias magnéticas

Devido às suas propriedades este tipo de memória é sempre não-volátil. Além disso, geralmente são capazes de armazenar grandes quantidades de dados, embora a velocidade de leitura/escrita seja baixa. Por isso são mais usadas como memória de massa, isto é, uma espécie de armazém de programas e de dados, de onde a CPU os retira para processamento em RAM.

Os tipos mais comuns são discos magnéticos e fitas magnéticas.

ENTRADA E SAÍDA

São unidades que permitem ao microcomputador comunicar-se com o mundo externo. É através de operações de entrada e saída que um operador utiliza um terminal de vídeo-teclado para "conversar" com um computador.

O elemento que serve de ligação entre o microcomputador e o periférico é chamado "interface".

A transferência pode ser feita de vários modos, segundo as necessidades ou limitações do sistema. Transmissões por via telefônica, por exemplo, são feitas no modo serial, isto é, um "bit" por vez.

Por outro lado, entre um teclado e a CPU, a transmissão pode ser em paralelo, com 7 ou 8 "bits" transmitidos de uma só vez.

PALAVRAS DO COMPUTADOR

Na terminologia de computação, a palavra é um conjunto de dígitos binários que pode ocupar um local de armazenamento. Embora a palavra seja constituída de vários dígitos binários, o computador manipula cada palavra como se ela fosse uma simples unidade. Portanto, a palavra é a unidade fundamental de informação usada no computador.

Uma palavra pode ser um número binário que está sendo manipulado como um dado. Ou, a palavra pode ser uma instrução que diz ao computador que operação deve executar. A palavra poderá representar, também, um endereço.

Tamanho da palavra

Nos últimos anos, uma ampla variedade de microcomputadores tem sido desenvolvida. Seu custo e su capacidade variam grandemente. Uma das mais importantes características de um microprocessador é o tamanho da palavra que ele pode manipular, que se refere ao tamanho em "bits" da maior unidade fundamental de informação.

O tamanho da palavra mais comum para o microprocessador é 8 "bits". Números, endereços, instruções e dados são representados por números binários de 8 "bits".

O menor número binário de 8 "bits" é $0000\ 0000_2$ ou 00_{16}. O maior é $1111\ 1111_2$ ou 11_{16}.

Em decimal, o alcance é de 0 a 255_{10}. Então, um número binário de 8 "bits" pode ter algum dos 255_{10} possíveis valores.

Uma palavra de 8 "bits" pode especificar números positivos ou negativos.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO

Código de máquina

O código de máquina é a linguagem entendida pelo microprocessador (a CPU), que constitui o cerne do computador e pode apenas executar funções muito simples (adiciona dois dígitos a um número, por exemplo, mas não os multiplica). Faz isso, no entanto, a velocidades muito altas. Cada operação do microprocessador é especificada de acordo com o número de "ciclos de relógio" empregados. Se a CPU em seu computador funcionar a 1 MHz, o "ciclo de relógio" será de 1 microssegundo, e uma operação que requer quatro "ciclos de relógio" será realizada em 4 milionésimos de segundo,
pois a F = 1 / T.

Como conseqüência, um programa desenvolvido em código de máquina vai requerer grande quantidade de instruções e qualquer função deverá ser elaborada "à mão", a partir de operações simples. Toda a programação consistirá na manipulação de "bits" ou "bytes" isolados de memória, empregando-se funções lógicas simples como AND, OR e NOT, além de aritmética elementar.

Esse é um dos motivos por que o desenvolvimento de programas nessa linguagem se torna uma tarefa lenta; o outro reside no fato de o programador ser obrigado a saber a localização de tudo que está armazenado na memória.

Ao iniciar a programação em código de máquina, você descobre que tem de especificar um endereço (uma posição de memória) para cada conjunto de dados a armazenar. E cabe também a você garantir que não haja superposição acidental com outros conjuntos de dados.

Examinemos em que consiste o código de máquina. Todos os exemplos a seguir serão relacionados a CPUs de 8 "bits" de capacidade, como a do Z80 e do 6502. O microprocessador conecta-se à memória do computador por meio de dois "buses" (vias): o "bus" de endereços e o de dados. Há também um elemento denominado "bus" de controle que fornece apenas sinais de cronometragem à CPU e não é utilizado pelo programador.

O "bus" de endereços tem capacidade de 16 "bits" e a atribuição de um padrão de "bits" a esse "bus" possibilita à CPU selecionar qualquer dos 65.536 "bytes" em seu "mapa de memória". Em microcomputadores comuns, algumas dessas posições estarão na RAM, outras na ROM, algumas nos "chips" especiais de entrada-saída e ainda existirão as que não serão utilizadas.

Se a CPU quiser ler determinada posição de memória (uma das linhas no "bus" de controle indica se deve haver leitura ou registro), o "byte" selecionado coloca seus conteúdos no "bus" de dados, na forma de um padrão de 8 "bits". De modo semelhante, a CPU pode registrar um padrão de 8 "bit" em qualquer posição escolhida. A CPU não sabe quais as partes da memória em que estão a ROM e a RAM; desse modo, determinar o endereço correto é outra responsabilidade importante do programador.

No interior do microprocessador, há talvez meia dúzia de "registros", semelhantes a posições individuais de memória, utilizados para o armazenamento de resultados temporários e execução de funções aritméticas, lógicas e binárias. A maior parte desses registros corresponde a 1 "byte" de memória, embora algumas tenham 02 "bytes" de capacidade.

Outro registro muito importante (mas, agora, com apenas 8 "bits" de extensão) é o "acumulador". Como o nome indica, esse registro acumula totais, isto é, "bytes" que podem se somar ou subtrair. Na verdade, esse é, em geral, o único registro que pode executar qualquer tipo de procedimento aritmético.

O motivo comum para o emprego do código de máquina é a velocidade: ao endereçar diretamente o processador, o programa não precisa ser traduzido ou interpretado. Com a eliminação desse estágio intermediário, reduz-se bastante o tempo de execução do programa. No entanto, o processo de codificação, teste, depuração, modificação e manutenção de um código de máquina exigirá, com certeza, duas vezes mais tempo do que levaria num programa em linguagem de alto nível (BASIC, por exemplo).

A falta de interação com o programador e a dificuldade de se lidar com o código de máquina foi o principal estímulo para a criação das linguagens de alto nível, como COBOL e BASIC. Vimos que o conjunto de instruções em código de máquina equivale ao conjunto de operações do processador.

Execução do programa mnemônico

É a forma de representação de tal modo que haja facilidade de retenção na memória, isto é, que haja memória.

Como exemplos de mnemônicos no nosso cotidiano, podemos considerar os termos: "SAMPA", "BELZONTE", etc.

Em se tratando de computação e programação em linguagem de máquina, os mnemônicos mais usados são:

LDA (LOAD ACCUMULATOR) – Carregar Acumulador;

STA (STORAGE ACCUMULATOR) – Armazenar acumulador;

ADC (ADD WITH CARRY) – Somar com transporte.

Consideremos que o programa já tenha sido adequadamente escrito no computador pelo processo tradicional: o programador lê o programa, no papel e introduz, via teclado, no computador.

O programa é armazenado, em linguagem de máquina, numa área de memória, embora os dados que ele opera possam estar em alguma outra posição.

Observe que os operandos, por exemplo, $3F80 estão armazenados em dois "bytes", com o "byte" menor ($80) situado antes do maior ($3F).

O símbolo Dólar ($), usado na frente de uma seqüência, indica que a representação está no sistema de base hexadecimal.

Todos os programas em código de máquina são constituídos por operações simples que transportam "bytes" de memória para os registros internos da CPU, realizam seu processamento e, a seguir, os remetem de novo a uma posição de memória.

A figura 20-2 apresenta o programa necessário para somar os conteúdos de duas posições de memória e armazenar o resultado de uma terceira.

O contador do programa (PC) é um registro no interior da CPU que indica a instrução que está sendo executada.

A primeira instrução fornece os conteúdos da posição $3F80, isto é, o valor "5" ao acumulador.

O terceiro armazena o conteúdo do acumulador, agora o "08", na posição de memória $0493.

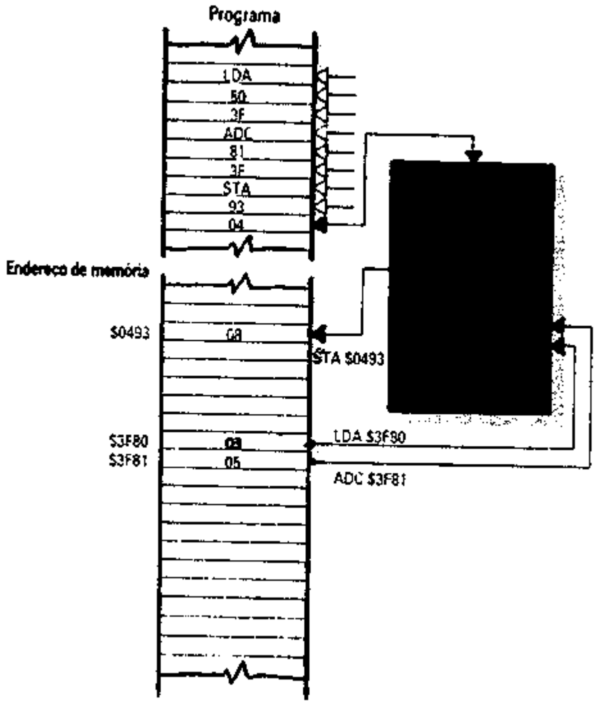


Figura 20-2 Execução de um programa

Funcionamento com o programa

O conteúdo das posições de memória $00, $01 e $02 (LDA, $3F80), é colocado na CPU.

M → CPU

A CPU decodifica essa instrução e a interpreta como: carregar o acumulador com o conteúdo da posição de memória $3F80.

M → ACC ⟹ ASS = 03

Após a execução dessa operação, o contador de programa (PC) será incrementado (PC + 1, PC + 2 e PC + 3) acessando os conteúdos das próximas posições de memória (endereços): $03, $04 e $05. Esses conteúdos são enviados para a unidade central de processamento.

M → CPU

Em seguida a CPU interpreta os códigos e conclui que deverá "somar" o conteúdo atual do Acumulador com o conteúdo da posição de memória $3F81.

ACC + $0F81 → ACC ⟹ ACC = 08

Nota: Como o próprio nome indica, o Registrador acumulador "acumula" resultados das operações lógicas ou aritméticas. Em conseqüência o resultado das operações será enviado para esse registrador.

Como a operação anterior já foi completada, o PC é devidamente incrementado (PC + 1, PC + 2 e PC + 3), e os conteúdos das posições subseqüentes serão enviados à CPU e devidamente interpretados como: armazenar o conteúdo do acumulador na posição de memória $0493.

ACC → $0493 ⟹ ACC = 08

Nota: O efeito real desta transferência é de cópia onde o conteúdo origem não é apagado. Daí conclui-se que o conteúdo final do registrador acumulador será o último obtido.

Com isso chega-se ao objetivo final do programa proposto que foi: somar os conteúdos de duas posições de memória e colocar o resultado em uma terceira.

Pelo exposto, também podemos escrever:

M → CPU; M → ACC; M → CPU; ACC + M → ACC; ACC → M

UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO (CPU)

Em termos simples, a CPU ("Central Processing Unit", ou Unidade Central de Processamento) do computador não passa de um interruptor que controla o fluxo de corrente num sistema de computação. Compõe esse sistema a ALU ("Arithmetic and Logic Unit", ou Unidade Aritmética e Lógica), o PC (Contador de Programa), ACC (Acumulador) e outros registradores.

Ao acionar uma tecla, você introduz alguma informação na máquina por meio de uma configuração de voltagem gerada na unidade de teclado. A CPU transfere essa configuração de voltagem para uma posição da memória. Em seguida, transfere uma configuração correspondente, proveniente de algum outro lugar da memória, para a tela, de modo a gerar um determinado padrão de caracteres.

Esse processo é semelhante ao funcionamento de uma máquina de escrever, mas com a diferença de que nesta há uma conexão mecânica entre o acionamento de uma tecla e a impressão do caractere, enquanto num computador essa ligação ocorre porque a CPU transfere configurações corretas de voltagem de um lugar para outro.

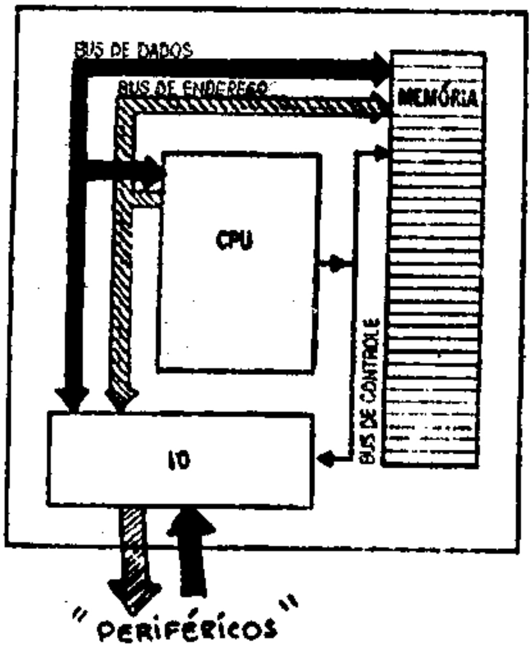


Figura 20-3 O Centro do Sistema

Nem sempre o acionamento de uma tecla faz aparecer um caractere no vídeo: pode também destruir um asteróide, gravar um programa, apagar um arquivo em disco, ou imprimir uma carta. O resultado da operação depende do modo e da finalidade com que a CPU transfere a corrente elétrica.

Modo de funcionamento da CPU

Os procedimentos executados pela CPU classificam-se, para nossos objetivos, nas operações: aritméticas, lógicas, de memória e de controle. Todas resultam de transferência de informações através de diferentes trajetos, no sistema e na CPU, ou seja, para esta todas as operações se assemelham.

Operações aritméticas, como adição e subtração constituem a característica mais importante da máquina. Ela subtrai por meio da representação negativa de um dos números e sua subseqüente adição com o outro. Por exemplo, 7 + 5 = 12 significa:

+ 7 somado a + 5 é igual a + 12; enquanto 7 - 5 = 2 equivale a:
+ 7 somado a – 5 é igual a + 2.

A multiplicação e a divisão são consideradas adições ou subtrações repetidas, de modo que também é possível programar a CPU para simular essas operações. Se a CPU consegue realizar as quatro operações aritméticas, então pode efetuar qualquer outro cálculo matemático. No entanto, lembre-se de que todo o seu potencial matemático depende simplesmente da capacidade de somar dois números.

As operações lógicas efetuam a comparação de dois números não apenas em termos de quantidades relativas, mas também em termos da configuração de seus dígitos. É fácil ver que sete é maior que cinco porque extraímos cinco de sete e obtemos um resultado positivo. Além de fazer esse tipo de comparação, a CPU também verifica que, por exemplo, 189 e 102 têm o mesmo dígito na coluna das centenas.

As operações de memória envolvem tanto a cópia de informações de uma posição qualquer da memória externa para sua própria memória (registro), como de seu registro para uma outra posição da RAM.

Executando essas operações em seqüência, a CPU transfere informações de uma parte qualquer da memória para outra. Para que a memória do computador tenha alguma utilidade, é absolutamente necessário que a CPU seja capaz de realizar essas duas operações. Só assim torna-se possível um controle completo da memória.

As operações de controle consistem, na verdade, em decisões quanto à seqüência pela qual a CPU executa as outras operações descritas. Por enquanto, tudo o que precisamos saber sobre as operações de controle é que a CPU pode tomar determinadas decisões a respeito de sua própria atividade.

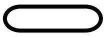
Portanto, a CPU executa operações aritméticas, compara números, desloca informações na memória e decide sobre sua própria seqüência de operações. Essa lista de procedimentos é suficiente para definir uma máquina de computação ideal.

CONCEITOS DE FLUXOGRAMA

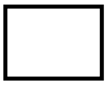
O fluxograma é uma representação gráfica das tarefas de um programa, por meio de símbolos que fornecem uma visualização imediata do significado da tarefa.

Definição dos elementos de fluxograma

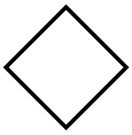
Abaixo seguem-se os símbolos mais usados nas representações gráficas.



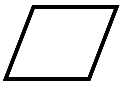
Terminal: Início, término ou interrupção de um programa.



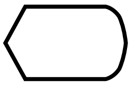
Processamento: Uma ação que deve ser tomada.



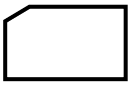
Decisão: Desvio para diversos pontos do programa de acordo com uma situação testada.



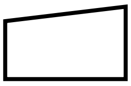
Entrada / Saída: Qualquer função relacionada com dispositivos de entrada ou saída em geral.



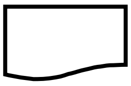
Visor: Terminal de vídeo ou Display.



Cartão Perfurado: Entrada ou saída através de cartão perfurado.



Teclado: Entrada de informação através do teclado.



Impressora: Saída de informações através da impressão em papel.

Exemplos do uso de fluxograma

Equação Quadrática – Vamos examinar alguns exemplos simples, para termos uma visualização de fluxograma.

O passo inicial é examinar um fluxograma genérico que represente os passos do programa para calcular as raízes da equação quadrática: $ax^2 + bx + c = 0$

Também podemos escrever que:

$$x^1, x^2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

A solução deste problema pode ser representada como no fluxograma da figura 20-5.

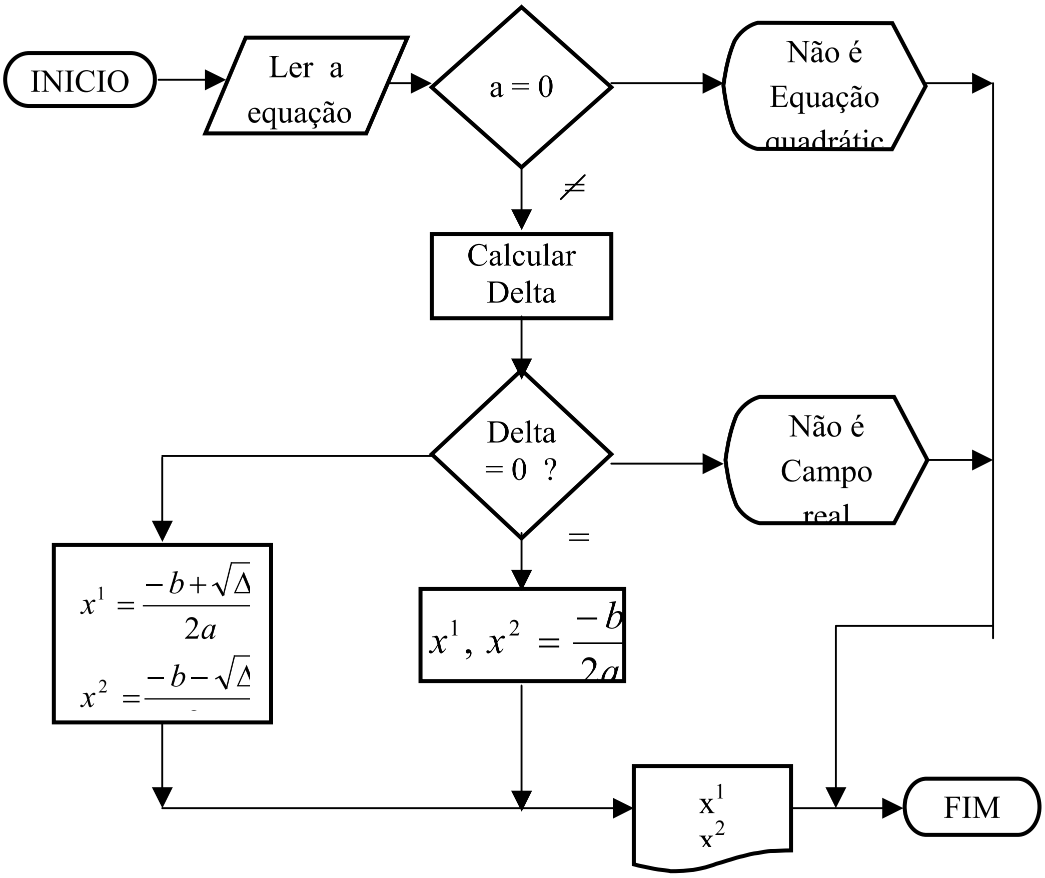

INICIO
Ler a equação
a = 0
Não é Equação quadrátic
≠
Calcular Delta
Delta = 0 ?
Não é Campo real
=
$x^1 = \frac{-b+\sqrt{\Delta}}{2a}$
$x^2 = -b-\sqrt{\Delta}$
$x^1, x^2 = \frac{-b}{2a}$
x1 x2
FIM

Figura 20-5 Fluxograma de Equação Quadrática

Impressão de números

O fluxograma da figura 20-6 é um programa para imprimir cinco números pares em uma impressora.

Na figura temos que I = I + 1, o que seria um absurdo, matematicamente falando. Lembre-se que esta operação refere-se à variável controladora "I" que é incrementada ou atualizada.

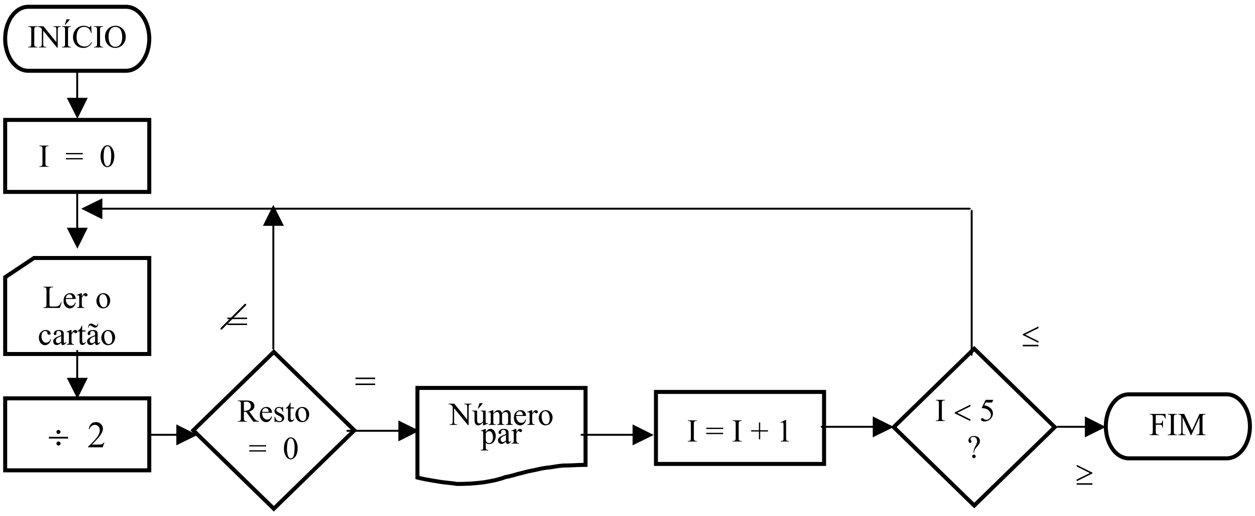

INÍCIO
I = 0
Ler o cartão
÷ 2
Resto = 0
≠
=
Número par
I = I + 1
I < 5 ?
≤
≥
FIM

Figura 20-6 Fluxograma dos números pares

Cotidiano Consideremos um problema do nosso cotidiano: "Levantar-se pela manhã". Neste programa o computador toma a decisão de seguir determinado caminho em função de um resultado pré-estabelecido.

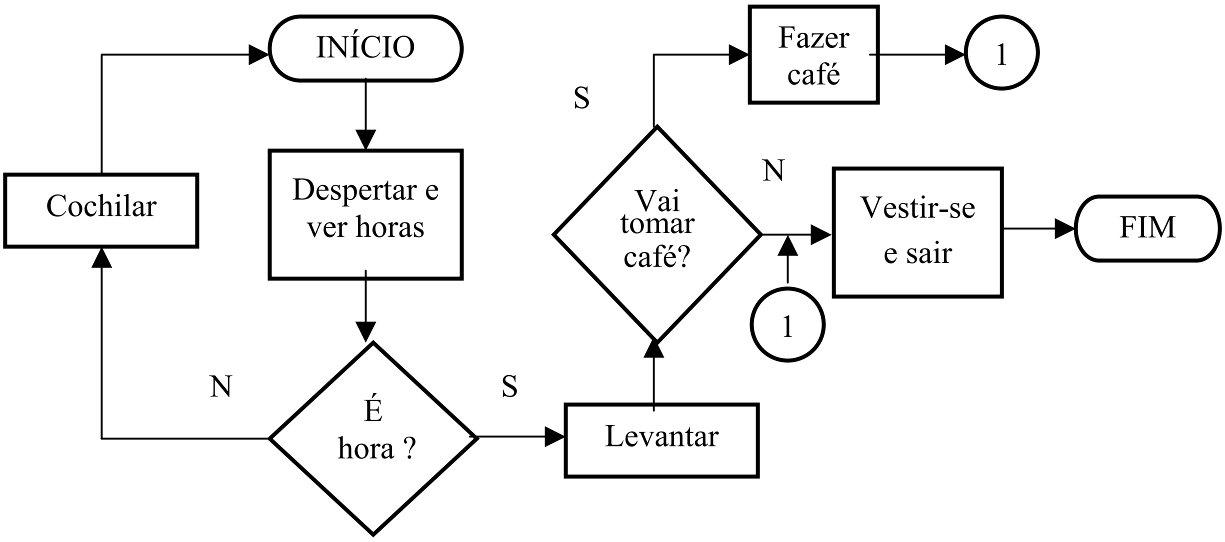

INÍCIO
Despertar e ver horas
Cochilar
É hora ?
N
S
Levantar
Vai tomar café?
S
Fazer café
1
N
Vestir-se e sair
1
FIM

Figura 20-7 Fluxograma do "Cotidiano"

LINGUAGEM DO COMPUTADOR

Desde o princípio da era do computador, a principal preocupação foi de como poderia ser feita a comunicação entre o homem e a máquina.

Como se pode notar, tanto o computador como a máquina utiliza-se apenas de níveis de tensão, chamados níveis lógicos.

A grande preocupação do homem é utilizar o computador em todas as áreas e, para isso, necessita de uma comunicação de fácil acesso com o meio externo. Isto, em outras palavras, significa transformar níveis de tensão em informações, com o tipo de linguagem empregada pela maioria dos homens.

Uma das primeiras comunicações com o computador foi a linguagem de máquina ou objeto. Esta linguagem é muito cansativa por lidar diretamente com códigos binários, isto é, níveis lógicos "zero" e "um".

Em função da dificuldade apresentada por esta linguagem, surgiu a linguagem "Assembly", que transforma códigos binários em mnemônicos, isto é, nomeia cada código para que este possa ser utilizado mais facilmente.

Com o surgimento desta linguagem, houve a necessidade de transformas os mnemônicos em códigos binários. Esta transformação é chamada de "Compilador Assembler".

Mesmo com o surgimento da linguagem Assembly, o operador continuava encontrando muitas dificuldades para manusear este grupo de instruções. Mediante estas dificuldades, outras linguagens foram sendo desenvolvidas.

Com o aparecimento de outras linguagens, houve uma divisão entre as linguagens de baixo nível e as de alto nível. As de alto nível surgiram especificamente para cada área, como "Fortran" para a área científica, "Cobol" para a área comercial e outras linguagens para cada finalidade como "Basic", "Pascal", "PL/1", etc.

As linguagens de alto nível deram margem ao surgimento dos programas tradutores. Como o próprio nome está dizendo, o computador necessita de um programa que traduza tais linguagens para que tenha condições de executar as instruções a ele designadas.

A linguagem de máquina pode ser escrita em octal, hexadecimal ou binário. O programa fonte recebe a denominação de linguagem de programação; e o programa resultante da conversão em linguagem de máquina recebe a denominação de programa objeto.

Programa de processamento é aquele que traduz a linguagem de programação para linguagem de máquina.

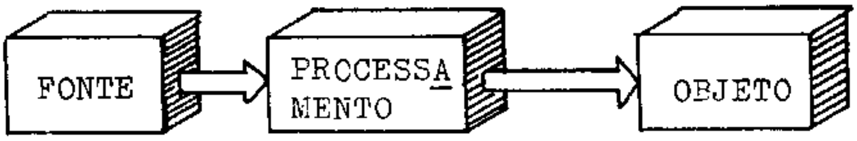


Figura 20-8 Representação em blocos do fluxo das linguagens.

Programa	Fonte	Processamento	Observações
Maqui-na	Máquina	Não há necessidade	Este programa é escrito na linguagem binária
	Hexadecimal	Hexadecimal loader	É usado o carregador hexadecimal
	Assembly	Assembler	É a linguagem de programação escrita em Mnemônicos
Proces-samen-to	Alto nível (Compliler)	Tradutor-Interpretador/Compilador	Converte linha a linha e a tradução é feita de uma só vez
	Hand Assembly	Hexadecimal Loader	O operador faz a tradução do Assembly para o Hexa, isto é, age como programa de processamento

Figura 20-9 Quadro geral de linguagens.